

Bahçe bitkilerinde kullanılan ışık kaynakları

Gamze ÇAKIRER¹, Selen AKAN¹, Köksal DEMİR¹, Ruhsar YANMAZ¹

¹Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü 06110 Dışkapı/ANKARA

Alınış tarihi: 14 Ekim 2016, Kabul tarihi: 12 Kasım 2016

Sorumlu yazar: Gamze ÇAKIRER, e-posta:gcakirer@ankara.edu.tr

Öz

Bitkisel üretimde ışık, büyüme ve gelişmede çok etkili olabilen bir faktördür. Güneş ışığı tükenmez bir enerji kaynağı olmasına rağmen günümüzde yapay ışık kaynakları da son derece önemli hale gelmiştir. Üretim çeşitliliğinin artışı bu ihtiyacı daha da çok artırmıştır. Doğada ışık kaynağının yetersiz olduğu koşullarda ve yapay üretim yerlerinde üretim ihtiyacı ve kullanımı daha profesyonel yaklaşımları gerektirmektedir. Bu yönleriyle güneş ışığı en ucuz ışık kaynağı olmasına rağmen tüm ihtiyaçlara cevap vermeyebilmektedir. Buna bağlı olarak bitkisel üretimin birçok aşamasında, verim ve kaliteyi artırmak, bitki büyüme ve gelişme fizyolojisine etkilerde bulunabilme amaçlı yapay ışık kaynaklarının kullanımı ve teknolojisi giderek yaygınlaşmaktadır. Özellikle örtüaltı yetiştiriciliği, kapalı alanlarda yetiştiricilik ve doku kültürü çalışmaları açısından da yapay ışık kaynakları oldukça önemlidir. Bitki büyümesini teşvik etmek, kalite ve verimde homojenlik sağlamak, bitkilerin vejetatif ve generatif dönemlerinde fotoperiyot zamanlarını ayarlamak, bitkilerin morfolojik ve fitokimyasal olaylarını düzenlemek gibi birçok farklı amaçla ışık kaynakları kullanılabilir. Son yıllarda teknolojiye yaşanan gelişmeler ile birlikte özellikle enerji ve etkinliğini önemseyen yeni ışık kaynakları da devreye girmektedir. Ayrıca bu alanda yaşanan teknolojik ilerlemeler ile birlikte, NASA uzay istasyonunda bitkisel üretime yönelik ışık alanında yapılan çalışmalara daha da fazla ağırlık verilmiştir. Söz konusu makalede bitkisel üretimde kullanılan ışık kaynakları ve ışık kaynaklarında yaşanan gelişmeler değerlendirilmiş ve ışık kaynaklarının etkinlikleri ortaya konulmuştur.

Anahtar kelimeler: Işık, bitkisel üretim, yapay ışık kaynakları

Light sources used in horticulture

Abstract

Light in plant production may be very effective factor in growth and development. Although sunlight is an inexhaustible source of energy, artificial light sources have become extremely important. The increase of production diversity has increased even more the need. In conditions of insufficient light source in nature and artificial manufacturing site, the need for production and use requires a more professional approach. Although sunlight in these aspects is most inexpensive light source, unable to reply to all your needs. Consequently artificial light sources and technology are becoming increasingly common to increase efficiency and quality, to be able to effects on plant growth and development physiology in various stages of crop production. Especially artificial light source is very important in terms of greenhouse and covered cultivation and tissue culture studies. Light source can be used many different purposes such as promote of plant growth, ensure homogeneity in quality and yield, adjust to photoperiod time when the plants vegetative and generative period, to organize morphological and phytochemical events in plants. In recent years with development in technology especially are put new light source care of energy and efficacy. Also with technological advances taking place in this area, NASA space station given to more importance to study of light for plant production. In this article has been evaluated light source and development of light

source and has been demonstrated the efficacy of light source.

