

## Kuraklık Stresine Karşı Ek Led Işık Uygulamalarının Asma Fidanlarında Morfolojik, Fizyolojik ve Biyokimyasal Parametreler Üzerine Etkileri

Selda DALER<sup>1\*</sup>, Adem YAĞCI<sup>2</sup>, Rüstem CANGİ<sup>3</sup>, Muhammed Tefvik GÜVENÇ<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Dr., Yozgat Bozok Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Yozgat; ORCID: 0000-0003-0422-1444

<sup>2</sup>Doç. Dr., Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Tokat; ORCID: 0000-0002-3650-4679

<sup>3</sup>Prof. Dr., Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Tokat; ORCID: 0000-0002-8264-9844

<sup>4</sup>Yozgat Bozok Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Yozgat; ORCID: 0009-0001-2080-7747

### ÖZ

Son yıllarda LED ışık uygulamalarının, bitki büyüme ve gelişiminin kontrol altına alınması ve farklı çevresel stres koşullarına karşı toleransın artırılması bakımından etkili bir strateji olduğu bildirilmektedir. Bu çalışmada kuraklık stresi altındaki asma anaçlarının morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal özellikleri üzerine kırmızı, mavi, yeşil ve gün ışığı (kontrol) olmak üzere farklı dalga boylarına sahip ek LED ışık uygulamalarının etkileri incelenmiştir. Deneme, 2023 yılında Yozgat Bozok Üniversitesi Ziraat Fakültesinde mevcut tam otomasyonlu iklim odası ve araştırma laboratuvarlarında yürütülmüştür. Bu amaçla, kuraklığa toleranslı "1103 P" ve hassas "5 BB" Amerikan asma anaçlarına ait bir yıllık çelikler kullanılmıştır. Dikim işleminden yaklaşık 6 hafta sonra kuraklık stresi uygulanan fidanlarda yetiştirme ortamlarının nemi, tarla kapasitesinin %30-40'ı aralığında tutularak kısıtlı sulama yapılmış; kontrol gruplarda ise tarla kapasitesinin %70-80'i aralığında normal sulama yapılmıştır. Toplam 60 günlük yetiştirme periyodunun ardından deneme sonlandırılarak, asma fidanlarına ait morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal parametreler analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, asma fidanlarında kalite parametrelerinin iyileştirilerek kuraklık stres zararının azaltılması bakımından en etkili uygulamaların kırmızı ve mavi ek LED ışık uygulamaları olduğunu göstermiştir. Bu çalışmanın, örtüaltında yetiştirilen tüplü asma fidanlarının kalitesinin yükseltilebilmesi ve sulama suyunun daha etkin kullanımının sağlanması amacıyla gerçekleştirilecek çalışmaları kolaylaştıracağı ve kuraklık stresine toleransın artırılmasına yönelik yürütülecek araştırmalara önemli bir referans sağlayacağı düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** 5 BB, 1103 P, Ek LED Işık, kuraklık stresi, tüplü asma fidanı

### Effects of Additional Led Light Applications Against Drought Stress on Morphological, Physiological and Biochemical Parameters in Grapevine Saplings

#### ABSTRACT

In recent years, LED light applications have been reported to be an effective strategy for controlling plant growth and development and increasing tolerance to different environmental stress conditions. In this study, the effects of additional LED light applications with different wavelengths including red, blue, green and daylight (control) on morphological, physiological and biochemical characteristics of grapevine rootstocks under drought stress were investigated. The experiment was conducted in the fully automated climate chamber and research laboratories at Yozgat Bozok University, Faculty of Agriculture in 2023. For this purpose, one-year cuttings of drought tolerant "1103 P" and sensitive "5 BB" American grapevine rootstocks were used. Approximately 6 weeks after planting, drought stressed saplings were subjected to limited irrigation by keeping the humidity of the growing medium at 30-40% of the field capacity, while the control groups were subjected to normal irrigation at 70-80% of the field capacity. After a total growing period of 60 days, the experiment was terminated and morphological, physiological and biochemical parameters of the grapevine saplings were analyzed. The results showed that red and blue additional LED light applications were the most effective treatments in terms of improving quality parameters and reducing drought stress damage in grapevine saplings. It is thought that this study will facilitate the studies to be carried out in order to improve the quality of scuba grapevine saplings grown under cover and to ensure more efficient use of irrigation water and will provide an important reference for the researches to be carried out to increase drought stress tolerance.

**Keywords:** 5 BB, 1103 P, Additional LED Light, drought stress, potted grapevine sapling

### GİRİŞ

Son yıllarda yaşanan iklim değişikliklerin potansiyel etkileri arasında, yıllık ortalama sıcaklığın

artmasıyla "küresel ısınma" olarak bilinen sıcak hava dalgaları ve aşırı yüksek sıcaklık olaylarının giderek daha yaygın hale gelmesi yer almaktadır [1, 2]. Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC)

\*Sorumlu yazar / Corresponding author: selda.daler@bozok.edu.tr

raporlarına göre, ortalama küresel hava ve yüzey sıcaklığı değişiminin 1-4.5°C aralığında yükseleceği ve bunun sonucunda da kuraklık olaylarının daha da şiddetlenerek, sulama ihtiyacını arttıracığı tahmin edilmektedir [3, 4]. Dünya üzerinde 77,4 milyon tonluk üzüm üretim miktarıyla, 7,3 milyon hektarlık geniş bir yüzey alanına sahip olan bağcılık, kuraklıktan etkilenecek başlıca tarım sektörleri arasında yer almaktadır [5, 6, 7, 8].

Sürdürülebilir kalkınmanın temeli olan su, özellikle kurak ve yarı kurak iklim bölgelerindeki tarımsal sistemlerde, bitki verimliliğini kısıtlayan en önemli faktör olarak kabul edilmektedir [9]. Kuraklık stresi altındaki bitkilerde; hücresel aktivitelerin baskılanması [10], klorofil ve karotenoid içeriğinin azalması [11], plazma membran bütünlüğü ve protein işleyişine zarar veren reaktif oksijen türlerinin (ROS) indüklenmesi [12, 13], redoks homeostazının ve metabolik fonksiyonların bozulması, stomaların kapanması, net fotosentez hızında önemli düşüşler yaşanması gibi morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal tepkiler meydana gelmektedir [14, 15, 16].

Bitkilerin tüm yaşam döngüsü boyunca büyüme ve gelişmelerini etkileyen en önemli çevresel faktörler arasında yer alan ışık, fotosentez sürecinin yönetilmesinde ve bitki metabolizması üzerinde anahtar role sahiptir [17, 18, 19]. Güneş ışığı en ucuz enerji kaynağı olmasına rağmen özellikle tarımsal üretimde her zaman yeterli olmamaktadır. Düşük ışık yoğunluğu özellikle kış aylarında ve yüksek enlemlerde sınırlayıcı bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle, ışık yoğunluğunun yetersiz olduğu koşullarda, hava koşullarından bağımsız kapalı üretim alanlarında ve iklim odalarında istikrarlı üretim için yapay ışık kaynaklarının kullanımına ihtiyaç duyulmaktadır [20].

Üretim tesislerinde kullanılan geleneksel yapay ışık kaynakları; akkor lambalar, yüksek basınçlı sodyum lambalar (HPSL), metal halojen lambalar ve floresan lambalardır. Akkor lambalar, fotoperiyodik ürünler için gün uzunluğunu değiştirmek amacıyla kullanılan ilk yapay ışık kaynağıdır. Akkor lambaların fotosentetik olarak aktif radyasyonu (PAR), tüketilen elektrik enerjisinin %15'ini oluşturmaktadır. Toplam elektrik enerjisinin %85'i ise kızıl ötesi ışık ve ısı olarak dağılmakta, bu da yüksek enerji tüketimi ve düşük enerji verimliliği ile sonuçlanmaktadır. HPSL lambalar, uzun ömürleri ve uygun ışık spektrumları nedeniyle örtü altı tarımda ek ışık kaynağı olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [21]. Bununla birlikte, tüketilen elektriğin %30'u HPSL lambalar tarafından ışığa dönüştürülmekte ve %70'i ısı olarak kaybedilmektedir. Akkor lambalar ve HPSL lambalar

karşılaştırıldığında, metal halojen lambaların spektrumu bitki büyümesi için daha uygundur. Ancak metal halojen lambalarla ışığa dönüştürülen elektriğin verimliliği (%24) HPSL'den (%30) daha düşüktür. Floresan lambalar, kızıl ötesi spektrumda ışık sağlamaz, bu da uzun gün bitkileri için çiçeklenme sorunu ile sonuçlanır. Ayrıca, floresan lambaların ışık yoğunluğu HPSL ve metal halde lambalardan daha düşüktür ve bu durum yüksek kaliteli ve verimli yetiştiricilik için kullanımını büyük ölçüde kısıtlamaktadır. Geleneksel yapay ışık kaynaklarının getirmiş olduğu bu dezavantajlar kontrollü yetiştiricilikte, enerji verimliliği ve etkinliği yüksek yeni ışık kaynaklarının arayışını gündeme getirmiştir [22].

Son yıllarda, ışık yayan diyot (LED) teknolojisinin geliştirilmesiyle birlikte, kapalı yetiştirme ortamlarında ideal ışık kalitesi, yoğunluk ve fotoperiyodun sağlanması amacıyla yürütülen çalışmalar büyük bir ivme kazanmıştır [22]. İlk kez 1964 yılında icat edilen LED'ler 1980'lere kadar bitki araştırmaları kapsamında kullanım olanağı bulamamış; 1990'ların ortalarında ise NASA'nın uzay istasyonlarında bitki yetiştiriciliği amacıyla özel aydınlatma sistemlerinden faydalanılabileceğine dair yayınlamış olduğu raporlar sayesinde alternatif bir ışık kaynağı olarak kullanımlarına odaklanılmıştır. Geleneksel yapay ışık kaynaklarına kıyasla, dar bant genişliğindeki dalga boylarında yayılan, fotoelektrik etkinliği ve foton akısı yüksek; termal çıkışı düşük olan, kompakt, taşınabilir ve elektronik sistemlere kolaylıkla entegre edilebilen LED'lerin benzersiz avantajları bulunmaktadır [23, 22].

