



## The Effect of Artificial Lighting Intensities and Durations on the Yield of Basil Plant Grown by Hydroponic Technique

Uğur Yegül<sup>1,a,\*</sup>, Burak Şen<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup>Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Kavacık/Subayevleri, Keçiören, Ankara, Türkiye  
<sup>2</sup>Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknolojileri Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Niğde, Türkiye,  
51240\*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Research Article</i></p> <p>Received : 03.04.2024 Accepted : 13.05.2024</p> <p><i>Keywords:</i> Vertical farming Hydroponic Artificial lighting LED lighting Ocimum basilicum</p>	<p>The traditional method of agriculture, which continues today, depends on many factors. For this reason, soilless farming techniques, where the control is entirely in the producer, are increasing rapidly. The most crucial element of soilless agriculture is lighting. By using artificial lighting, the plants' photoperiod can be controlled, and it is reported as a result of the research that it is possible to increase the yield. This study investigated the effects of different light intensities and durations on the development and yield of broad green and red-leaved basil plants (<i>Ocimum basilicum</i>) using cold white and full spectrum light, which is the spectrum with the highest illumination efficiency. In the study, which was carried out on a total area of 13.5 m<sup>2</sup>, the relationships between the nitrogen balance index (NBI) and the yield values obtained after harvest were evaluated statistically by applying different artificial lighting intensities and durations 27 separate 0,5 m<sup>2</sup> trial plots. In the study, the three light intensity factor (ASF) levels were 165.6 µmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, 248.4 µmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> and 331.2 µmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> as photosynthetic photon flux density (PPFD), respectively. Three light exposure duration factor (ASF) levels with (12-16-20 hours day<sup>-1</sup>) were tested. According to the results, 331.2 µmol s<sup>-1</sup> light intensity factor and 20 hours day<sup>-1</sup> light exposure duration factor for a broad green basil plant, 331.2 µmol s<sup>-1</sup> light intensity factor and 12 hours light exposure duration factor for a broad red basil plant, the highest yield values were obtained.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 12(9): 1516-1522, 2024

## Yapay Aydınlatma Şiddeti ve Süresinin Hidroponik Tekniği İle Yetiştirilen Fesleğen Bitkisinin Verimine Etkisi

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p><i>Araştırma Makalesi</i></p> <p>Geliş : 03.04.2024 Kabul : 13.05.2024</p> <p><i>Anahtar Kelimeler:</i> Dikey tarım Hidroponik Yapay aydınlatma LED aydınlatma Ocimum basilicum</p>	<p>Bu çalışmada aydınlatma veriminin en yüksek olduğu spektrum olan soğuk beyaz ve tam spektrum ışık kullanılarak farklı ışık şiddetleri ve sürelerinin geniş yeşil ve kırmızı yapraklı fesleğen bitkilerinin (<i>Ocimum basilicum</i>) gelişimi ve verimi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Toplamda 13,5 m<sup>2</sup> lik alanda gerçekleştirilen çalışmada, 27 ayrı, 0,5' er m<sup>2</sup> lik deneme parsellerinde farklı yapay aydınlatma şiddeti ve süreleri uygulanarak azot denge indisi (NBI) ve hasat sonrasında elde edilen verim değerlerinin arasındaki ilişkiler istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada aydınlatma şiddeti faktörünün (AŞF) üç seviyesi, fotosentetik foton akı yoğunluğu (PPFD) olarak sırasıyla, 165,6 µmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, 248,4 µmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> ve 331,2 µmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> ile aydınlatma süresi faktörünün (ASF) üç seviyesi (12-16-20 saat gün<sup>-1</sup>) denenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre geniş yeşil yapraklı fesleğen bitkisi için 331,2 µmol s<sup>-1</sup> aydınlatma şiddeti faktörü ve 20 saat gün<sup>-1</sup> aydınlatma süresi faktörlerinde, geniş kırmızı yapraklı fesleğen bitkisi içinse 331,2 µmol s<sup>-1</sup> aydınlatma şiddeti faktörü ve 12 saat gün<sup>-1</sup> aydınlatma süresi faktörlerinde en yüksek verim değerleri elde edilmiştir.</p>

<sup>a</sup> [yegul@ankara.edu.tr](mailto:yegul@ankara.edu.tr)

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0003-2139-4080>

<sup>a</sup> [bsen@ohu.edu.tr](mailto:bsen@ohu.edu.tr)

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0001-8105-1106>



## Giriş

Kontrollü ortamlarda kullanılan tarım teknikleri son yıllarda oldukça önemli hale gelmiştir. Bunlardan en önemlisi iklim koşullarının değişmesi ve tarım arazilerinin azalmasıyla öne çıkan “topraksız tarım”dır. Son yıllarda bu tarım tekniği yoğun talep görmekte ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte bu alanda birçok araştırma yapılmaktadır (Gül, 2008; Hossain ve ark., 2016).

Günümüzde kullanılan tarım yöntemleri birçok faktöre bağlıdır. Özellikle geleneksel yöntemle yapılan yetiştiricilikte toprak besin elementleri yetersiz olabilir ve toprak yapısı tarıma uygun olmayabilir. Toprakta zararlıların ve hastalıkların varlığı, verimi önemli ölçüde azaltır. Bu nedenle topraksız tarım teknikleri ile gerçekleştirilen yetiştiricilikte tarla koşullarında karşılaşılan problemlerin çoğu kolaylıkla aşılabılır. Topraksız tarım teknikleri ile elde edilen verim artışının geleneksel yöntemlere göre 4 ila 10 kat daha fazla olduğu bildirilmektedir. En verimli yöntem, sera koşullarında hidroponik tarım tekniklerini kullanmaktır. Bu şekilde yetiştirilmesi en kolay sebzeler; domates, salatalık, biber, marul ve diğer yapraklı sebze ve otlardır (Despommier, 2009).