Key words: Light, crop production, artificial light source

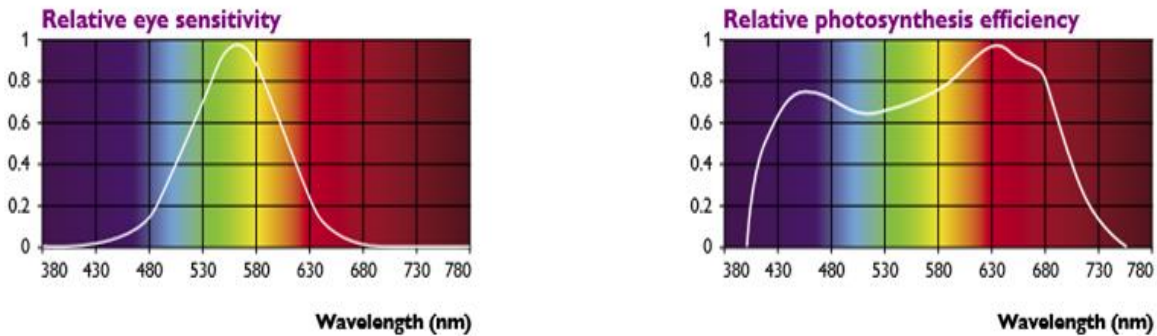
Giriş

Işık bitkisel üretimde en etkili çevresel faktörlerden birisidir. İnsan gözü için ışık; elektromanyetik radyasyonun görülebilen kısmını oluştururken, bitkiler ışık renklerine karşı tamamen farklı duyarlılığa sahiptir (Karakaş, 2008). Bitkiler üzerinde sadece enerji kaynağı olarak değil aynı zamanda bitkilerin büyüme, gelişme ve çeşitli metabolik olaylarında da ışık etkilidir (Urbonavičiūtė ve ark., 2008). Bitkiler ışık spektrumuna fotoreseptörleri ile farklı tepkiler oluşturmaktadır. Işık spektrumunda ki farklılıklar her bitki türünde farklı morfojenetik ve fotosentetik tepkilere yol açmaktadır (Urbonavičiūtė ve ark., 2008). Bitkilerde büyüme, kalite ve verimde artış, bitkilerin fotoperiyot zamanlarını ayarlamak, morfolojik ve fitokimyasal olaylarını düzenlemek gibi birçok farklı amaçla ışık kaynakları kullanılabilir. Bitkiler için ışık kaynağı güneştir. Güneş tükenmez ve en ucuz ışık kaynağı olmasına rağmen günümüzde ışığın yetersiz olduğu veya yapay üretim alanlarında ışık kaynakları büyük önem kazanmıştır. Özellikle üretimin yoğun olarak gerçekleştirildiği seralarda, iklim odalarında ya da doku kültürü çalışmalarında yapay aydınlatma sistemleri ile ilgili yoğun çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Son yıllarda bu alanda yaşanan teknolojik gelişmeler ile birlikte de NASA uzay istasyonunda bitkisel üretime yönelik ışık alanında yapılan çalışmalara daha da fazla ağırlık verilmesi bu konuyu daha da ön plana çıkartmaktadır.

Açıkta yetiştiriciliğin yapıldığı bitkiler için ışık kaynağı güneştir. Güneş tükenmez ve en ucuz ışık kaynağı olmasına rağmen günümüzde ışığın yetersiz olduğu veya yapay üretim alanlarında ışık kaynakları büyük önem kazanmıştır. Özellikle üretimin yoğun olarak gerçekleştirildiği seralarda, iklim odalarında ya da doku kültürü çalışmalarında yapay aydınlatma sistemleri ile ilgili yoğun çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Son yıllarda bu alanda yaşanan teknolojik gelişmeler ile birlikte de NASA uzay istasyonunda bitkisel üretime yönelik ışık alanında yapılan çalışmalara daha da fazla ağırlık verilmesi bu konuyu daha da ön plana çıkartmaktadır.