Çimlenme, klorofil sentezi, stoma yoğunluğu, stoma iletkenliği, gaz değişimi, su taşınımı, yaprak alanı, yaprak kalınlığı, sürgün uzaması, biyokütle üretimi, çiçeklenme ve tohum gelişimi gibi çeşitli faktörler ışık koşullarından etkilenmektedir [24]. Bu tepkilere, UV ve Kızıl ötesi ışınlama da dâhil olmak üzere PAR (fotosentetik olarak aktif radyasyon) alanı içinde ve ötesindeki dalga boyları aracılık etmektedir [25, 26]. Fotosentez, 400-700 nm aralığında değişen PAR değerleri arasında gerçekleşmekle birlikte, bu dalga boyu aralığındaki tüm fotonlar fotosentezi eşit oranda etkilememektedir [27].

Yapılan çalışmalar, farklı dalga boylarındaki LED ışık uygulamalarının bitkilerde büyüme ve gelişimi etkileyebilme, morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal değişiklikleri tetikleyebilme ve çevresel stres koşullarına dayanımı yönetebilme yeteneğine sahip olduklarını ortaya koymuştur [28].

Işık yoğunluğu, fotoperiyot ve ışık kalitesinin bitkilerin büyüme ve gelişimi üzerindeki etkilerinin belirlenmesine yönelik çok sayıda araştırma çalışma yapılmış olmasına rağmen, farklı dalga boylarındaki

LED ışık uygulamalarının kuraklık stresine maruz bırakılan bitkiler üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi üzerine yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Asma fidanı üretim tesislerinden hem maksimum ekonomik fayda elde edilmesi hem de üretim sürecinin kontrol edilmesi amacıyla, asmanın kuraklık toleransı üzerine LED ışık uygulamalarının etki mekanizmalarının aydınlatılmasına ve en etkili dalga boylarının optimize edilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu nedenle, bu çalışma, kuraklığa toleransları farklı 5 BB ve 1103 P Amerikan asma anaçlarında, farklı dalga boylarındaki ek LED ışık uygulamalarının; sürgün taze ağırlığı (g), sürgün kuru ağırlığı (g), sürgün uzunluğu (cm), sürgün sayısı (adet), yaprak sayısı (adet), yaprak alanı (cm<sup>2</sup>), kök taze ağırlığı (g), kök kuru ağırlığı (g), kök uzunluğu (cm), köklenme oranı (%), kuraklık indeksi (%), klorofil miktarı (SPAD), yaprak oransal su içeriği (%), stoma iletkenliği (mmol.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>), yaprak sıcaklığı (°C), membran zararlanma indeksi (%) ve lipit peroksidasyonu (nmol/g) da dahil olmak üzere morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal parametreler üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

## MATERYAL VE METOT

### Çalışmanın Yürütüldüğü Yer ve Yıl

Kuraklık stresine maruz bırakılan asma anaçları üzerinde farklı dalga boyuna sahip ek LED ışık uygulamalarının etkilerinin incelendiği bu çalışma, 2023 yılında Yozgat Bozok Üniversitesi Ziraat Fakültesinde mevcut tam otomasyonlu iklim odası ve araştırma laboratuvarlarında yürütülmüştür.

### Bitki Materyali

Araştırmada bitkisel materyal olarak, kuraklık stresine toleranslı 1103 P ve hassas 5 BB anaçlarına ait çelikler kullanılmış olup, anaçlara ait özellikler aşağıda belirtilmiştir [29].

•1103 Paulsen (1103 P) (*V.berlandieri* × *V.rupestris*): Kuvvetli gelişen, alt katmanlı killi-kireçli ve nemli topraklara iyi uyum sağlayabilen, kurak koşullara dayanıklı, kök-ur nematodlarına, toprak tuzluluğuna ve kirece orta derece toleranslı bir anaçtır. Çelikleri kolay köklenir, aşı randımanı yüksektir.

•Kober 5 BB (*V.berlandieri* × *V.riparia*): Kuvvetli bir anaçtır, vejetasyon süresi kısadır. Nematodlara dayanımı yüksek ve %20 civarında aktif kirece dayanıklıdır. Çeliklerinin köklenmesi iyidir. Killi ve ne milli topraklara uyumu iyidir.

### Yetiştirme Ortamlarının Hazırlanması ve Çeliklerin Dikimi

Amerikan asma anaçlarına ait bir yıllık çelikler, üzerlerinde 2'şer göz bulunacak şekilde ~20 cm uzunluklarda hazırlanmış ve 2000 ppm konsantrasyonda IBA (Indol Butirik Asit) ile hızlı daldırma uygulamasına tabi tutulduktan sonra, 11×11×22 cm ebatlarındaki PE malzemedan yapılmış potlar içerisine, eşit hacimde steril torf:perlit (1:1) içeren ortamlara dikilmiştir. Çelikler, dikim işleminin hemen ardından sulanmış ve su potların drenaj deliklerinden dışarı çıkıncaya kadar sulama işlemine devam edilmiştir.

### Bitkilerin Yetiştirilmesi ve Ek LED Işık Uygulamaları

Denemenin kurulduğu iklim odasında 5 adet, genişliği 130 cm, derinliği 60 cm ebatlarında 3'er katlı raf sistemi bulunmakta ve her bir katı 90 adet bitki alan rafların tavan kısmında 120 cm'lik 8'er adet Philips marka master TL-D 36 W/840 model 4000 K gün ışığı floresan lamba yer almaktadır. Ek LED ışık denemelerinde raflara, gün ışığı floresan lambalara ek olarak, farklı dalga boylarına sahip, 60'ar adet kırmızı (620-750 nm), mavi (450-500 nm) ve yeşil (500-570 nm) renklerde, 1650 mA, 20 Watt/m, DC 12 V, 120°, SMD 5630 tipi ek LED ışıklar monte edilmiştir. Kontrol gruplarda ise gün ışığı floresan lambalar kullanılmıştır.

İklim odası %65 nem, gündüz 22°C ve gece 20°C sıcaklık, 16 saat aydınlık ve 8 saat karanlık fotoperiyot ve 200±20 µmol m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> ışık yoğunluğu olacak şekilde ayarlanmıştır. Yetiştiricilik süresince çelikler, her gün Ollat vd. [30] tarafından asma fidanı yetiştiriciliği için önerilen ve bileşiminde Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O (2.5 mM), KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> (1.0 mM), KNO<sub>3</sub> (2.5 mM), MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O (1.0 mM), Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub> (0.013 µM), ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O (2.40 µM), CuSO<sub>4</sub> (0.5 µM), MnCl<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O (9.2 µM), H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> (46.4 µM), NaFe(III)-EDTA (45 µM) bulunan besin solüsyonu ile sulanmış ve solüsyonun pH'sı 6.5'e ayarlanmıştır.

### Kuraklık Stresi Uygulaması

Dikim işleminden ~6 hafta sonra kuraklık stresinin uygulanacağı yetiştirme ortamlarının nemi, tarla su tutma kapasitesinin %30-40'ı aralığında tutulacak şekilde kısıtlı sulama yapılmıştır. Kontrol gruplarda ise tarla su tutma kapasitesinin %70-80'i aralığında olacak şekilde normal sulama yapılmıştır.

### Analizlerin Gerçekleştirilmesi

Toplam 60 günlük yetiştirme periyodunun ardından deneme sonlandırılarak, asma fidanlarına ait sürgün taze ağırlığı (g), sürgün kuru ağırlığı (g), sürgün uzunluğu (cm), sürgün sayısı (adet), yaprak

sayısı (adet), yaprak alanı (cm<sup>2</sup>), kök taze ağırlığı (g), kök kuru ağırlığı (g), kök uzunluğu (cm), köklenme oranı (%), kuraklık indeksi (%), klorofil miktarı (SPAD), yaprak oransal su içeriği (%), stoma iletkenliği (mmol.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>), yaprak sıcaklığı (°C), membran zararlanma indeksi (%) ve lipit peroksidasyonu (nmol/g) özellikleri incelenmiştir.

### **Morfolojik Özellikler**

•**Sürgün taze ağırlığı (g)**: Her bir sürgünün taze ağırlığı 0,0001 g hassasiyetindeki analitik terazi yardımıyla tartılarak ortalamaları g cinsinden ifade edilmiştir.

•**Sürgün kuru ağırlığı (g)**: Yaş ağırlığı hesaplanan her bir sürgün, 48 saat süreyle 65°C sıcaklıktaki hava sirkülasyonlu etüvde bekletildikten sonra, kuru ağırlıkları 0,0001 g hassasiyetindeki analitik terazi yardımıyla tartılarak ortalamaları g olarak ifade edilmiştir.

•**Sürgün uzunluğu (cm)**: Her bir sürgünün uç kısmından başlanarak dip noktasına kadar olan mesafe bir cetvel yardımıyla ölçülerek ortalamaları cm olarak kaydedilmiştir.

•**Sürgün sayısı (adet)**: Her anaca ait sürgünler tek tek sayılarak ortalamaları adet olarak kaydedilmiştir.

•**Yaprak sayısı (adet)**: Her bir sürgünün uç kısmında bulunan tam açılmış ilk yaprak, birinci yaprak kabul edilerek dip kısma doğru tüm yapraklar sayılmış ve ortalamaları adet olarak belirlenmiştir.