Topraksız tarım tekniklerinin en büyük dezavantajı, ilk kurulum aşamasında gerekli olan maliyet ve teknik bilgidir; Fusarium ve Verticillium solgunluğu gibi organizmaların neden olduğu bazı hastalıklar sistem boyunca hızla yayılabilir. Bu problemler genellikle hastalığa dayanıklı çeşitler ve test ekipmanı kullanımı ile aşılabılır. En önemli avantajları ise ekilebilir olmayan arazi uygulaması, su ve gübrenin verimli kullanımınıdır.

Günümüzde dünya topraklarının yaklaşık %12’si (1,5 milyar hektar) tarımsal üretim için kullanılmaktadır (FAO, 2019). FAO 2030/2050 tahmin raporuna göre; gelişmekte olan ülkelerde ve gelişmiş ülkelerde, dünyada kişi başına düşen ekilebilir arazi alanının yıldan yıla azalacağı belirlenmiştir. Dünya nüfusu ve gıda talebi artmaya devam ederken, kişi başına düşen ekilebilir arazi alanı yıldan yıla azalmakta ve bu da ülkelerin önümüzdeki birkaç yıl içinde bir gıda kriziyle karşı karşıya kalacağını göstermektedir (FAO, 2019). Ayrıca, iklim değişikliği ve tarım arazilerinin tarım dışı amaçlarla kullanılması nedeniyle dünyanın ekilebilir alanları azalırken, dünya nüfusu hiç olmadığı kadar hızlı artmaktadır. 100 yıl önce dünya nüfusunun 100 milyon kişi artması 20 yıl sürerken, dünya nüfusu sadece 2018’de 83,3 milyona artmıştır (FAO, 2019).

Günümüzde sınır ötesi tarımsal yatırım ve topraksız tarım yöntemleri çözüm haline gelmiştir. Ekilebilir alanların azalmasının yanı sıra tatlı su kaynaklarının azalması ve kirlenmesi de tarımın karşı karşıya olduğu diğer önemli sorunlardır. Günümüz dünyasında su elde etme mücadelesi hızla artmakta ve geleneksel tarım yöntemlerinde kullanılan su miktarı ekonomik olmaktan çıkmaktadır. Suyu verimli kullanan kapalı sistem topraksız tarım teknikleri günümüzde hızla önem kazanmaktadır. 1940’larda küresel su tüketimi yılda 1 km<sup>3</sup> civarındayken, 1960’larda bu rakam iki katına çıkmıştır. 1990’larda su tüketimi 4 km<sup>3</sup> yıl<sup>-1</sup>’a ulaşmıştır (Gülgönül & Akiş, 2020).

2020’nin başından ilk kez Çin’de ortaya çıktıktan sonra, Covid-19 hastalığı tüm dünyaya yayılmış, küresel bir salgın haline gelmiş ve gıda üzerinde bir ticaret savaşını başlatmıştır (BBC, 2020). Sağlıklı ya da organik gıdaya erişimin önemi neticesinde, suyu ve mekanı en verimli şekilde kullanan kapalı

sistemler çok önemli hale gelmektedir. Tarımsal faaliyetlerle ilgilenmeyen insanlar bile organik tarımın önemini anlamış ve aramaya başlamıştır.

Tüm bu nedenler göz önüne alındığında topraksız tarım teknikleriyle ilgili yetiştiricilik alanında daha fazla araştırma yapılması gerektiği ve bu çalışmanın konusu olan fesleğen bitkisi ile ilgili benzer bir araştırma olmaması nedeniyle ülkemizde reyhan olarak bilinen *Ocimum basilicum* çeşidi seçilmiştir. Dünyanın önemli uçucu yağ içeren bitkilerinden biri olup, birçok ülkede ticari şekilde ekimi yapılmaktadır. *Ocimum* cinsinin dünya genelinde 65 civarında çeşidinin olduğu ve Asya, Afrika ve Güney Amerika’nın sıcak ve ılıman bölgelerinde doğal olarak yayıldıkları bilinmektedir (Paton ve ark., 1999).

Fesleğen Türkiye’de doğal yayılış göstermemekte ve özellikle Batı ve Güney Anadolu’da, çoğunlukla ev bahçelerinde ve hatta balkonlarda ve saksılarda yetiştirilmektedir. Bazı yörelerde özellikle doğu illerinde mor renkli tipler yaygındır ve reyhan olarak isimlendirilmektedir. Batı illerinde yaygın olan yabancı literatürde ‘sweet basil’ olarak bilinen yeşil renkli varyeteler, fesleğen olarak adlandırılmaktadır (Tekinay, ve ark., 2006).

Yetiştirilen fesleğen ekonomik olarak tek yıllık bir bitkidir. İnce, dallanmış kökleri vardır. Dallanmış veya dallanmamış dik veya yarı dik, 50-60 cm yükseklikte saplara sahiptir. Yapraklar çeşitlere göre değişmekle birlikte genellikle yumurtamsı uzun, taban kısmı küt, az dişli ve saplıdır. Tabandan itibaren dallanma veya dallanmayan sap veya yapraklar çıplak ve yayıf tüylüdür. Yaprak yüzü dalgalı olabilir. Büyük veya küçük yapraklara sahiptir. Çiçek sapın ucunda bulunur. Çiçekler genelde altısı bir arada bulunan başak görünümündedir. Alt kısmında başaktaki çiçekler seyrek, üst kısmında sıktır. Taç yapraklar beyaz renklidir. Meyvesi yumurta şeklinde uzunumsu eliptik şekle kadar değişir. Karın kısmı keskin köşelidir. Uzunluğu 1,5-2 mm, kalınlığı ise genellikle 1 mm kadardır. Hilum daha açık renkli ve belirgindir. Meyvenin yüzeyi kırışık ve damarlıdır. Rengi koyu kahverengidir. Fesleğen yabancı ot bulunmayan temiz bir tarla ister. Ekim nöbetinde çiftlik gübresi ile iyi gübrelenmiş çapa bitkisinden sonra gelmesi önerilmektedir ayrıca fesleğenin vejetasyon devresi esnasında en önemli sorunu yabancı otlarla mücadeledir (Arabaci ve Bayram, 2004; Tekinay ve ark., 2006). Bitki topraksız tarım teknikleri ile yetiştirildiği için bu sorunlar kendiliğinden ortadan kalkmaktadır.