Bitki-ışık ilişkisi

Bitkiler ışığa karşı insanlardan tamamen farklı duyarlılığa sahiptir. Bu nedenle bitki gelişiminde ışık, foton ya da kuantum olarak isimlendirilen küçük parçacıklar şeklinde tanımlanır. Fotonların enerji içeriği dalga boyuna (ışık renk spektrumu) bağlı olarak değişir. Güneş ışığı spektrumu; ultraviyole, görünür ışık ve kızılötesi olmak üzere üç kısımdan oluşur. Ancak bu spektrumun yalnızca bir kısmı bitkiler tarafından fotosentezde kullanılır. Fotosentezde etkili olan spektrum "PAR-ışığı (400-700 nm)" olarak isimlendirilirken, PAR bölgesinde bulunan fotonların miktarı ise "büyüme ışığı" olarak isimlendirilir (μmol). Global radyasyonun %45'i PAR ışığından oluşur. Bitki büyümesinde etkili bir lambada mümkün olduğunca fazla elektrik enerjisinin PAR enerjisine dönüştürülmesi gerekmektedir. "Günlük ışık integrali (DLI)" ise PAR bölgesinde (400-700 nm) bir gün boyunca alınan foton sayısını ifade etmektedir. Spesifik olarak DLI her gün 1 m² alanda alınan fotosentetik ışık miktarına karşılık gelmektedir. DLI fidelerde kök ve sürgün gelişimi, çeliklerde köklenme ve gövde çapı, dallanma ve çiçek sayısı gibi bitkilerde kalite faktörleri üzerinde etkili olabilmektedir. Dış koşullarda ortalama DLI 5-60 mol m⁻² gün⁻¹'dir (bölge ve zamana bağlı olarak). Seralarda ise ışık geçirgenliği genellikle %35-50 oranında azaldığı için DLI oranı da azalmaktadır. Seralarda DLI oranı minimum 10-12 mol m⁻² gün⁻¹ olmalıdır ve bitki kalitesi DLI'nın artışı ile genellikle artmaktadır. Ancak gölge bitkilerinden olan Afrika menekşeleri ve Phalaenopsis orkideleri ortalama 4-6 mol m⁻² gün⁻¹ DLI'da iyi gelişim gösterirken, bazı çiçekli bitkiler ise daha yüksek DLI'da iyi gelişim göstermektedir (Anonymous, 2016).



Şekil 1. Işık spektrumu (Anonymous, 2016).

Fotoreseptörler ve ışık spektrumu

Bitkilerde fotokimyasal olaylar, dalga boyuna bağlı olarak fotosentetik aktif pigmentlerin absorpsiyon kapasitesi ve kuantum enerji düzeylerinde farklılık gösteren ışınların emilmesine bağlıdır (McCree, 1973). Bu nedenle bitkisel üretimde ışık kaynaklarının spektral dağılımı, fotomorfojenik yanıtların belirleyicisidir (Kopsell ve ark., 2015). Klorofil pigmentleri tarafından maksimum ışık absorpsiyonu ve fotosentez kuantum verimi, görünür ışık spektrumunun mavi ve kırmızı bölgelerinde meydana gelmektedir (McCree, 1972). Ancak bitkiler ışığın dalga boyuna karşı önemli fizyolojik yanıtları düzenleyen diğer özel fotoreseptörler bakımından da evrimleşmiştir (Kopsell ve ark., 2015).

Fitokromlar kırmızı ışık fotoreseptörleridir. Bu fotoreseptörler tohum çimlenmesi ve çiçeklenme gibi fizyolojik cevapları kontrol eden kırmızı ve far-red dalga boyları arasında ayırım yapmaktadır (Chaves ve ark., 2011; Vierstra ve Zhang, 2011; Fraikin ve ark., 2013). Kırmızı ışıklar bitkilerde fotosentez, bitki büyümesi, çiçeklenme ve bitkilerin besin içeriğine etkilerde bulunmaktadır (Massa ve ark., 2008; Kopsell ve ark., 2015). Kriptokromlar, fototropinler ve F-box proteinleri (hücre döngüsünün düzenlenmesinde ve sinyal transdüksiyonu ile ilgili özel yapısal motifler) mavi/ultraviyole (UV) dalga boylarına yanıt veren mavi ışık reseptörleridir. Mavi ışık; fotosentez, fototropizm, gövde uzaması ve fide büyümesi, stoma kontrolü ve bitkilerin besin içeriğinde etkili olmaktadır (Massa ve ark., 2008; Kopsell ve ark., 2015). Kriptokromlar gövde uzaması gibi yanıtları düzenleyen sinyal moleküllerini tetiklerken, fototropinler ışık emilimini en üst düzeye çıkarmak için kloroplast hareketlerini kontrol eder (Briggs and Christie, 2002; Christie, 2007). UVR8 ise UV-B ışık fotoreseptörü olarak tanımlanmaktadır ve aydınlık koşullarda bitkilerin UV ışınlarına aklimatizasyon sağlayabilmesi için gen ifadesindeki değişiklikleri düzenlemektedir (Fraikin ve ark., 2013).