•**Yaprak alanı (cm<sup>2</sup>)**: Her anaca ait sürgünlerin 1/3'lik orta kısımlarından alınan en az 10 adet olgun yaprağın büyüklüğü, yaprak alan ölçer (ADC BioScientific Area Meter AM 300) yardımıyla ölçülmüş ve elde edilen değerlerin ortalamaları cm<sup>2</sup> cinsinden kaydedilmiştir.

•**Kök taze ağırlığı (g)**: Her anaca ait köklerin yaş ağırlıkları 0,0001 g hassasiyetindeki analitik terazi yardımıyla ölçülmüş ortalamaları g cinsinden kaydedilmiştir.

•**Kök kuru ağırlığı (g)**: Yaş ağırlıkları belirlenen kökler, 72 saat süreyle, 65°C sıcaklıktaki hava sirkülasyonlu etüvde bekletilerek, kuru ağırlıkları 0,0001 g hassasiyetindeki analitik terazi yardımıyla tartılmış ve ortalamaları g cinsinden belirlenmiştir.

•**Kök uzunluğu (cm)**: Anaçlar üzerindeki en uzun kökün çıkış noktası ile son bulunduğu nokta arasındaki mesafe bir cetvel yardımıyla cm olarak ölçülmüş ortalamaları alınmıştır.

•**Köklenme oranı (%)**: Fidanların sökümünü takiben farklı uygulamalardan elde edilen köklü anaç sayısının toplam anaç sayısına oranlanması ile belirlenmiş ve ortalamaları % olarak ifade edilmiştir.

•**Kuraklık indeksi (%)**: Kuraklık indeksinin belirlenmesinde, Rosario vd. [31] tarafından oluşturulan skorlama sistemi modifiye edilerek

kullanılmıştır. Buna göre yapraklardaki, kuraklık zararlanmasının görünür semptomları için 0-3 skalası esas alınarak; kuraklık stresinden kaynaklanan semptomlara sahip olmayanlar “0 derece”, yaprak yüzeyinde dehidrasyon belirtisi gösterenler “1 derece”, yapraklarda sarı lekeler ve kuruma belirtisi gösterenler “2 derece”, yapraklarda sararma ve dökülme ile birlikte, tüm bitkide genel bir solgunluk belirtisi gösterenlerse “3 derece” olarak skorlanmıştır. Kuraklık indeksi (%) =  $\Sigma$  (Yaprak  $\times$  Derece) / (Toplam Yaprak  $\times$  En Yüksek Derece)  $\times$  100 olarak hesaplanmıştır.

### **Fizyolojik Özellikler**

•**Klorofil miktarı (SPAD)**: Her sürgün üzerindeki 3 adet yaprağın ana damara yakın iki bölgesi portatif klorofilmetre cihazı (Konica Minolta SPAD-502) yardımıyla ölçülmüş ve elde edilen değerlerin ortalamaları SPAD cinsinden ifade edilmiştir [32].

•**Yaprak oransal su içeriği (%)**: Yamasaki ve Dillenburg [33]'ün yöntemine göre yaprak örneklerinin oransal su içerikleri; hasattan hemen sonra ölçülen yaş ağırlıkları (YA), 6 saat saf su içerisinde bekletilerek saptanan turgor ağırlıkları (TA) ve 80°C sıcaklıkta 24 saat bekletilerek tespit edilen kuru ağırlıkları (KA) dikkate alınarak aşağıdaki formüle göre yüzde (%) cinsinden hesaplanmıştır. Yaprak Oransal Su İçeriği (%) =  $[(YA - KA) / (TA - KA)] \times 100$

•**Stoma iletkenliği (mmol.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>)**: Sürgünlerdeki üstten 4. yapraklar kullanılarak, yaprak porometresi (SC-1 Leaf Porometer, Decagon, Pullman, WA) yardımıyla tespit edilmiştir. Porometrenin okuma sensörü yaprağın alt kısmındaki damar aralarına denk gelecek şekilde yerleştirilerek ölçümler yapılmış ve elde edilen değerler mmol.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> cinsinden kaydedilmiştir.

•**Yaprak sıcaklığı (°C)**: Sürgünlerde üstten 4. yaprakların damar aralarındaki yüzey sıcaklıkları yaprak porometresi kullanılarak stoma iletkenliğiyle aynı anda ölçülmüş ve elde edilen değerler °C olarak kaydedilmiştir.

•**Membran zararlanma indeksi (%)**: Hücreden dışarıya verilen elektrolitin ölçülmesi yoluyla hesaplanmıştır. Beş bütün yaprakta cork-borer yardımı ile 6 mm çapında diskler çıkarılarak 20 ml deiyonize su içerisinde 4 saat bekletildikten sonra EC metre (Jenway 470 condimeter) ile EC<sub>1</sub> değerleri ölçülmüş, aynı diskler 100°C'de 10 dakika bekletildikten sonra çözeltilerin EC<sub>2</sub> ölçümü gerçekleştirilerek elde edilen değerden, Membran zararlanma indeksi (MZİ) aşağıdaki formüle göre yüzde (%) olarak hesaplanmıştır [34]. MZİ (%) =  $(EC_1 / EC_2) \times 100$

### **Biyokimyasal Özellikler**

•*Lipit peroksidasyonu (nmol.g<sup>-1</sup>):* Lutts vd. [35]'nin metoduna göre analiz edilmiştir. 1 g yaprak örneği, 10 ml %0.1'lik TCA (trikloroasetik asit) içerisinde homojenize edilmiş ve ardından homojenat 9.000 rpm'de 20 dakika santrifüj yapılmıştır. Oluşan süpernatant kısmından 1 ml alınarak, içerisinde %0.5'lik TBA (tiyobarbitirik asit) bulunan %20'lik TCA çözeltisinden 4 ml ilave edilmiştir. Reaksiyon, karışımın 100°C'de 30 dakika inkübe edilmesiyle gerçekleştirilmiş ve tüplerin buz banyosuna alınmasıyla durdurulmuştur. Ardından absorpsiyon değerleri, 532 ve 600 nm'lerde spektrofotometrik olarak ölçülmüştür. Elde edilen değerler formüle yerleştirilerek MDA miktarları belirlenmiştir.  $MDA = [(A532 - A600) \times \text{Ekstrakt Hacmi (ml)} / 155 \text{ mM/cm} \times \text{Örnek Miktarı (mg)}]$  formülüyle hesaplanmıştır. Sonuçlar nmol.g<sup>-1</sup> doku olarak kaydedilmiştir.

### **Deneme Deseni ve Verilerin Değerlendirilmesi**

Çalışma, tesadüf parselleri deneme desenine göre, 3 tekerrürlü olarak dizayn edilmiş ve her tekrerde 20 adet bitki yer almıştır. Elde edilen sayısal veriler IBM SPSS vrs. 20.0 paket programı kullanılarak varyans analizine (ANOVA) tabi tutulmuş, ortalamalar arasındaki farklılıkların belirlenmesinde Duncan çoklu karşılaştırma metodu (p<0.05) ve bağımsız grup T testi kullanılmıştır.

## **BULGULAR VE TARTIŞMA**

Bu çalışmada, kuraklık stresine karşı farklı ek LED ışık uygulamalarının 5 BB ve 1103 P Amerikan asma anaçları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Varyans analiz sonuçlarına göre, 5 BB anacında sürgün uzunluğu, kök kuru ağırlığı, kök uzunluğu, kuraklık indeksi, klorofil miktarı, stoma iletkenliği, membran zararlanma indeksi ve lipit peroksidasyonu özellikleri bakımından 'Uygulama × Ek LED Işık' interaksyonu önemli bulunurken; sürgün taze ağırlığı, sürgün kuru ağırlığı, yaprak sayısı, yaprak alanı, kök taze ağırlığı, yaprak oransal su içeriği ve yaprak sıcaklığı bakımından 'Uygulama' ve 'Ek LED Işık' faktörleri; sürgün sayısı ve köklenme oranı bakımındansa 'Uygulama' faktörü önemli bulunmuştur. 1103 P anacında ise sürgün uzunluğu, yaprak sayısı, yaprak alanı, kök kuru ağırlığı, kök uzunluğu, kuraklık indeksi, klorofil miktarı, stoma iletkenliği, membran zararlanma indeksi ve lipit peroksidasyonu özellikleri bakımından 'Uygulama × Ek LED Işık' interaksyonu önemli bulunurken; sürgün taze ağırlığı, sürgün kuru ağırlığı, sürgün sayısı, kök taze ağırlığı, yaprak oransal su içeriği ve yaprak sıcaklığı bakımından 'Uygulama' ve 'Ek LED

Işık' faktörleri; köklenme oranı bakımındansa 'Uygulama' faktörü önemli bulunmuştur.