## Materyal ve Yöntem

Araştırmada test bitkisi olarak yeşil ve kırmızı renkli geniş yapraklı fesleğen (*Ocimum basilicum*) kullanılmıştır. Çalışma Tübitak’ın katkısıyla Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı bünyesinde kurulan “Topraksız Tarım Teknikleri Uygulama ve Otomasyon” laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Bitkiler alan tasarrufu amacıyla dikey tarım teknikleri kullanılarak yetiştirilmiştir. Dikey tarım tekniği sayesinde alan ihtiyacı üçte iki oranında düşürülmüştür. Bitkiler kapalı ortamda ve kapalı devirdaim sistemde aynı besin çözeltisi kullanılacak şekilde topraksız tarıma uygun delikli fileler yardımı ile yetiştirilmiştir. Sistemde bitkilerin tutunmasını sağlayacak madde olarak tamamen saf ve tuzsuz çakıl taşının

fırınlanması ile elde edilen hidroton taşı kullanılmıştır. Hidroton taşları 2022 yılında tamamlanan TÜBİTAK destekli topraksız tarımla ilgili bir proje kapsamında alınmıştır. Hidroton taşlarının çapları 8 ile 16 mm arasında değişmektedir. Hidroton taşı çok seyrek bir konsantrasyonda element içermektedir, pH seviyesi 7'dir. Kullanılan hidroton taşı, bitkinin kök bölgesinin iyi havalandırılmasını sağlamaktadır (Hossain ve ark., 2016; Oktafi ve ark., 2015).

Araştırma toplamda 13,5 m<sup>2</sup> lik alanda 27 ayrı, 0,5 er m<sup>2</sup> lik deneme parsellerinde üç tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. Denemede aydınlatma şiddeti faktörünün üç seviyesi (165,6  $\mu\text{mol s}^{-1}$ , 248,4  $\mu\text{mol s}^{-1}$  ve 331,2  $\mu\text{mol s}^{-1}$ ) ile aydınlatma süresi faktörünün üç seviyesi (12 saat, 16 saat ve 20 saat) test edilmiştir. Her bir lambanın PPF değeri 82,8  $\mu\text{mol s}^{-1}$ 'dir. Deneme planı Çizelge 1'de verilmiştir. Her bir parselde 4 adet bitki olacak şekilde m<sup>2</sup> 'de yaklaşık 8 adet bitki olacak şekilde deneme yapılmıştır.

Bitkilerin yetiştirilebilmesi için hazırlanan besin çözeltisinin element içeriği (mg/L) şu şekildedir: Nitrat (NİTRAT mı NİTRAT AZOTU mu?): 294; P 50; K 386; Ca 214; Mg 30; Fe 9; Mn 2,7; B 1; Zn 0,3; Cu 0,14; Mo 0,14 ve toplam yaklaşık 1000 ppm'dir (Epstein ve Bloom, 2005; Peter, 2012; Tekinay ve ark., 2006). Sistemdeki sıvının

elektriksel iletkenlik (EC), asitlik veya bazlık derecesi (pH), çözülmüş oksijen miktarı (ÇO) ve sıcaklık (T) değerleri yürütücülüğünü yaptığım 1200970 numaralı ve "Topraksız Tarım Üretim Sistemlerinde Kullanılabilecek Gömülü Yazılım Ve Kontrol Kitinin Geliştirilerek Maydanoz Bitkisi (Petroselinum Crispum) Yetiştiriciliğinde Test Edilmesi" başlıklı 1002 Hızlı Destek Projesi sonucunda geliştirilen kontrol kiti ile gerçekleştirilmiştir. Sistemde istenen EC değeri 1000 ppm (parts per million) veya 1,56 mS cm<sup>-1</sup> (Dunn and Singh, 2016), pH değeri 6, çözülmüş oksijen miktarı yaklaşık olarak 6,2 mg L<sup>-1</sup> ve sıcaklık değeri 24 °C (Dunn and Singh, 2016)'dir. Ayrıca sistemdeki sıvının önemli parametreleri profesyonel test cihazları ile yaklaşık dört günde bir ölçülmüş ve Çizelge 2'de verilmiştir.

Bitkilerin yetiştirme ve hasat döneminde kadar yapraktan azot denge indis değerleri (NBI) elde edilmiş ve bu amaçla Force-A Dualex Scientific sensörü kullanılmıştır (Şekil 1). Elde edilen değerlere göre hasat zamanına kadar NBI değerinin artış gösterdiği ve hasat zamanında en yüksek değere ulaştığı gözlenmiştir. (Bilger ve ark., 1997; Cerovic ve ark., 2012; Goulas ve ark., 2004; Matilla ve ark., 2018; Overbeck ve ark., 2018). Resim 1'de Force-A Dualex Scientific el sensörü ve çalışma prensibi verilmiştir.