Bitkisel Üretimde Kullanılan Işık Kaynakları

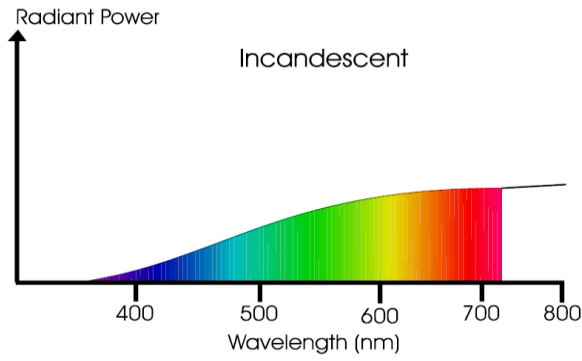
Bitkisel üretimde ışık kaynağı tükenmez ve en ucuz enerji olarak kabul edilen güneş ışığı olabildiği gibi özellikle günümüzde yapay ışık kaynakları da son derece önemli hale gelmiştir. Son yıllarda tüketici talebine bağlı olarak üretim çeşitliliğinde meydana gelen artışlar da bu ihtiyacı daha da ön plana çıkarmış ve profesyonel yaklaşımları önemli hale getirmiştir. Bu nedenle bitkisel üretimin birçok aşamasında verim, kalite, bitki büyüme ve gelişme fizyolojisine etkilerde bulunabilmek amacıyla yapay ışık kaynaklarının kullanımı yaygınlaşmaktadır.

Bitkisel üretimde yapay ışık kaynaklarının kullanımı güneş ışığını desteklemek amacıyla kullanılabildiği gibi, güneş ışığı olmayan yetiştirme kabinleri veya dolaplarında da yapay ışık kaynakları kullanılabilmektedir (Koç ve ark., 2009). Bitkisel üretimde yaygın olarak kullanılan ışık kaynakları; akkor telli lambalar, metal halojen lambalar, floresan lambalar, yüksek basınçlı sodyum buharlı deşarj lambaları ve son yıllarda ise LED lambalarıdır (Koç ve ark., 2009; Anonymous, 2010; Dayıoğlu ve Silleli 2012).

Akkor telli lambalar (Incandescent lamps)

Akkor telli lambalar, tungsten telinin yaklaşık 2500 °C'ye ısıtılması sonucunda ışık yayar. Bu sıcaklıkta filamentten yayılan spektrum önemli oranda görünür radyasyon içerir. Akkor telli lambalarda enerjinin (watt) % 15'i PAR (400-700 nm) olarak yayılır. Geri kalan % 75'i kızılötesi (850-2700 nm) ve % 10'u ise termal enerji (>2700 nm) olarak yayılır.

Akkor telli lambaların ışık etkinlikleri ve lamba ömrü çok fazla olmadığı için bu lambalar fotosentezde ek aydınlatma sağlamada çok etkili bir radyasyon kaynağı değildir. Ancak bu lambaların kullanımı nispeten daha ucuzdur, sık açma-kapma döngüsü uygulanabilir ve büyük oranda kırmızı ve kızılötesi radyasyon üretir. Bu lambaların gece ek aydınlatmada ve uzun gün uygulamalarında kullanımı bulunmaktadır (Anonymous, 2010).



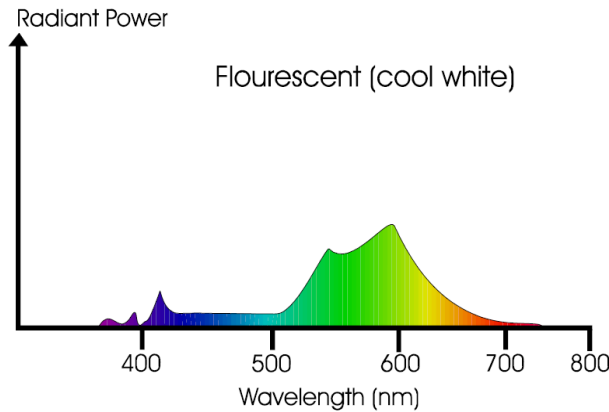
Şekil 2. Akkor telli lambaların spektrumu (Anonymous, 2010).

Floresan lambalar (Fluorescent lamps)

Akkor telli lambaların aksine floresan lambalar, ışığı düşük basınçlı cıva buharının uyarılması ile üretir. Lamba tüpünün zıt uçlarındaki elektrotlarda yüksek diferansiyel gerilimi, gaz karışımında cıva iyonunu uyarıcı bir etki yapar ve kısa dalga boylu (UV) radyasyon yayar. Cam tüpte bulunan özel floresan kaplamalar ise bu kısa dalga boylu ışınları görünür spektruma çevirir.