Kuraklık stresine maruz kalan asma fidanları, kuraklık stressiz fidanlara kıyasla bitki büyüme parametrelerinde belirgin bir şekilde inhibisyon sergilemiştir (Çizelge 1, 2, 3). Genel olarak, sürgün taze ve kuru ağırlığı, sürgün uzunluğu, yaprak sayısı ve alanı, kök taze ve kuru ağırlığı, kök uzunluğu ve köklenme oranı bakımından en düşük değerlere sahip olan uygulama, kurak stresi koşullarındaki gün ışığı uygulaması olmuştur. Buna karşılık, kuraklık stresi koşulları altında uygulanan Ek LED Işık uygulamaları, gün ışığı koşullarındaki kuraklık stresli fidanlara kıyasla tüm büyüme parametrelerinde büyük ve anlamlı (p≤0.05) bir iyileşmeye yol açmıştır. Kırmızı ve Mavi Ek LED Işık uygulamaları hem normal sulanan hem de kurak koşullarda yetiştirilen asma fidanlarında büyüme parametreleri bakımından en yüksek ortalamalara sahip uygulamalar olmuştur. Bununla birlikte Yeşil Ek LED Işık uygulaması gün ışığı koşullarında yetiştirilen bitkilere en yakın ortalamalara sahip uygulama olmuştur. Bulgularımıza paralel olarak mavi ve Kırmızı LED Işıkların, beyaz ve gün ışığı floresan ile karşılaştırıldığında hıyar fidesinin kalite ve veriminde önemli artışlar sağladığı [36]; kontrollü oda koşullarında gelişim sürecini hızlandırdığı tespit edilmiştir [37]. Çeşitli araştırmacılar tarafından kırmızı ışığın, yeşil yapraklı bitkilerin büyümesini ve biyokütle birikimini uyarmada mavi veya mavi-kırmızı kombinasyonu ışıktan daha etkili olduğu bildirilmiştir [38, 39, 40]. Çakırcı vd. [20], mavi ışık altında yetiştirilen marulda kontrol bitkilerine kıyasla taze sürgün ağırlığında %22 artış sağlandığını; gövde ve yaprak uzamasının teşvik edildiğini bildirmektedir. Goins vd. [41], Kırmızı ile Kızılötesi LED lambalar kullanılarak yetiştirilen marulda toplam biyokütle ve yaprak uzunluğunun arttığını kaydetmişlerdir. Hoenecke vd. [42] tarafından yürütülen benzer bir çalışmada, Kırmızı LED lambalar kullanılarak yapılan marul yetiştiriciliğinde klorofil içeriğinden kaynaklanan toplam taze ve kuru ağırlık kaybının, Kırmızı + Mavi LED lambalarla yetiştirilen bitkilere göre daha az olduğu bildirilmiştir. Tanaka vd. [43], orkide bitkilerinde kırmızı ışığın yaprak büyümesini artırdığını ancak, klorofil içeriğini azalttığını bildirmiştir. Enache ve Livadariu [44], yedi gün boyunca 16 saatlik ışık periyodunda farklı dalga boyundaki (beyaz, kırmızı, mavi veya yeşil) LED ışık uygulamalarının tarhun (*Artemisia dracunculus* L.) tohumlarının büyüme, metabolizma ve biyoaktif bileşenlerin birikimini arttırdığını tespit etmişlerdir. Kırmızı LED uygulamasının, çimlenme ve hipokotil uzunluğunu artırırken; Mavi LED ışığın kotiledon gelişimini

teşvik ettiğini kaydetmişlerdir. Snowden vd. [45] tarafından, biber, soya fasulyesi ve marul bitkilerinde mavi ışığın oranı %11'den %14'e, yeşil ışığın oranı ise %0'dan %30'a çıkartıldığında gövde uzamasının teşvik edildiği görülmüştür. Wollaeger ve Runkle [46] tarafından, %50 yeşil + %50 kırmızı ışık altında yetiştirilen camgüzeli, domates ve adaçayı fidelerinin, %100 kırmızı ışık altında yetiştirilenlerden daha kısa boya sahip oldukları bildirilmiştir. Aguirre-Becerra vd. [47] tarafından,

kırmızı, mavi, kızılötesi ve ultraviyole-A spektrum aralığına sahip dalga boylarının, domateste fidelerin uzamasını ve yaprak genişlemesini artırdığı, aynı zamanda çevresel stres faktörlerine adaptasyon sürecinde toleransın geliştirilmesi amacıyla antioksidan birikimini artırdığı tespit edilmiştir. Bulgularımızdan farklı olarak Folta [48] tarafından, yeşil LED lambalar altında büyüyen tere fidelerinin kırmızı ve mavi ışık altında yetiştirilenlerden daha uzun olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 1. Asma anaçlarında kuraklık stresine karşı ek LED ışık uygulamalarının sürgün taze ağırlığı, sürgün kuru ağırlığı ve sürgün uzunluğu üzerine etkileri<sup>z</sup>

| Uygulama        | Ek LED Işık  | Sürgün taze ağırlığı (g) |             |             | Sürgün kuru ağırlığı (g) |             |             | Sürgün uzunluğu (cm) |              |              |
|-----------------|--------------|--------------------------|-------------|-------------|--------------------------|-------------|-------------|----------------------|--------------|--------------|
|                 |              | 5 BB                     | 1103 P      | Ortalama    | 5 BB                     | 1103 P      | Ortalama    | 5 BB                 | 1103 P       | Ortalama     |
| Kuraklık stresi | Gün ışığı    | 1.66±0.03 d              | 1.75±0.03 d | 1.71±0.06 H | 0.56±0.01 d              | 0.58±0.01 d | 0.57±0.01 H | 14.50±0.50 h         | 15.22±0.19 h | 14.86±0.52 G |
|                 | Kırmızı ışık | 2.10±0.02 a              | 2.13±0.01 a | 2.12±0.03 E | 0.70±0.01 a              | 0.72±0.01 a | 0.71±0.01 E | 19.83±0.29 e         | 21.33±0.58 e | 20.58±0.92 E |
|                 | Mavi ışık    | 1.97±0.01 b              | 2.03±0.02 b | 2.00±0.04 F | 0.66±0.01 b              | 0.68±0.01 b | 0.67±0.01 F | 16.39±0.35 f         | 18.39±0.35 f | 17.39±1.14 F |
|                 | Yeşil ışık   | 1.84±0.03 c              | 1.91±0.04 c | 1.88±0.05 G | 0.61±0.01 c              | 0.64±0.01 c | 0.63±0.02 G | 15.44±0.20 g         | 15.89±0.19 g | 15.67±0.30 G |
|                 | Ortalama     | 1.89±0.17                | 1.96±0.15   | 1.92±0.16   | 0.63±0.06                | 0.66±0.06   | 0.64±0.06   | 16.54±2.13           | 17.71±2.53   | 17.13±2.36   |
| Normal sulama   | Gün ışığı    | 2.26±0.06 d              | 2.39±0.03 d | 2.33±0.08 D | 0.75±0.02 d              | 0.80±0.01 d | 0.78±0.03 D | 22.83±0.29 d         | 23.00±0.00 d | 22.92±0.20 D |
|                 | Kırmızı ışık | 2.74±0.02 a              | 2.82±0.05 a | 2.78±0.06 A | 0.92±0.01 a              | 0.94±0.02 a | 0.93±0.02 A | 28.93±0.12 a         | 30.33±0.29 a | 29.63±0.79 A |
|                 | Mavi ışık    | 2.61±0.04 b              | 2.67±0.03 b | 2.64±0.05 B | 0.87±0.01 b              | 0.89±0.01 b | 0.88±0.02 B | 25.67±0.58 b         | 27.50±0.50 b | 26.58±1.11 B |
|                 | Yeşil ışık   | 2.46±0.03 c              | 2.54±0.03 c | 2.50±0.05 C | 0.82±0.01 c              | 0.85±0.01 c | 0.84±0.01 C | 23.67±0.29 c         | 24.33±0.58 c | 24.00±0.55 C |
|                 | Ortalama     | 2.52±0.19                | 2.61±0.17   | 2.56±0.18** | 0.84±0.06                | 0.87±0.06   | 0.86±0.06** | 25.28±2.47           | 26.29±3.00   | 25.78±2.74** |
| Genel ortalama  | 2.20±0.37    | 2.28±0.37                | 2.24±0.36   | 0.74±0.12   | 0.76±0.12                | 0.75±0.12   | 20.91±5.00  | 22.00±5.15           | 21.45±5.05   |              |

<sup>z</sup>Aynı sütunda farklı harflerle ifade edilen ortalamalar arasında %5 düzeyinde farklılık vardır (Duncan).

\*Aynı sütunda yer alan ortalamalar arasında %5 düzeyinde farklılık vardır (Bağımsız grup T testi); Etki değeri: \*küçük, \*\*orta, \*\*\*büyük

Çizelge 2. Asma anaçlarında kuraklık stresine karşı ek LED ışık uygulamalarının sürgün sayısı, yaprak sayısı ve yaprak alanı üzerine etkileri<sup>z</sup>