Çizelge 1. Deneme planı

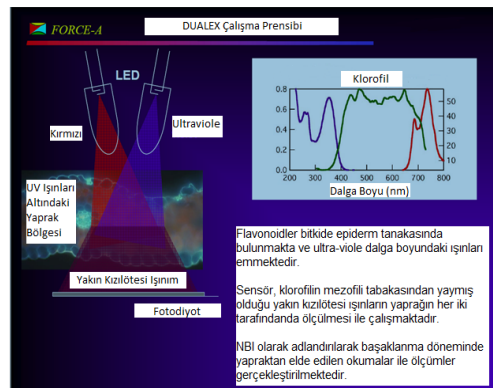
Table 1 Trial plan

Aydınlatma şiddeti ( $\mu\text{mol/m s}$ )	165,6	331,2	165,6	248,4	165,6	248,4	165,6	331,2	248,4
Aydınlatma süresi (saat/gün)	12	20	20	16	16	20	16	12	20
Aydınlatma şiddeti ( $\mu\text{mol/m s}$ )	331,2	165,6	248,4	165,6	331,2	331,2	248,4	248,4	165,6
Aydınlatma süresi (saat/gün)	16	16	12	20	20	12	12	20	12
Aydınlatma şiddeti ( $\mu\text{mol/m s}$ )	248,4	248,4	331,2	248,4	331,2	165,6	331,2	165,6	331,2
Aydınlatma süresi (saat/gün)	12	16	16	16	12	20	20	12	16

Çizelge 2. Sistemdeki sıvıya ait önemli parametreler

Table 2. Specific parameters of the liquid in the system

Ölçüm	EC (mS/cm)	pH	DO (mg/L)	Total N (mg/L)	NO <sub>3</sub> (mg/L)	Fe (mg/L)	K (mg/L)	Mg (mg/L)	PO <sub>4</sub> (mg/L)
1	1,59	6,0	6,5	321	321	0,043	342	40,9	36,9
2	1,57	6,1	6,4	319	320	0,042	339	40,8	36,7
3	1,59	6,0	6,3	322	321	0,044	341	40,9	36,9
4	1,56	6,2	6,4	318	318	0,040	338	40,7	36,6
5	1,56	6,2	6,6	319	319	0,040	338	40,7	36,6
6	1,56	6,2	6,5	319	319	0,040	338	40,7	36,6
7	1,57	6,1	6,5	319	318	0,041	339	40,8	36,7
8	1,59	6,0	6,5	322	322	0,046	341	40,9	36,9
9	1,57	6,1	6,4	318	319	0,041	339	40,7	36,8
10	1,56	6,2	6,6	317	318	0,040	339	40,6	36,6



Resim 1 Force-A Dualex Scientific el sensörünün çalışma prensibi (ITK, 2022)  
Image 1 Working principle of Force-A Dualex Scientific hand sensor (ITK, 2022)

## Bulgular ve Tartışma

Yapılan çalışma sonucunda geniş yeşil yapraklı fesleğen çeşidi için en yüksek verim değeri  $331,2 \mu\text{mol s}^{-1}$  aydınlatma şiddeti faktörü ve  $20 \text{ saat gün}^{-1}$  aydınlatma süresi faktörlerinde elde edilmiş ve  $356 \pm 0,5 \text{ gr}$  olarak bulunmuştur. En düşük verim değeri ise  $165,6 \mu\text{mol s}^{-1}$  aydınlatma şiddeti faktörü ve  $20 \text{ saat gün}^{-1}$  aydınlatma süresi faktörlerinde  $204 \pm 0,5 \text{ gr}$  olarak elde edilmiştir. Geniş yeşil yapraklı fesleğen bitkisi için hasat döneminde ölçülen azot denge indisi değerleri ile verim değerleri istatistiksel olarak değerlendirildiğinde çok güçlü doğrusal ilişki ( $R^2=0,9278$ ) bulunmuştur.

Geniş kırmızı yapraklı fesleğen çeşidi için ise en yüksek verim değeri  $331,2 \mu\text{mol s}^{-1}$  aydınlatma şiddeti faktörü ve  $12 \text{ saat gün}^{-1}$  aydınlatma süresi faktörlerinde elde edilmiş ve  $389 \pm 0,5 \text{ gr}$  olarak bulunmuştur. En düşük verim değeri ise  $331,2 \mu\text{mol s}^{-1}$  aydınlatma şiddeti faktörü ve  $16 \text{ saat gün}^{-1}$  aydınlatma süresi faktörlerinde  $301 \pm 0,5 \text{ gr}$  olarak elde edilmiştir. Geniş kırmızı yapraklı fesleğen bitkisi için hasat döneminde ölçülen azot denge indisi değerleri ile verim değerleri istatistiksel olarak değerlendirildiğinde yine çok güçlü doğrusal ilişki ( $R^2=0,9199$ ) bulunmuştur.

İki farklı fesleğen çeşidi için yapay aydınlatma ile verim arasındaki ilişkilerin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen bir çalışmada mavi ve kırmızı (sırasıyla  $452 \text{ nm}$  ve  $632 \text{ nm}$ ) LED ve beyaz yapay aydınlatma kaynakları kullanılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen değerlere göre önemli bir farklılık bulunmadığı bildirilmiştir (Aldarkazali ve ark., 2019).

Bir başka çalışmada hidroponik tarım tekniği kullanılarak yetiştirilen fesleğen bitkisi  $447 \text{ nm}$ - $627 \text{ nm}$  mavi ve kırmızı ışık altında  $20\text{M}/80\text{K}$  ile  $50\text{M}/50\text{K}$  oranlarında gerçekleştirilen aydınlatma sonucunda en yüksek verim değerlerinin alındığı bildirilmiştir (Hammock ve ark., 2021).

Marul ve fesleğen bitkilerinin gelişim ve verim değerlerinin araştırılması amacıyla gerçekleştirilen bir çalışma  $24 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de ve  $450 \mu\text{mol mol}^{-1} \text{ CO}_2$  koşullarında kırmızı ve mavi ışık altında beş farklı PPFd ( $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ,  $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ,  $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ,  $250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ve  $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) değerleri ve  $16 \text{ saat gün}^{-1}$  fotoperiyodu kullanılmıştır.  $250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 'lik PPFd değerlerinin uygulandığı denemede hem marul hem de fesleğen için

biyokütle üretiminde en yüksek artış belirlenmiştir (Pennisi ve ark., 2020).