Floresan lambalar akkor telli lambalara göre daha etkin ışık üretimine sahiptir ve daha uzun

ömürlüdür. Aynı zamanda bu lambalar daha az ısınır ve PAR aralığında oldukça dengeli bir spektrum oluştururlar. Floresan lambaların daha serin çalışma özelliği iklim odalarında ve özellikle çok katlı sistemlerde bitkilere yakın monte edilmesine olanak tanır (Anonymous, 2010). Hamamoto ve Yamazaki (2011) tarafından yapılan bir çalışmada da domateste floresan lamba ile ek aydınlatma sonucunda domates veriminin %10 arttığı saptanmıştır.

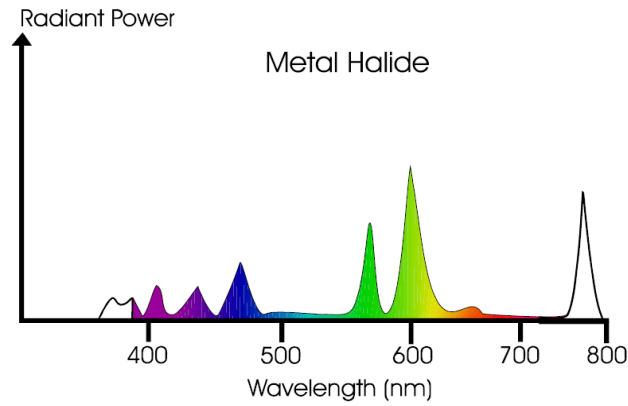


Şekil 3. Floresan lambaların spektrumu (Anonymous, 2010).

Metal halojen lambalar (Metal halide lamps)

Metal halojen lambalar kuvars ark tüpünde cıva buharını ve farklı iyodür karışımlarını (sodyum, toryum ve talyum) kullanır. Bu lambalar diğer lambalara göre bitkisel üretimde en iyi genel

spektral dağılımı sağlar. Ancak PAR aralığında enerji dönüşümü (özellikle sarı-kırmızı spektrumlarında) yüksek basınçlı sodyum lambalar kadar etkili değildir (Anonymous, 2010).

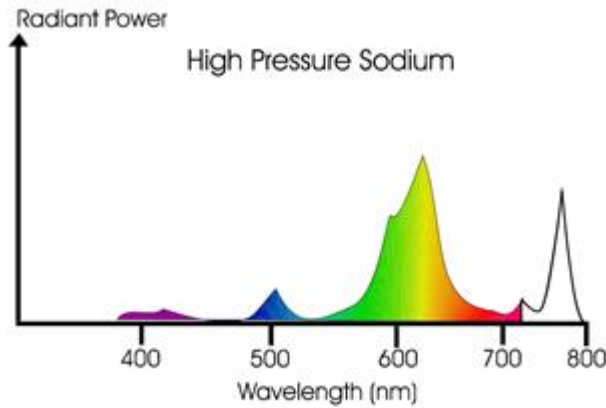


Şekil 4. Metal halojen lambaların spektrumu (Anonymous, 2010).

Yüksek basınçlı sodyum buharlı deşarj lambalar (HPS) (high pressure sodium discharge lamps)

Yüksek basınçlı sodyum lambalar, bitkisel üretim uygulamalarında kullanılan en popüler lamba tipi haline gelmiştir. Emisyon spektrumu sarı-turuncu-kırmızı aralığında (500-650 nm) yoğunlaşmıştır. Mavi spektrum ise oldukça düşüktür. Bu lambaların ışık kaynağı olarak kullanıldığında; floresan, cıva buharlı ya da mavi ışığın yüksek olduğu diğer ışık kaynakları ile takviye edilmesi gerekebilir (Anonymous, 2010). Nakkila ve ark. (2006),

tarafından yapılan bir çalışmada HPS (400 Watt) lambaların domateste verim üzerine etkileri araştırılmış ve domateste verim ve kaliteyi arttırdığı tespit edilmiştir. Dominique-Andre ve ark. (1998), tarafından yapılan bir çalışmada da HPS lambaların etkileri incelenmiş ve domateste verimde artış olduğu saptanmıştır. Eltez (1995) tarafından yapılan bir çalışmada da domates, biber, patlıcan ve hıyarda HPS lambaların kullanımı ile fide başına düşen yaprak sayısı ve alanını arttırdığı saptanmıştır.



Şekil 5. Yüksek basınçlı sodyum lambaların spektrumu (Anonymous, 2010).