| Uygulama        | Ek LED Işık  | Sürgün sayısı (adet) |           |             | Yaprak sayısı (adet) |              |              | Yaprak alanı (cm <sup>2</sup> ) |              |              |
|-----------------|--------------|----------------------|-----------|-------------|----------------------|--------------|--------------|---------------------------------|--------------|--------------|
|                 |              | 5 BB                 | 1103 P    | Ortalama    | 5 BB                 | 1103 P       | Ortalama     | 5 BB                            | 1103 P       | Ortalama     |
| Kuraklık stresi | Gün ışığı    | 1.00±0.00            | 1.00±0.00 | 1.00±0.00 B | 4.67±0.58 b          | 5.00±0.00 f  | 4.83±0.41 G  | 20.61±0.52 d                    | 21.26±0.09 h | 20.94±0.49 H |
|                 | Kırmızı ışık | 1.67±0.58            | 1.33±0.58 | 1.50±0.55 B | 6.33±0.58 a          | 7.00±0.00 d  | 6.67±0.52 DE | 24.70±0.24 a                    | 25.26±0.24 e | 24.98±0.37 E |
|                 | Mavi ışık    | 1.67±0.58            | 1.33±0.58 | 1.50±0.55 B | 6.00±0.00 a          | 6.00±0.00 e  | 6.00±0.00 EF | 23.39±0.19 b                    | 24.00±0.23 f | 23.70±0.38 F |
|                 | Yeşil ışık   | 1.33±0.58            | 1.00±0.00 | 1.17±0.41 B | 5.00±0.00 b          | 5.67±0.58 ef | 5.33±0.52 FG | 21.81±0.32 c                    | 22.88±0.10 g | 22.34±0.62 G |
|                 | Ortalama     | 1.42±0.51            | 1.17±0.39 | 1.29±0.46   | 5.50±0.80            | 5.92±0.79    | 5.71±0.81    | 22.63±1.65                      | 23.35±1.54   | 22.99±1.60   |
| Normal sulama   | Gün ışığı    | 1.67±0.58            | 1.33±0.58 | 1.50±0.55 B | 7.00±0.00 c          | 7.00±0.00 d  | 7.00±0.00 CD | 25.98±0.30 d                    | 26.71±0.27 d | 26.35±0.48 D |
|                 | Kırmızı ışık | 2.33±0.58            | 2.33±0.58 | 2.33±0.52 A | 9.33±0.58 a          | 11.00±1.00 a | 10.17±1.17 A | 29.57±0.20 a                    | 30.44±0.10 a | 30.01±0.50 A |
|                 | Mavi ışık    | 2.00±0.00            | 2.33±0.58 | 2.17±0.41 A | 8.00±0.00 b          | 9.00±0.00 b  | 8.50±0.55 B  | 28.13±0.08 b                    | 28.63±0.32 b | 28.38±0.34 B |
|                 | Yeşil ışık   | 1.67±0.58            | 1.33±0.58 | 1.50±0.55 B | 7.00±0.00 c          | 8.00±0.00 c  | 7.50±0.55 C  | 27.12±0.06 c                    | 27.74±0.31 c | 27.43±0.39 C |
|                 | Ortalama     | 1.92±0.51            | 1.83±0.72 | 1.88±0.61*  | 7.83±1.03            | 8.75±1.60    | 8.29±1.40**  | 27.70±1.39                      | 28.38±1.45   | 28.04±1.43** |
| Genel ortalama  | 1.67±0.56    | 1.50±0.66            | 1.58±0.61 | 6.67±1.49   | 7.33±1.90            | 7.00±1.73    | 25.16±2.99   | 25.86±2.96                      | 25.51±2.96   |              |

<sup>z</sup>Aynı sütunda farklı harflerle ifade edilen ortalamalar arasında %5 düzeyinde farklılık vardır (Duncan).

\*Aynı sütunda yer alan ortalamalar arasında %5 düzeyinde farklılık vardır (Bağımsız grup T testi); Etki değeri: \*küçük, \*\*orta, \*\*\*büyük

Kuraklık stresi, stressiz koşullara kıyasla klorofil miktarı, stoma iletkenliği ve yaprak oransal su içeriğini önemli ölçüde ( $p<0.05$ ) azaltmıştır (Çizelge 4). Buna karşılık, kuraklık indeksi, yaprak sıcaklığı ve sırasıyla elektrolit sızıntısı ve malondialdehit konsantrasyonlarındaki artışla gösterildiği gibi, membran zararlanma derecesi ve lipid peroksidasyonu açısından zıt ve anlamlı ( $p<0.05$ ) bir eğilim göstermiştir (Çizelge 4 ve 5). Asma fidanlarında ek LED ışık uygulamaları, kuraklık stresi koşulları altında gün ışığı altında yetiştirilen fidanlara kıyasla klorofil miktarı, stoma iletkenliği ve yaprak oransal su içeriğinde önemli bir artış gösterirken; yaprak sıcaklığı, elektrolit sızıntısı ve malondialdehit içeriği açısından önemli ölçüde azalma göstermiştir

( $p<0.05$ ). Bununla birlikte, kırmızı ve mavi ek LED ışık uygulamaları hem normal sulanan hem de kurak koşullarda yetiştirilen asma fidanlarında klorofil miktarı, stoma iletkenliği ve yaprak oransal su içeriği bakımından en yüksek ortalamalara sahip uygulamalar olmuştur. Bununla birlikte yeşil ek LED ışık uygulaması gün ışığı koşullarında yetiştirilen bitkilere en yakın ortalamalara sahip uygulama olmuştur. Yapılan araştırmalar, bitkilerde kuantum verimliliğinin kırmızı dalga boyunda en yüksek seviyede olduğunu ve kırmızı ışığın fotosentezi yönlendirmenin en etkili yollarından birisi olduğunu ortaya koymaktadır [49, 50, 42, 43, 51, 52]. Mavi ışığa sahip spektrum aralığının birçok bitki türünün normal büyüme ve gelişimi için gerekli olduğu

bildirilmektedir [53, 54, 55]. Spektrumun mavi bölgesine ait dalga boyunda ışığın emiliminin yüksek seviyede olduğu ve bunu klorofilin yardımcı fotoreseptörü karotenidlerin sağladığı ifade edilmektedir. Mavi ışık, çimlenme de dahil olmak üzere birtakım fotomorfojenik tepkilere neden olmaktadır. Bunlar; fototropizm, yaprak genişlemesi,

biyokütle birikimi, çiçeklenme, stomatal gelişme ve gölgeden kaçınma gibi tepkilerden oluşmaktadır [56, 57, 58, 59, 52]. Araştırmacılar, mavi LED ışıkta yetiştirilen bitkilerin fotosentez oranının kırmızı, yeşil veya beyaz ışıkta yetiştirilen bitkilere oranla daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir [60, 61].

Çizelge 3. Asma anaçlarında kuraklık stresine karşı ek LED ışık uygulamalarının kök taze ağırlığı, kök kuru ağırlığı, kök uzunluğu ve köklenme oranı üzerine etkileri<sup>z</sup>

| Uyg.           | Ek LED ışık  | Kök taze ağırlığı (g) |                |                 | Kök kuru ağırlığı (g) |                |                 | Kök uzunluğu (cm) |                 |                  | Köklenme oranı (%) |            |                  |
|----------------|--------------|-----------------------|----------------|-----------------|-----------------------|----------------|-----------------|-------------------|-----------------|------------------|--------------------|------------|------------------|
|                |              | 5 BB                  | 1103 P         | Ortalama        | 5 BB                  | 1103 P         | Ortalama        | 5 BB              | 1103 P          | Ortalama         | 5 BB               | 1103 P     | Ortalama         |
| Kuraklık stres | Gün ışığı    | 0.88±0.09<br>d        | 1.04±0.04<br>d | 0.96±0.11<br>H  | 0.40±0.03<br>h        | 0.51±0.05<br>h | 0.46±0.07<br>H  | 18.90±0.40<br>h   | 19.20±0.17<br>h | 19.05±0.32<br>H  | 73.33±5.77         | 76.67±5.77 | 75.00±5.48<br>D  |
|                | Kırmızı ışık | 1.65±0.06<br>a        | 1.84±0.04<br>a | 1.75±0.11<br>E  | 0.99±0.05<br>e        | 1.11±0.02<br>e | 1.05±0.07<br>E  | 22.10±0.35<br>e   | 23.75±0.26<br>e | 22.93±0.94<br>E  | 83.33±5.77         | 83.33±5.77 | 83.33±5.16<br>BC |
|                | Mavi ışık    | 1.45±0.05<br>b        | 1.54±0.04<br>b | 1.50±0.06<br>F  | 0.83±0.03<br>f        | 0.91±0.03<br>f | 0.87±0.05<br>F  | 20.25±0.23<br>f   | 21.08±0.45<br>f | 20.67±0.56<br>F  | 83.33±5.77         | 83.33±5.77 | 83.33±5.16<br>BC |
|                | Yeşil ışık   | 1.21±0.05<br>c        | 1.35±0.05<br>c | 1.28±0.08<br>G  | 0.65±0.05<br>g        | 0.76±0.03<br>g | 0.71±0.07<br>G  | 19.48±0.04<br>g   | 19.85±0.26<br>g | 19.66±0.26<br>G  | 80.00±0.00         | 80.00±0.00 | 80.00±0.00<br>CD |
|                | Ort.         | 1.30±0.30             | 1.44±0.30      | 1.37±0.31       | 0.72±0.23             | 0.82±0.23      | 0.77±0.23       | 20.18±1.28        | 20.97±1.84      | 20.58±1.60       | 80.00±6.03         | 80.83±5.15 | 80.42±5.50       |
| Normal sulama  | Gün ışığı    | 2.00±0.08<br>d        | 2.17±0.04<br>d | 2.09±0.11<br>D  | 1.20±0.06<br>d        | 1.31±0.02<br>d | 1.26±0.07<br>D  | 24.23±0.23<br>d   | 24.60±0.00<br>d | 24.42±0.25<br>D  | 86.67±5.77         | 86.67±5.77 | 86.67±5.16<br>AB |
|                | Kırmızı ışık | 2.72±0.05<br>a        | 2.85±0.05<br>a | 2.79±0.08<br>A  | 1.65±0.02<br>a        | 1.72±0.03<br>a | 1.69±0.04<br>A  | 28.12±0.16<br>a   | 29.17±0.25<br>a | 28.64±0.61<br>A  | 90.00±0.00         | 93.33±5.77 | 91.67±4.08<br>A  |
|                | Mavi ışık    | 2.45±0.05<br>b        | 2.58±0.04<br>b | 2.51±0.08<br>B  | 1.48±0.03<br>b        | 1.58±0.05<br>b | 1.53±0.06<br>B  | 26.77±0.23<br>b   | 27.47±0.25<br>b | 27.12±0.44<br>B  | 86.67±5.77         | 90.00±0.00 | 88.33±4.08<br>AB |
|                | Yeşil ışık   | 2.26±0.02<br>c        | 2.33±0.06<br>c | 2.29±0.05<br>C  | 1.35±0.01<br>c        | 1.40±0.03<br>c | 1.37±0.03<br>C  | 25.23±0.21<br>c   | 25.90±0.35<br>c | 25.57±0.45<br>C  | 86.67±5.77         | 86.67±5.77 | 86.67±5.16<br>AB |
|                | Ort.         | 2.36±0.28             | 2.48±0.27      | 2.42±0.28<br>** | 1.42±0.18             | 1.50±0.17      | 1.46±0.17<br>** | 26.09±1.55        | 26.78±1.80      | 26.44±1.68<br>** | 87.50±4.52         | 89.17±5.15 | 88.33±4.82<br>** |
| Genel ortalama | 1.83±0.61    | 1.96±0.60             | 1.90±0.60      | 1.07±0.41       | 1.16±0.40             | 1.12±0.40      | 23.13±3.32      | 23.88±3.46        | 23.51±3.38      | 83.75±6.47       | 85.00±6.59         | 84.38±6.49 |                  |

<sup>z</sup>Aynı sütunda farklı harflerle ifade edilen ortalamalar arasında %5 düzeyinde farklılık vardır (Duncan).