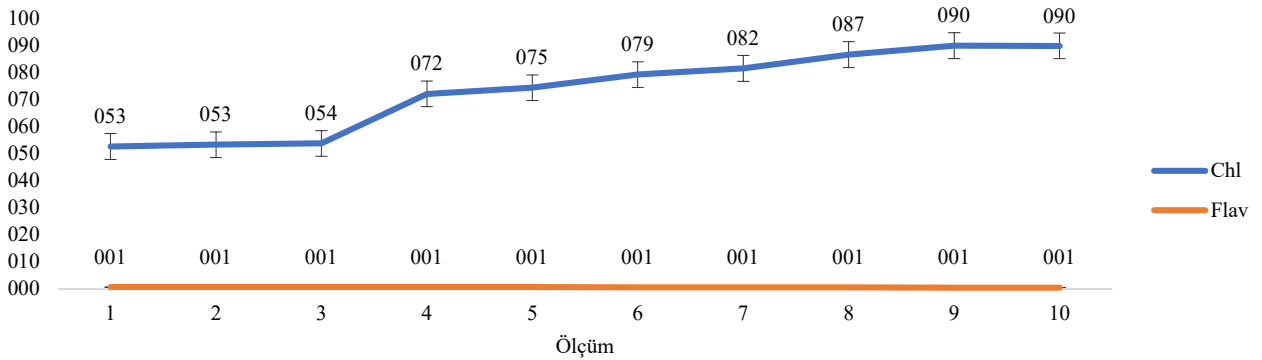
Fotosentetik foton akı yoğunluğunun tüm yapay aydınlatma uygulamaları için  $155 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ve fotoperiyot günde  $20 \text{ saat}$  olarak uygulandığı bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışma materyali fesleğen bitkisidir. Fesleğen bitkisi için LED aydınlatma kaynağı seçilerek, mavi, kırmızı ve uzak kırmızı ışık aydınlatma kombinasyonları denenmiştir. Çalışma sonucunda fesleğen bitkisinin veriminde yalnızca beyaz LED'e kıyasla önemli bir verim artışı olmadığı bildirilmiştir (Rahman ve ark., 2021).

Sistemdeki sıvının EC değeri  $1,56 \text{ mS cm}^{-1}$  olarak seçilmiş bunun nedeni, yapılan çalışmalarda EC değerinin  $1$  ile  $1,8 \text{ mS cm}^{-1}$  arasında olması gerektiğinin bildirilmiş olmasıdır (Prince, 2020 ve Blackman, 2015).

Sistemdeki sıvının pH değeri  $5,5$  ile  $6,9$  arasında tutulmaya çalışılmış, Runia ve Boonstra, 2004; Van Os, 1994 gerçekleştirdikleri çalışmalarda pH seviyesini  $5,8$  ile  $6,4$  aralığında tutmuşlardır. Rakocy, 1993; Rakocy ve ark., 2006; Rakocy ve ark., 2007 yıllarında gerçekleştirdikleri çalışmalarda ideal pH değerinin  $6,5$  ile  $7$  arasında olması gerektiğini yeşil aksamı bol olan bitkilerin genellikle  $20$ - $24^\circ\text{C}$  de sağlıklı bir şekilde yetiştiklerini bildirmişlerdir. Araştırma kullanılan sıcaklık değeride  $22^\circ\text{C}$  olarak seçilmiştir.

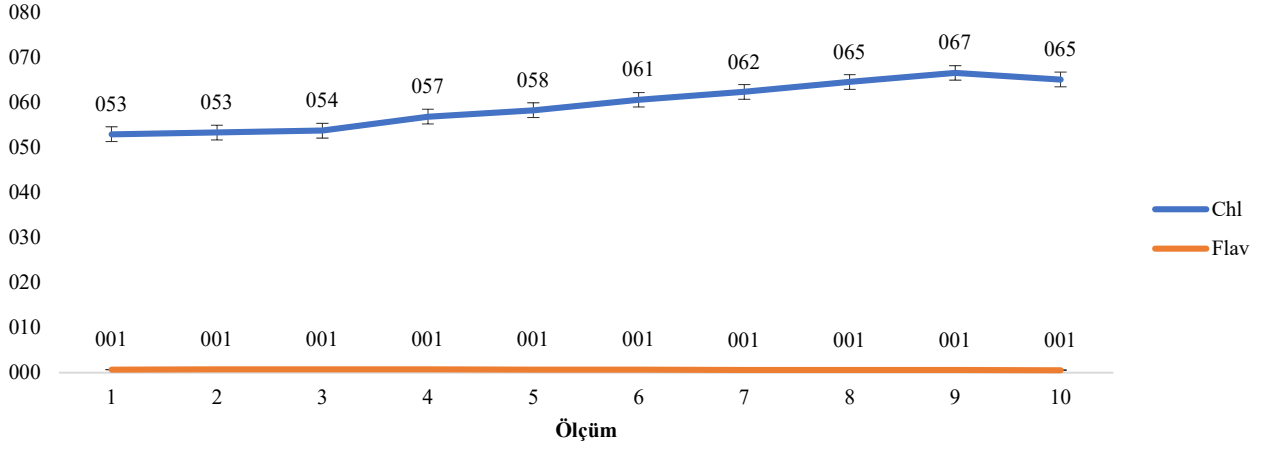
Işık veriminin en yüksek olduğu spektrum; soğuk beyaz ışık ve tam spektrum olarak adlandırılan yapay aydınlatma ile sağlanabildiği bildirilmektedir (Bugbee, 2016; Ouzounis ve ark., 2015; Snowden ve ark., 2016). Ayrıca çoğu bitki için en az  $184 \mu\text{mol s}^{-1}$  ışık yoğunluğu gerektiği bildirilmiştir, bu bilgiye dayanarak araştırmada, soğuk beyaz ışık-tam spektrum aydınlatma tercih edilmiş en düşük ışık yoğunluğu olarak gerekli olan ışık yoğunluğuna yakın bir değer seçilmiştir (McCree, 1971; Bugbee, 2016; Snowden ve ark., 2016; Ouzounis ve ark., 2015).