Led lambalar

LED aydınlatmalar günümüzde bitkiler için ek aydınlatmada önemli bir rol oynamaktadır. LED aydınlatmalar ile bitkilerin büyüme evrelerinde ışık reçeteleri uygulanabilmektedir. Bu lambaların kullanım ömrü uzundur, ısı oluşumu düşük, ışık ve enerji verimliliği yüksektir. LED ışık kaynaklarının

morötesinden (UV) kızılötesine (IR) kadar uzanan ve görünür ışık bölgesini de kapsayan geniş bir aralıkta üretimi bulunmaktadır ve bu durum araştırmacılar için oldukça iyi olanaklar sunmaktadır (Koç ve ark., 2009; Anonymous, 2016).

LED aydınlatmalar ile güvenli bir aydınlatma desteği sağlanır, fide gelişimi daha sağlıklı olur, bitkilerin gelişimi kontrol altında tutulabilir, verim ve kalitede

artışı sağlanabilir. LED aydınlatmalar ile homojen bir ışınım oluşturulduğu gibi önemli derecede enerji tasarrufu da sağlanmaktadır. (Özkök ve ark., 2016). Sase ve ark. (2012),'nin yaptıkları çalışmada gece ek aydınlatmada farklı spektral nitelikteki LED'lerin (mavi, yeşil, kırmızı ve far-red) etkileri araştırılmıştır. Mavi, yeşil, kırmızı ve far-red LED'ler için spektral dağılımlar sırasıyla 466, 527, 661 ve 738 nm olarak pik vermiştir. Yapılan çalışma sonucunda, özellikle ek aydınlatma yapılmayan kontrol bitkileri ile kıyaslandığında, mavi ve kırmızı ışık altındaki marul bitkilerinde taze sürgün ağırlığı %22 ve %38 daha yüksek olmuştur. Krizantemde de taze sürgün ağırlığı açısından mavi ve kırmızı ışık uygulaması benzer etkide bulunmuştur. Ayrıca her iki bitkide de mavi ışık gövde ve yaprak uzamasını teşvik etmiştir. Köksal ve ark., (2014) tarafından yapılan çalışmada ışık kaynağı olarak; doğal güneş ışığı (kontrol), gündüz saatlerinde güneş ışığı, güneş battıktan sonra ise kırmızı-turuncu ışık veren LED lambalar (623nm) kullanılmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda bitki boyu, yaprak sayısı, çiçek sayısı ve biyokütle ağırlığı bakımından kırmızı-turuncu LED ışık ile yapılan ek aydınlatmanın istatistiksel olarak farklılık yarattığı belirlenmiştir. Choi ve ark. (2015), tarafından yapılan bir çalışmada üç farklı dalga boyuna sahip LED ışık uygulaması çilek bitkisinde meyve kalitesi, büyüme karakteristikleri ve fitokimyasal üretimi belirlemek için kullanılmıştır. Işık kaynağı olarak mavi (448 nm), kırmızı (634 ve 661 nm) ve mavi + kırmızı (=3:7) LED ışıklar kullanılmıştır. Işık kaynaklarının uygulanması: 1) yetiştirme odalarında tek ışık kaynağı LED (GC) ve 2) plastik serada ortam ışığına ek aydınlatma (PG) şeklinde yapılmıştır. PG'de yetiştirilen bitkiler, GC'de yetiştirilen bitkilere göre daha yüksek verim değerine sahip olmuştur. Ayrıca PG'de hasat edilen meyveler, GC'de hasat edilen meyvelere göre daha yüksek organik asit seviyesine sahip olmuştur. Farklı LED ışıkların etkileri incelendiğinde PG'de ortam aydınlatmasına ek olarak mavi ve kırmızı + mavi LED'lerin kullanımının meyve üretimini arttırdığı saptanmıştır. Lee ve ark. (2015), tarafından yapılan çalışmada yaprak marulda (*Lactuca sativa*) kırmızı ve mavi LED'lerin etkileri araştırılmıştır. Işık miktarları K/M: 90/30, 80/40, 70/50 ve 60/60 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ oranlarında karıştırılmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda en yüksek yaprak ağırlığı 80/40 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$