\*Aynı sütunda yer alan ortalamalar arasında %5 düzeyinde farklılık vardır (Bağımsız grup T testi); Etki değeri: \*küçük, \*\*orta, \*\*\*büyük

Çizelge 4. Asma anaçlarında kuraklık stresine karşı ek LED ışık uygulamalarının kuraklık indeksi, klorofil miktarı, stoma iletkenliği ve yaprak oransal su içeriği üzerine etkileri<sup>z</sup>

| Uyg.           | Ek LED ışık     | Kuraklık indeksi (%) |                   |                   | Klorofil miktarı (SPAD) |                 |                  | Stoma iletkenliği (mmol.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> ) |                 |                  | Yaprak oransal su içeriği (%) |                 |                  |
|----------------|-----------------|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|-----------------|------------------|--|-----------------|------------------|-------------------------------|-----------------|------------------|
|                |                 | 5 BB                 | 1103 P            | Ortalama          | 5 BB                    | 1103 P          | Ortalama         | 5 BB   | 1103 P          | Ortalama         | 5 BB                          | 1103 P          | Ortalama         |
| Kuraklık stres | Gün ışığı       | 62.78±11.1<br>0 a    | 51.11±10.1<br>8 a | 56.94±11.4<br>7 A | 14.73±0.47<br>h         | 15.30±0.35<br>h | 15.02±0.48<br>H  | 55.60±1.73<br>h  | 60.33±0.58<br>h | 57.97±2.84<br>H  | 62.30±4.59<br>c               | 66.50±0.75<br>d | 64.40±3.74<br>H  |
|                | Kırmızı ışık    | 29.89±8.41<br>c      | 28.57±4.76<br>c   | 29.23±6.16<br>C   | 19.53±0.12<br>e         | 20.33±0.65<br>e | 19.93±0.61<br>E  | 69.93±0.30<br>e  | 72.36±0.80<br>e | 71.14±1.44<br>E  | 72.30±0.79<br>a               | 74.20±1.25<br>a | 73.25±1.40<br>E  |
|                | Mavi ışık       | 37.03±6.41<br>bc     | 35.18±3.21<br>bc  | 36.11±4.65<br>C   | 18.43±0.40<br>f         | 19.07±0.15<br>f | 18.75±0.44<br>F  | 67.32±0.39<br>f  | 68.59±0.84<br>f | 67.95±0.91<br>F  | 69.50±0.46<br>ab              | 70.80±0.30<br>b | 70.15±0.79<br>F  |
|                | Yeşil ışık      | 46.67±6.67<br>b      | 40.37±12.1<br>9 b | 43.52±9.44<br>B   | 16.93±0.21<br>g         | 17.47±0.12<br>g | 17.20±0.33<br>G  | 63.00±0.50<br>g  | 64.85±0.38<br>g | 63.93±1.09<br>G  | 67.70±0.17<br>b               | 68.40±0.30<br>c | 68.05±0.44<br>G  |
|                | Ortalama        | 44.09±14.7<br>1      | 38.81±11.2<br>2   | 41.45±13.0<br>8   | 17.41±1.90              | 18.04±1.99      | 17.73±1.93       | 63.96±5.72   | 66.53±4.69      | 65.25±5.28       | 67.95±4.30                    | 69.98±3.07      | 68.96±3.80       |
| Normal sulama  | Gün ışığı       | 0.00±0.00<br>d       | 0.00±0.00<br>d    | 0.00±0.00<br>D    | 21.63±0.29<br>d         | 22.30±0.26<br>d | 21.97±0.44<br>D  | 75.36±0.54<br>d  | 76.80±0.31<br>d | 76.08±0.88<br>D  | 76.50±0.30<br>d               | 77.60±0.46<br>d | 77.05±0.69<br>D  |
|                | Kırmızı ışık    | 0.00±0.00<br>d       | 0.00±0.00<br>d    | 0.00±0.00<br>D    | 28.13±0.59<br>a         | 30.07±0.85<br>a | 29.10±1.24<br>A  | 83.68±0.45<br>a  | 85.65±0.40<br>a | 84.67±1.14<br>A  | 85.30±0.46<br>a               | 85.70±0.56<br>a | 85.50±0.51<br>A  |
|                | Mavi ışık       | 0.00±0.00<br>d       | 0.00±0.00<br>d    | 0.00±0.00<br>D    | 24.37±0.06<br>b         | 25.73±0.40<br>b | 25.05±0.79<br>B  | 80.72±0.43<br>b  | 82.55±0.81<br>b | 81.63±1.16<br>B  | 82.50±0.30<br>b               | 83.50±0.46<br>b | 83.00±0.65<br>B  |
|                | Yeşil ışık      | 0.00±0.00<br>d       | 0.00±0.00<br>d    | 0.00±0.00<br>D    | 23.07±0.23<br>c         | 23.90±0.30<br>c | 23.48±0.52<br>C  | 78.19±0.83<br>c  | 79.78±0.32<br>c | 78.99±1.03<br>C  | 79.20±0.60<br>c               | 81.00±0.60<br>c | 80.10±1.12<br>C  |
|                | Ortalama        | 0.00±0.00            | 0.00±0.00         | 0.00±0.00<br>**   | 24.30±2.54              | 25.50±3.06      | 24.90±2.82<br>** | 79.49±3.25   | 81.19±3.45      | 80.34±3.39<br>** | 80.88±3.49                    | 81.95±3.18      | 81.41±3.31<br>** |
| Genel ortalama | 22.05±24.7<br>1 | 19.40±21.2<br>9      | 20.73±22.8<br>6   | 20.85±4.15        | 21.77±4.57              | 21.31±4.34      | 71.72±9.14       | 73.86±8.50   | 72.79±8.80      | 74.41±7.63       | 75.96±6.84                    | 75.19±7.21      |                  |

<sup>z</sup>Aynı sütunda farklı harflerle ifade edilen ortalamalar arasında %5 düzeyinde farklılık vardır (Duncan).

\*Aynı sütunda yer alan ortalamalar arasında %5 düzeyinde farklılık vardır (Bağımsız grup T testi); Etki değeri: \*küçük, \*\*orta, \*\*\*büyük

Çizelge 5. Asma anaçlarında kuraklık stresine karşı ek LED ışık uygulamalarının yaprak sıcaklığı, elektrolit sızıntısı, malondialdehit içeriği üzerine etkileri<sup>z</sup>

| Uyg.            | Ek LED ışık  | Yaprak sıcaklığı (°C) |              |              | Elektrolit sızıntısı (%) |              |               | Malondialdehit (nmol.g <sup>-1</sup> ) |              |              |
|-----------------|--------------|-----------------------|--------------|--------------|--------------------------|--------------|---------------|--|--------------|--------------|
|                 |              | 5 BB                  | 1103 P       | Ortalama     | 5 BB                     | 1103 P       | Ortalama      | 5 BB                                   | 1103 P       | Ortalama     |
| Kuraklık stresi | Gün ışığı    | 25.97±0.03 a          | 25.92±0.02 a | 25.94±0.04 A | 33.48±2.17 a             | 26.92±0.32 a | 30.20±3.85 A  | 53.16±1.23 a                           | 49.64±1.09 a | 51.40±2.19 A |
|                 | Kırmızı ışık | 25.55±0.01 d          | 25.52±0.02 d | 25.54±0.02 D | 18.25±0.45 d             | 17.39±0.43 d | 17.82±0.61 D  | 41.76±0.68 d                           | 39.08±1.44 d | 40.42±1.78 D |
|                 | Mavi ışık    | 25.69±0.03 c          | 25.61±0.01 c | 25.65±0.04 C | 21.15±0.47 c             | 19.85±0.43 c | 20.50±0.82 C  | 45.38±0.18 c                           | 44.14±0.67 c | 44.76±0.81 C |
|                 | Yeşil ışık   | 25.86±0.05 b          | 25.78±0.01 b | 25.82±0.05 B | 24.65±0.97 b             | 22.61±0.49 b | 23.63±1.31 B  | 48.02±0.36 b                           | 47.06±0.37 b | 47.54±0.62 B |
|                 | Ort.         | 25.77±0.17            | 25.71±0.16   | 25.74±0.16   | 24.38±6.07               | 21.69±3.71   | 23.04±5.11    | 47.08±4.38                             | 44.98±4.18   | 46.03±4.33   |
| Normal sulama   | Gün ışığı    | 25.49±0.01 a          | 25.44±0.01 a | 25.46±0.03 E | 16.24±0.60 e             | 14.18±0.43 e | 15.21±1.22 E  | 36.74±0.48 e                           | 34.40±0.60 e | 35.57±1.37 E |
|                 | Kırmızı ışık | 25.10±0.02 d          | 25.01±0.07 d | 25.05±0.07 H | 10.76±0.11 g             | 10.29±0.33 h | 10.53±0.34 G  | 16.08±1.68 h                           | 13.38±0.95 h | 14.73±1.92 H |
|                 | Mavi ışık    | 25.29±0.03 c          | 25.17±0.03 c | 25.23±0.07 G | 11.66±0.18 fg            | 11.11±0.02 g | 11.39±0.32 FG | 25.20±0.62 g                           | 20.68±2.27 g | 22.94±2.89 G |
|                 | Yeşil ışık   | 25.39±0.05 b          | 25.33±0.02 b | 25.36±0.05 F | 12.94±0.30 f             | 12.28±0.20 f | 12.61±0.43 F  | 31.66±1.81 f                           | 28.06±1.43 f | 29.86±2.45 F |
|                 | Ort.         | 25.32±0.15            | 25.24±0.17   | 25.28±0.16** | 12.90±2.19               | 11.96±1.55   | 12.43±1.91**  | 27.42±8.14                             | 24.13±8.32   | 25.78±8.22** |
| Genel ortalama  |              | 25.54±0.28            | 25.47±0.29   | 25.51±0.28   | 18.64±7.37               | 16.83±5.69   | 17.74±6.58    | 37.25±11.90                            | 34.56±12.45  | 35.90±12.12  |

<sup>z</sup>Aynı sütunda farklı harflerle ifade edilen ortalamalar arasında %5 düzeyinde farklılık vardır (Duncan).