Resim 2 ve 5 arasında fesleğen bitkisi için en düşük ve en yüksek verimin elde edildiği denemeye ait klorofil ile flavonol içeriklerinin  $10$  farklı ölçümden elde edilen değerlerini gösteren grafikler verilmiştir. Aynı zamanda fesleğen bitkisine ait hasat döneminde elde edilen azot denge indisi değerleri ile verim değerleri arasındaki ilişkiler Resim 6 ve 7'de verilmiştir.

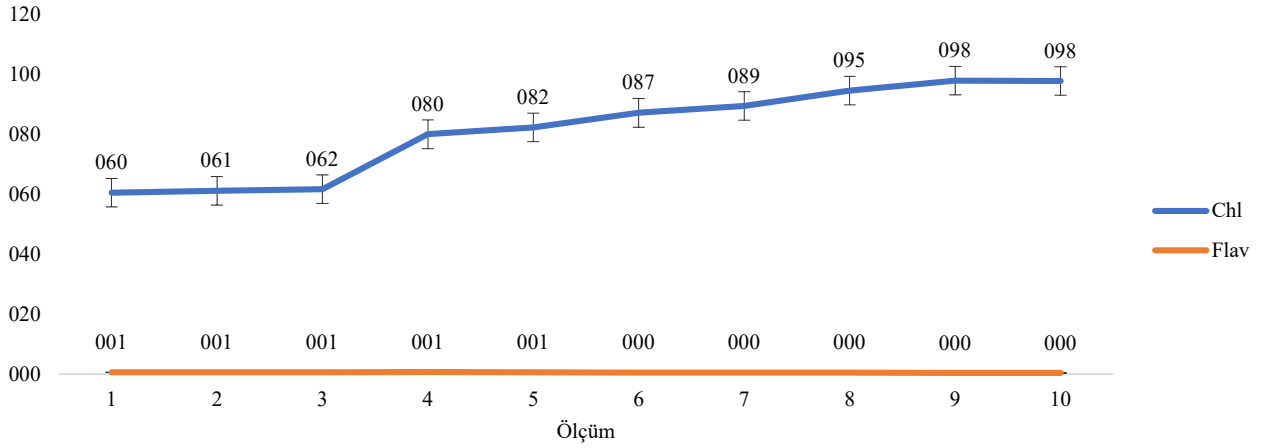


Resim 2. Geniş yeşil yapraklı fesleğen bitkisi için en yüksek verimin elde edildiği denemeye ait klorofil ile flavonol içeriklerinin  $10$  farklı ölçümden elde edilen değerlerini gösteren grafik

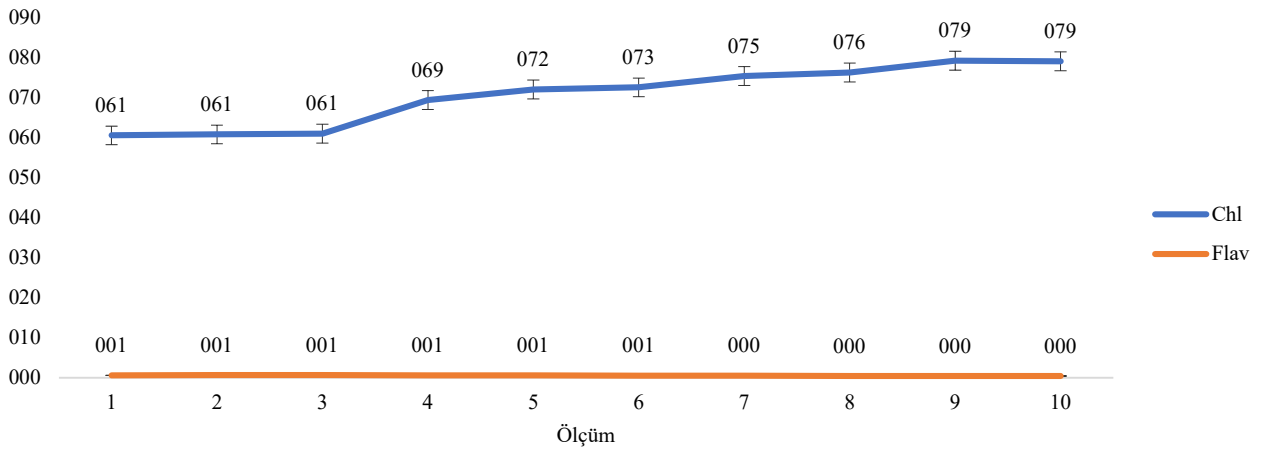
Image 2. Graph showing the values of chlorophyll and flavonol contents obtained from  $10$  different measurements of the experiment in which the highest yield was obtained for the broad green basil plant.