(47.5 g bitki⁻¹) ve 90/30 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (46.6 g bitki⁻¹) uygulamalarından elde edilmiştir. Yaprak uzunluğu bakımından ise en yüksek değerler 90/30 ve 80/40 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ uygulamalarından elde edilmiştir, yaprak kalınlığı da mavi ışık miktarındaki artış ile artmıştır. Xu ve ark. (2012), tarafından yapılan bir çalışmada mavi LED (450 nm) ışığın kullanımının domates yapraklarında yaprak turgor basıncında artış sağladığı, meyve renginin daha kırmızı olduğu ve verimde artış olduğu bildirilmiştir. Kopsell ve Sams (2013) tarafından yapılan bir çalışmada da mavi LED ışığın brokoli filizlerinde fitokimyasal içeriklerinde artış sağladığı bildirilmiştir. Hasperué ve ark., (2016) brokoli depolamada (5-22°C) düşük yoğunlukta (20 mmol $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$) beyaz ve mavi LED kullanımının klorofil seviyesinde artış sağladığını bildirmiştir. Xiao-ying ve ark. (2010), tarafından yapılan çalışmada cherry domates fidelerinde beyaz ışık floresan lamba, kırmızı + mavi + sarı + yeşil + mor LED, kırmızı + mavi + yeşil LED, kırmızı + mavi + sarı LED, kırmızı + mavi + mor LED, kırmızı + mavi + sarı + mor LED ve kırmızı + mavi LED (50 mmol $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$) ışıklar kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda en yüksek fotosentetik potansiyel enerji=kırmızı + mavi + sarı + mor uygulamasından elde edilmiştir. Ayrıca kırmızı + mavi ışık ile sarı ve mor ışık kullanımının fidelerde düşük ışık stresini hafiflettiği bildirilmiştir. Da-wei ve ark. (2011),'nin yaptıkları çalışmada hıyar fidelerinde kırmızı, mavi, kırmızı + mavi (9:1, 8:2, 7:3, 6:4, 5:5) ve floresan lamba uygulamaları denenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda kırmızı + mavi ışık uygulamalarında bitki büyümesi daha iyi olurken; R/B (7:3) uygulamasında da yaprak ağırlığı ve klorofil içeriği en yüksek bulunmuştur. Wollaeger ve Runkle (2014) tarafından yapılan bir çalışmada ise süs bitkilerinde kırmızı LED ışık uygulamasının olumlu sonuçlar verdiği bildirilmiştir.

Sonuç

Işığın bitki büyümesi ve gelişimi üzerindeki etkileri araştırmaya oldukça açık bir konudur. Özellikle günümüzde LED teknolojisinde yaşanan gelişmeler yapılan çalışmaların daha da artmasını sağlamıştır. Bu alanda yapılacak çalışmalarla ışık spektrumu ve etkinliklerinin daha detaylı bir şekilde ortaya konulması ve bitkilere özgü ışık reçetelerinin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Kaynaklar