\*Aynı sütunda yer alan ortalamalar arasında %5 düzeyinde farklılık vardır (Bağımsız grup T testi); Etki değeri: \*küçük, \*\*orta, \*\*\*büyük

Yapılan araştırmalar mavi ışığın bitkilerde klorofillerin, antosiyaninlerin ve diğer sekonder metabolitlerin üretimini teşvik ettiğini ortaya koymuştur [39, 62, 63]. Xiaoying vd. [64] tarafından, mavi ışık altında yetiştirilen fidelerin yapraklarında daha yüksek miktarda fotosentetik pigment biriktiği bildirilmiştir. Çeşitli araştırmacılar tarafından da yeşil, sarı, kırmızı ve beyaz LED lambaların bitkilerin antioksidan savunma mekanizmasını geliştirerek stres koşullarına dayanımlarını artırdığı bildirilmiştir [65, 66, 67].

## SONUÇ

Bu çalışmada ek LED ışık uygulamalarının kuraklık koşulları altındaki asma anaçlarında stres zararının hafifletilmesindeki etkileri morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal verilere dayanılarak yorumlanmıştır. Bu çalışmanın sonuçları, asma fidanlarında kuraklık stresine karşı toleransı indüklemeye umut verici bir yöntem olarak kırmızı ve mavi ek LED ışık uygulamalarının koruyucu ve iyileştirici rollerini açıkça ortaya koymuştur. Bu olumlu etkiler, bitki büyümesinin, klorofil içeriğinin ve su potansiyelinin iyileştirilmesini içermektedir. Bununla birlikte kırmızı ve mavi ek LED ışık uygulamaları; kuraklık kaynaklı membran zararlanma derecesini ve lipid peroksidasyonunu hafifletmiştir. Sonuç olarak kırmızı ve mavi ek LED ışık uygulamalarının kuraklık stresi altında, ozmotik düzenleme ile hücre homeostazının sürdürülmesini desteklediği, bitki büyümesine katkıda bulunduğu ve kuraklık stresi zararını hafiflettiği sonucuna

varılmıştır. Bu çalışma asmalarda kuraklık stresinin hafifletilmesine yönelik yeni bir fikir sunmaktadır ve bu çalışma bulgularının LED ışık uygulamaları tarafından çeşitli abiyotik streslerin hafifletilmesi konusunda yürütülecek gelecekteki çalışmalara kaynak oluşturacağı düşünülmektedir. Gelecekteki araştırmalarda, ek LED ışık uygulamalarının asmaların kuraklık stresine karşı gösterdiği olumlu etkilerin moleküler düzeydeki mekanizmalarının daha ayrıntılı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Bu, bitki hücrelerindeki genetik ve biyokimyasal değişikliklerin anlaşılmasına ve ek LED ışık uygulamalarının özellikle ozmotik düzenleme süreçlerine nasıl katkıda bulunduğu belirlenmesine olanak tanıyacaktır.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK imkânlarıyla yürütülen 1919B012204427 numaralı projenin bir bölümüdür. Desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkürlerimizi sunarız.

## KAYNAKLAR

- Greer, D.H., Weston, C. 2010. Heat stress affects flowering, berry growth, sugar accumulation and photosynthesis of *Vitis vinifera* cv. Semillon grapevines grown in a controlled environment. *Functional Plant Biology* 37:206-214.
- Carvalho, L.C., Amâncio, S. 2018. Cutting the Gordian knot of abiotic stress in grapevine: From



- the test tube to climate change adaptation. *Physiologia Plantarum* 165:330-342.
3. Anonymous, 2007. IPCC: Climate Change 2007: The physical science basis. contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. [Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M., Miller H.L., (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
  4. Anonymous, 2013. IPCC: Climate Change 2013: The physical science basis. contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. [Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M., Miller H.L., (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
  5. Alston, J.M., Sambucci, O. 2019. Grapes in the world economy. In: Cantu D, Walker MA, eds. The grape genome. Cham: Springer, pp:1-24.
  6. Gambetta, G.A., Herrera, J.C., Dayer, S., Feng, Q., Hochberg, U., Castellarin, S.D. 2020. The physiology of drought stress in grapevine: towards an integrative definition of drought tolerance. *Journal of Experimental Botany* 71(18):5717-5717.
  7. Xu, W.R., Shen, W., Ma, J.J., Ya, R., Zheng, Q.L., Wu, N. 2020. Role of an Amur grape CBL-interacting protein kinase VaCIPK02 in drought tolerance by modulating ABA signaling and ROS production. *Environmental and Experimental Botany*, 172, 103999.
  8. Anonymous, 2021. OIV: International Organization of Vine and Wine. <https://www.oiv.int/public/medias/7909/oiv-state-of-the-world-vitivinicultural-sector-in-2020.pdf>.
  9. Fageria, N.K., Baligar, V.C., Clark, R.B. 2006. *Physiology of Crop Production*. Food Products Press, NY, USA.
  10. Hatami, M., Hadian, J., Ghorbanpour, M. 2017. Mechanisms underlying toxicity and stimulatory role of single-walled carbon nanotubes in *Hyoscyamus niger* during drought stress simulated by polyethylene glycol. *Journal of Hazardous Materials*, 324, pp:306-320.
  11. Guo, Y.Y. Yu, H.Y. Kong, D.S. Yan, F. Zhang, Y.J. 2016. Effects of drought stress on growth and chlorophyll fluorescence of *Lycium ruthenicum* Murr. seedlings. *Photosynthetica*, 54, 524-531.
  12. Farooq, M., Wahid, A., Lee, D.J. 2009. Exogenously applied polyamines increase drought tolerance of rice by improving leaf water status, photosynthesis and membrane properties. *Acta Physiol Plant* 31:937-945.
  13. Baiazidi-Aghdam, M.T., Mohammadi, H., Ghorbanpour, M. 2016. Effects of nanoparticulate anatase titanium dioxide on physiological and biochemical performance of *Linum usitatissimum* (Linaceae) under well-watered and drought stress conditions. *Brazilian Journal of Botany* 39:139-146.
  14. Kumar, A., Bernier, J., Verulkar, S., Lafitte, H.R., Atlin, G.N. 2008. Breeding for drought tolerance: direct selection for yield, response to selection and use of drought-tolerant donors in upland and lowland-adapted populations. *Field Crops Research*, 107, pp:221-231.
  15. Gholami Zali, A., Ehsanzadeh, P. 2018. Exogenous proline improves osmoregulation, physiological functions, essential oil, and seed yield of fennel. *Industrial Crops and Products*, 111, pp:133-140.
  16. Zhang, X., Bao, Z., Gong, B., Shi, Q.H. 2020. S-adenosylmethionine synthetase 1 confers drought and salt tolerance in transgenic tomato. *Environmental and Experimental Botany* 179, 104226.
  17. Still, D.W. 2007. *Lettuce Vegetables*. Springer, 140, Berlin.
  18. Zhang, Q., Li, B., Huang, S., Nomura, H., Tanaka, H., Adachi, C. 2014. Efficient blue organic light-emitting diodes employing thermally activated delayed fluorescence. *Nature Photonics* 8(4):326-332.
  19. Zhou, H., Chen, Q., Li, G., Luo, S., Song, T.B., Duan, H.S., Yang, Y. 2014. Interface engineering of highly efficient perovskite solar cells. *Science*, 345 (6196):542-546.
  20. Çakırer, G., Selen, A., Demir, K., Yanmaz, R. 2017. Bahçe bitkilerinde kullanılan ışık kaynakları. *Akademik Ziraat Dergisi*, 6:63-70.
  21. Ouzounis, T., Rosenqvist, E., Ottosen, C.O. 2015. Spectral effects of artificial light on plant physiology and secondary metabolism: a review. *HortScience* 50(8):1128-1135.
  22. Bian, Z.H., Yang, Q.C., Liu, W.K. 2015. Effects of light quality on the accumulation of phytochemicals in vegetables produced in controlled environments: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 95(5):869-877.
  23. Branas, C., Azcondo, F.J., Alonso, J.M. 2013. Solid-State Lighting: A System Review, *Industrial Electronics Magazine IEEE*, 7:6-14.
  24. Silvestri, C., Caceres, M.E., Ceccarelli, M., Pica, A.L., Rugini, E., Cristofori, V. 2019. Influence of Continuous Spectrum Light on Morphological Traits and Leaf Anatomy of Hazelnut Plantlets. *Frontiers in Plant Science* 10:1318.