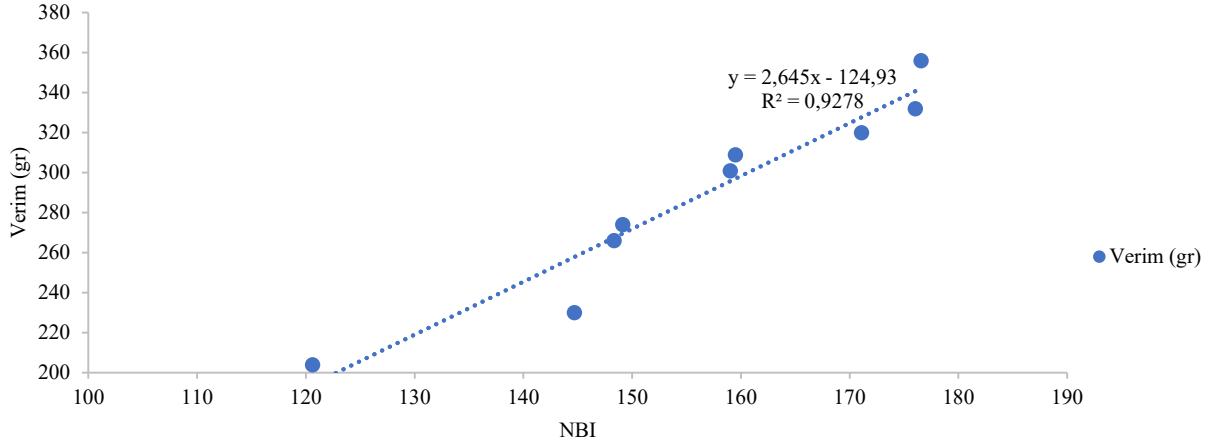
Resim 3. Geniş yeşil yapraklı fesleğen bitkisi için en düşük verimin elde edildiği denemeye ait klorofil ile flavonol içeriklerinin 10 farklı ölçümden elde edilen değerlerini gösteren grafik  
 Image 3. Graph showing the values of chlorophyll and flavonol contents obtained from 10 different measurements of the experiment in which the lowest yield was obtained for the broad green basil plant.



Resim 4. Geniş kırmızı yapraklı fesleğen bitkisi için en düşük verimin elde edildiği denemeye ait klorofil ile flavonol içeriklerinin 10 farklı ölçümden elde edilen değerlerini gösteren grafik  
 Image 4. Graph showing the values of chlorophyll and flavonol contents obtained from 10 different measurements of the experiment in which the highest yield was obtained for the broad red basil plant.

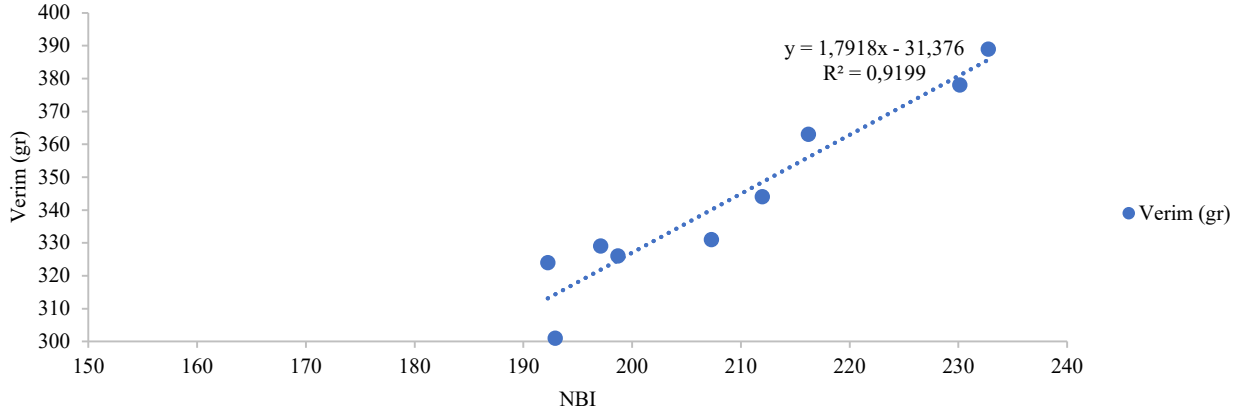


Resim 5. Geniş kırmızı yapraklı fesleğen bitkisi için en düşük verimin elde edildiği denemeye ait klorofil ile flavonol içeriklerinin 10 farklı ölçümden elde edilen değerlerini gösteren grafik  
 Image 5. Graph showing the values of chlorophyll and flavonol contents obtained from 10 different measurements of the experiment in which the lowest yield was obtained for the broad red basil plant.



Resim 6. Geniş yeşil yapraklı fesleğen bitkisine ait hasat döneminde elde edilen azot denge indisi değerleri ile verim değerleri arasındaki ilişki

Image 6. The relationship between nitrogen balance index values and yield values obtained during the harvest period of broad green basil plant.



Resim 7. Geniş kırmızı yapraklı fesleğen bitkisine ait hasat döneminde elde edilen azot denge indisi değerleri ile verim değerleri arasındaki ilişki

Image 7. The relationship between nitrogen balance index values and yield values obtained during the harvest period of broad red basil plant.

## Sonuç

Bu çalışma ile tam spektrum beyaz ışık yoğunluğunun ve uygulama süresinin önemi ve sonuçları ortaya konmuştur. Çalışma sonucunda, farklı yapay aydınlatma şiddetlerinin ve sürelerinin iki farklı çeşidi fesleğen bitkisinde klorofil ve flavonol ile verim değerlerini etkilediği belirlenmiştir. Araştırma sonucunda en yüksek verimin alındığı yapay aydınlatma süresi ve şiddeti belirlenmiş, fesleğen bitkisin literatürde 65 farklı çeşidi olduğu bilindiği için bu tür çalışmaların devamlılığının gerektiği sonucu ortaya çıkmaktadır.