- Anonymous, 2010. Web page: <http://www.arguscontrols.com/resources/Light-and-Lighting-Control-in-Greenhouses.pdf>. Date accessed: 05.10.2016.
- Anonymous, 2016. Web page: [file:///C:/Users/user/Desktop/Downloads/general-booklet-philips-led-lighting-in-horticulture%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/user/Desktop/Downloads/general-booklet-philips-led-lighting-in-horticulture%20(1).pdf). Date accessed: 05.10.2016.
- Briggs, W.R., Christie, J.M., 2002. Phototropins 1 and 2: Versatile plant blue-light receptors. *Trends Plant Sci.* 7(5): 204–210.
- Chaves, I., Pokorny, R., Byrdin, M., Hoang, N., Ritz, T., Brettel, K., Essen, L.O., van der Horst, G.T.J., Batschauer, A., Ahmad, M., 2011. The cryptochromes: Blue light photoreceptors in plants and animals. *Annu. Rev. Plant Biol.* 62: 335–364.
- Choi, H.G., Moon, B.Y., Kang, N.J., 2015. Effects of LED Light on the Production of Strawberry During Cultivation in a Plastic Greenhouse and in a Growth Chamber. *Scientia Horticulturae*, 189: 22-31.
- Christie, J.M., 2007. Phototropin blue-light receptors. *Annu. Rev. Plant Biol.* 58: 21–45.
- Dayıoğlu, M.A., Silleli, H. 2012. Sera için yapay aydınlatma sistemi tasarımı: günlük ışık integrali yöntemi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi (Journal of Agricultural Machinery Science)*, 8(2): 233-240.
- Da-wei, T., Guo-bin, Z., Fan, Z., Xiang-mei, P., Ji-hua, Y., 2011. Effects of different LED light qualities on growth and physiological and biochemical characteristics of cucumber seedlings. *Journal of Gansu Agricultural University*, 1.
- Dominique-André, D., Martine, D., Chris, H.W., André, G., 1998. Effects of supplemental light duration on greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) plants and fruit yields. *Scientia Horticulturae*, 74: 295-306.
- Eltez, R.Z., 1995. Bazı sera sebze türlerinde ilkbahar yetiştiriciliğinde fide döneminde yapılan ilave aydınlatmanın kalite ve verime etkileri üzerinde araştırmalar. *Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.*
- Fraikin, G.Y., Strakhovskaya, M.G., Rubin, A.B., 2013. Biological photoreceptors of light-dependent regulatory processes. *Biochemistry (Mosc.)* 78(11): 1238–1253.
- Hamamoto, H., Yamazaki, K., 2011. Supplemental lighting inside the plant canopy increased the yield and quality of three-truss-ordered tomato. *ActaHort*, 907: 283-286.
- Hasperué, J.H., Guardianelli, L., Rodoni, L.M., Chaves, A.R., Martínez, G.A., 2016. Continuous white/blue LED light exposition delays postharvest senescence of broccoli. *LWT-Food Science and Technology*, 65: 495-502.
- Karakaş, A., 2008. Sera Aydınlatmacılığı. *Elektrik Mühendisliği, Ağustos*, 434: 142-144.
- Koç, C., Vatandaş, M., Koç, A.B., 2009. LED Aydınlatma Teknolojisi ve Tarımda Kullanımı. 25. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi, 01-03 Ekim, Isparta.
- Kopsell, D.A., Sams, C.E., 2013. Increases in shoot tissue pigments, glucosinolates, and mineral elements in sprouting broccoli after exposure to short-duration blue light from light emitting diode. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 138(1): 31-37.
- 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.
- Köksal, N., İncesu, M., Teke, A., 2014. LED Aydınlatma Sisteminin Domates Bitkisinin Gelişimi Üzerine Etkileri. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 7(1): 53-57.
- Lee, G., Yoon, J., Lee, M., 2015. Effects of Irradiation Quantities of Mixed Red and Blue LEDs on the Growth, Total Flavonoids and Phenolic Compound Contents of Leaf Lettuce Grown in Plant Factory. *XXIX IHC-Proc. Int. Symp. on Innovation and New Technologies in Protected Cropping, Acta Hort.*, 245-250.
- Massa, G.D., Kim, H.H., Wheeler, R.M., Mitchell, C.A., 2008. Plant Productivity in Response to LED Lighting. *HortScience*, 43(7): 1951-1956.
- McCree, K.J., 1972. Test of current definitions of photosynthetically active radiation against leaf photosynthesis data. *Agr. Meteorol.* 10: 443–453.
- McCree, K.J., 1973. The measurement of photosynthetically active radiation. *Sol. Energy*, 15, 83–87.
- Nakkila, J., Hovi-Pekkanen, T., Tahvonen, R., 2006. Interplaning ensures continuous tomato production. *ActaHort*, 711: 255-260.
- Özkök, A., Çakırer, G., Demir, K., 2016. Sera ve LED Aydınlatma. *Tarım Gündem, Mart-Nisan*, 6(31): 32-34.
- Sase, S., Mito, C., Okushima, L., Fukuda, N., Kanesaka, N., Sekiguchi, K., Odawara, N., 2012. Effect of Overnight Supplemental Lighting with Different Spectral LEDs on the Growth of Some Leafy Vegetables. *Proc. 7th IS on Light in Horticultural Systems, Acta Hort.*, 956:327-334.

- Urbonavičiūtė, A., Samuolienė, G., Brazaitytė, A., Ulinskaitė, R., Jankauskienė, J., Duchovskis, Žukauskas, A., 2008. The possibility to control the metabolism of green vegetables and sprouts using light emitting diode illumination. *Scientific Works Of The Lithuanian Institute of Horticulture And Lithuanian University Of Agriculture, Sodininkystė Ir Daržininkystė*, 28(2): 83-92.
- Vierstra, R.D., Zhang, J., 2011. Phytochrome signaling: Solving the Gordian knot with microbial relatives. *Trends Plant Sci.*, 16(8): 417-426.
- Wollaeger, H.M., Runkle, E.S., 2014. Growing Seedlings Under LEDs:Part Two. *Greenhouse Grower*, February 2014: 40-42.
- Xiao-ying, L., Zhi-gang, X., Tao-tao, C., Shi-rong, G., 2010. Growth and Photosynthesis of Cherry Tomato Seedling Exposed to Different Low Light of LED Light Quality. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 4.
- Xu, H., Xu, Q., Li, F., Feng, Y., Qin, F., Fang, W., 2012. Applications of xerophytophysiology in plant production-LED blue light as a stimulus improved the tomato crop. *Scientia Horticulturae*, 148: 190-196.