25. Falciatore, A., Bowler, C. 2005. The evolution and function of blue and red-light photoreceptors. *Current Topics in Developmental Biology* 68:317-350.
26. Hemming, S. 2009. Use of natural and artificial light in horticulture-interaction of plant and technology. Paper presented at the 6. International Symposium on Light in Horticulture 907:25-35.
27. Ruangrak, E., Khummueng, W. 2019. Effects of artificial light sources on accumulation of phytochemical contents in hydroponic lettuce. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 94(3):378-388.
28. Pennisi, G., Orsini, F., Blasioli, S., Cellini, A., Crepaldi, A., Braschi, I., Stanghellini, C. 2019. Resource use efficiency of indoor lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivation as affected by red: blue ratio provided by LED lighting. *Scientific Reports* 9(1):1-11.
29. Çelik, H. 1996. Bağcılıkta anaç kullanımı ve yetiştiricilikteki önemi. *Anadolu Dergisi* 6(2):127-48.
30. Ollat, N., Geny, L., Soyer, J. 1998. Les boutures fructifères de vigne : validation d, un modèle d, étude du développement de la physiologie de la vigne, I Caractéristiques de l'appareil végétative. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin* 32 :1-9.
31. Rosario, D.A., Ocampo, E.M., Sumague, A.C., Paje, M.C.M. 1992. Adaptation of vegetable Legumes to drought stress. In: C.G. Kuo (Ed.) *Adaptation of food crops to temperature and water stress. Proceedings of an international symposium, Taiwan, 13-18 August 1992.* Asian Vegetable Research and Development Center (AVRDC), Shanhua, Taiwan, pp:360-371.
32. Geravandi, M., Farshadfar, E., Kahrizi, D. 2011. Evaluation of some physiological traits as indicators of drought tolerance in bread wheat genotypes. *Russian Journal of Plant Physiology* 58(1):69-75.
33. Yamasaki, S., Dillenburg, L.C. 1999. Measurements of leaf relative water content in *Araucaria angustifolia*. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal* 11:69-75.
34. Nayyar, H. 2003. Accumulation of osmolytes and osmotic adjustment in water-stressed wheat (*Triticum aestivum*) and maize (*Zea mays*) as affected by calcium and its antagonists. *Environmental and Experimental Botany* 50(3):253-264.
35. Lutts, S., Kinet, J.M., Bouharmont, J. 1996. NaCl-Induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany* 78:389-398.
36. Hao, X., Jing, M.Z., Little, C., Khosla, S. 2012. LED inter-lighting in year-round greenhouse mini-cucumber production. *Acta Horticulturae* 956, pp:335-340.
37. Jokinen, K., Särkkä, L.E., Näkkilä, J. 2012. Improving sweet pepper productivity by LED interlighting. *Acta Horticulturae* 956, pp:59-66.
38. Ohashi-Kaneko, K., Takase, M., Kon, N., Fujiwara, K., Kurata, K. 2007. Effect of light quality on growth and vegetable quality in leaf lettuce, spinach and komatsuna. *Environmental Control in Biology* 45(3):189-198.
39. Son, K.H., Oh, M.M. 2013. Leaf shape, growth, and antioxidant phenolic compounds of two lettuce cultivars grown under various combinations of blue and red light-emitting diodes. *HortScience* 48(8):988-995.
40. Lee, Y.J., Ha, J.Y., Oh, J.E., Cho, M.S. 2014. The effect of LED irradiation on the quality of cabbage stored at a low temperature. *Food Science and Biotechnology* 23(4):1087-1093.
41. Goins, G.D., Yorio, N.C., Sanwo, M.M., Brown, C.S. 1997. Photomorphogenesis, photosynthesis, and seed yield of wheat plants grown under red light-emitting diodes (leds) with and without supplemental blue lighting. *Journal of Experimental Botany* 48(7):1407-1413.
42. Hoenecke, M., Bula, R., Tibbitts, T. 1992. Importance of Blue' Photon Levels for Lettuce Seedlings Grown under Red-light-emitting Diodes. *HortScience* 27(5):427-430.
43. Tanaka, M., Takamura, T., Watanabe, H., Endo, M., Yanagi, T., Okamoto, K. 1998. In vitro growth of Cymbidium plantlets cultured under super bright red and blue light-emitting diodes (LEDs). *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 73(1):39-44.
44. Enache, I.M., Livadariu, O. 2016. Preliminary results regarding the testing of treatments with light-emitting diode (LED) on the seed germination of *Artemisia dracunculus* L. *Scientific Bulletin. Series F. Biotechnologies.* 20:51-56, ref.29.
45. Snowden, M.C., Cope, K.R., Bugbee, B. 2016. Sensitivity of seven diverse species to blue and green light: interactions with photon flux. *PLoS One* 11(10):e0163121.
46. Wollaeger, H.M., Runkle, E.S. 2014. Growth of impatiens, petunia, salvia, and tomato seedlings under blue, green, and red light-emitting diodes. *HortScience* 49(6):734-740.
47. Aguirre-Becerra, H., García-Trejo, J.F., Vázquez-Hernández, C., Alvarado, A.M., Feregrino-Pérez, A.A., Contreras-Medina, L.M., Guevara-Gonzalez, R.G. 2020. Effect of extended

- photoperiod with a fixed mixture of light wavelengths on tomato seedlings. *HortScience* 55(11):1832-1839.
48. Folta, K.M. 2004. Green light stimulates early stem elongation, antagonizing light mediated growth inhibition. *Plant Physiology* 135(3):1407-1416.
49. McCree, K.J. 1972. Test of current definitions of photosynthetically active radiation against leaf photosynthesis data. *Agricultural Meteorology* 10:443-453.
50. Vince-Prue, D. 1975. *Photoperiodism in plants*. Academic Press, 428, London.
51. Wheeler, R.M., Mackowiak, C.L., Sager, J.C. 1991. Soybean stem growth under high-pressure sodium with supplemental blue lighting. *Agron. J.* 83:903-906.
52. Loconsole, D., Cocetta, G., Santoro, P., Ferrante, A. 2019. Optimization of LED lighting and quality evaluation of romaine lettuce grown in an innovative indoor cultivation system. *Sustainability* 11(3):841.
53. Britz, S.J., Sager, J.C. 1990. Photomorphogenesis and photo assimilation in soybean and sorghum grown under broad spectrum or blue-deficient light sources. *Plant Physiology* 94(2):448-454.
54. Brown, C.S., Schuerger, A.C., Sager, J.C. 1995. Growth and photomorphogenesis of pepper plants under red light-emitting diodes with supplemental blue or far-red lighting. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 120(5):808-813.
55. Yorio, N.C., Goins, G.D., Kagle, H.R., Wheeler, R.M., Sager, J.C. 2001. Improving spinach, radish, and lettuce growth under red light-emitting diodes (LEDs) with blue light supplementation. *HortScience* 36(2):380-383.
56. Kigel, J., Cosgrove, D.J. 1991. Photoinhibition of stem elongation by blue and red light: effects on hydraulic and cell wall properties. *Plant Physiology* 95(4):1049-1056.
57. Briggs, W.R., Christie, J.M. 2002. Phototropins 1 and 2: versatile plant blue-light receptors. *Trends in Plant Science* 7(5):204-210.
58. Johkan, M., Shoji, K., Goto, F., Hashida, S.N., Yoshihara, T. 2010. Blue light-emitting diode light irradiation of seedlings improves seedling quality and growth after transplanting in red leaf lettuce. *HortScience* 45(12):1809-1814.
59. Savvides, A., Fanourakis, D., Van Ieperen, W. 2012. Co-ordination of hydraulic and stomatal conductances across light qualities in cucumber leaves. *Journal of Experimental Botany* 63(3):1135-1143.
60. Lanoue, J., Leonardos, E.D., Grodzinski, B. 2018. Effects of light quality and intensity on diurnal patterns and rates of photo-assimilate translocation and transpiration in tomato leaves. *Frontiers in Plant Science* 9:756.
61. Liu, H., Fu, Y., Hu, D., Yu, J., Liu, H. 2018. Effect of green, yellow and purple radiation on biomass, photosynthesis, morphology and soluble sugar content of leafy lettuce via spectral wavebands “knock out”. *Scientia Horticulturae* 236, pp:10-17.
62. Kopsell, D.A., Sams, C.E., Morrow, R.C. 2015. Blue wavelengths from LED lighting increase nutritionally important metabolites in specialty crops. *HortScience* 50(9):1285-1288.
63. Wollaeger, H.M., Runkle, E.S. 2015. Growth and acclimation of impatiens, salvia, petunia, and tomato seedlings to blue and red light. *HortScience* 50(4):522-529.
64. Xiaoying, L., Shirong, G., Taotao, C., Zhigang, X., Tezuka, T. 2012. Regulation of the growth and photosynthesis of cherry tomato seedlings by different light irradiations of light emitting diodes (LED). *African Journal of Biotechnology* 11(22):6169-6177.
65. Samuolienė, G., Urbonavičiūtė, A., Brazaitytė, A., Šabajevienė, G., Sakalauskaitė, J., Duchovskis, P. 2011. The impact of LED illumination on antioxidant properties of sprouted seeds. *Open Life Sciences* 6(1):68-74.
66. Dong, C., Fu, Y., Liu, G., Liu, H. 2014. Growth, photosynthetic characteristics, antioxidant capacity and biomass yield and quality of wheat (*Triticum aestivum* L.) exposed to LED light sources with different spectra combinations. *Journal of Agronomy and Crop Science* 200(3):219-230.
67. Lekkham, P., Srilaong, V., Pongprasert, N., Kondo, S. 2016. Anthocyanin concentration and antioxidant activity in light-emitting diode (LED)-treated apples in a greenhouse environmental control system. *Fruits* 71(5):269-274.