## Bilgi

Bu çalışma, yürütücülüğünü yapmış olduğum "120O970" numaralı Tübitak projesi kapsamında, Tübitak'ın desteği ile, Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı bünyesinde kurulan laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

## Kaynaklar

- Aldarkazali, M., Rihan, H.Z., Carne, D., Fuller, M.P. (2019). The growth and development of sweet basil (*Ocimum basilicum*) and bush basil (*ocimum minimum*) grown under three light regimes in a controlled environment. *Agronomy*, 9(11), 743. <https://doi.org/10.3390/agronomy9110743>
- Arabaci, O. & Bayram, E. (2004). The effect of nitrogen fertilization and different plant densities on some agronomic and technologic characteristic of ocimum basilicum l. (basil). *Journal of Agronomy*, 3(4), 255-262. <https://doi.org/10.3923/ja.2004.255.262>.
- BBC. (2020, March). British Broadcasting Corporation. <https://www.bbc.com/turkce/haberler-dunya-51614548>.
- Bilger, W., Veit, M., Schreiber, L., and Schreiber, U. (1997). Measurement of leaf epidermal transmittance of UV radiation by chlorophyll fluorescence. *Physiologia Plantarum*, 101(4), 754-763. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1997.tb01060.x>
- Blackman, C. (2015, 24 April). *Playing By The Rules: Biochemical Sequence, Nutrient Antagonis*. <https://www.linkedin.com/pulse/playing-rules-biochemical-sequence-nutrient-caitlin-blackman/>.

- Bugbee, B. (2016). Towards an optimal spectral quality for plant growth and development: the importance of radiation capture. *Acta Horticulturae*, 1134, 1-12. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1134.1>
- Cerovic, Z.G., Masdoumier, G., Ghozlen, N.B., and Latouche, G. (2012). A new optical leaf-clip meter for simultaneous non-destructive assessment of leaf chlorophyll and epidermal flavonoids. *Physiologia Plantarum*, 146(3), 251-260. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2012.01639.x>
- Despommier, D. (2009). The rise of vertical farms. *Scientific American*, 301(5), 80-87. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican1109-80>
- Dunn, B., and Singh, H. (2016). Electrical Conductivity and pH Guide for Hydroponics. *Oklahoma State University*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.20271.94885>.
- Epstein, E., and Bloom, A.J. (2005). Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives. 2nd Ed., *Sinauer Associates*, Sunderland, MA. ISBN: 9780878931729
- FAO. (2019, February). *Statistical Yearbook*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. World Food and Agriculture. <https://www.fao.org/3/cb1329en/CB1329EN.pdf>
- Goulas, Y., Cerovic, Z.G., Cartelat, A., and Moya, I. (2004). Dualex: a new instrument for field measurements of epidermal UV-absorbance by chlorophyll fluorescence. *Applied Optics*, 43(23), 4488-96. <https://doi.org/10.1364/AO.43.004488>
- Gül, A. (2008). Topraksız Tarım. *Hasad Yayıncılık*. ISBN 978-975-8377-66-4
- Gülgönül, A., & Akiş, E. (2020). Sınır ötesi tarım yatırımlarının geleceği ve ülkelerin sınır ötesi tarım yatırımı ihtiyacının tespiti için bir yaklaşım. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 34(2), 531-553. <https://doi.org/10.16951/atauniiibd.661243>
- Hammock, H.A., Kopsell, D.A., and Sams, C.E. (2021). Narrowband blue and red led supplements impact key flavor volatiles in hydroponically grown basil across growing seasons. *Front Plant Sci*, 12, 623314. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.623314>
- Hossain, S.M., Imsabai, W., and Thongket, T. (2016). Growth and quality of hydroponically grown lettuce (*lactuca sativa* L.) using used nutrient solution from coconut-coir dust and hydroton substrate. *Advances in Environmental Biology*, 10(4), 67-79.
- ITK (2022). [online]. Website <https://www.itk.fr/en/> [accessed 28 April 2022].
- McCree, K.J. (1971). The action spectrum, absorptance and quantum yield of photosynthesis in crop plants. *Agricultural Meteorology*, 9, 191-216. [https://doi.org/10.1016/0002-1571\(71\)90022-7](https://doi.org/10.1016/0002-1571(71)90022-7)
- Oktafri, O., Ningsih, Y.A., and Novita, D.D. (2015). The making of hydroton with different size as growth media of hydroponic from clay and digestate. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 4(4), 267-274.
- Ouzounis, T., Razi Parjikolaei, B., Fretté, X., Rosenqvist, E., Ottosen, C.O. (2015). Predawn and high intensity application of supplemental blue light decreases the quantum yield of PSII and enhances the amount of phenolic acids, flavonoids, and pigments in *lactuca sativa*. *Front Plant Sci*, 6, 19. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00019>
- Overbeck, V., Schmitz, M., Tartachnyk, I., and Blanke, M. (2018). Identification of light availability in different sweet cherry orchards under cover by using non-destructive measurements with a Dualex™. *European Journal of Agronomy*, 93, 50-56. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.11.006>
- Paton, A., Harley, R.M., and Harley, M.M. (1999). Ocimum: an overview of relationships and classification. In: T. Holm & R. Hiltunen (Eds). *Medicinal and Aromatic Plants—Industrial Profiles*, *Harwood Academic*.
- Pennisi, G., Pistillo, A., Orsini, F., Cellini, A., Spinelli, F., Nicola, S., Fernandez, J.A., Crepaldi, A., Gianquinto, G., Marcellis, L.F.M. (2020). Optimal light intensity for sustainable water and energy use in indoor cultivation of lettuce and basil under red and blue LEDs. *Scientia Horticulturae*, 272, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109508>.
- Peter, K.V. (2012). Handbook of Herbs and Spices (2nd ed.) *Woodhead Publishing*. ISBN 978-0-85709-039-3.
- Prince, R. (2020, April 24). *Plant Nutrients*. <http://www.ncagr.gov/cyber/kidswrld/plant/nutrient.htm/>
- Rahman, M.M., Vasiliev, M., Alameh, K. (2021). LED Illumination spectrum manipulation for increasing the yield of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *Plants*, 10(2), 344. <https://doi.org/10.3390/plants10020344>
- Rakocy, J.E., Masser, M.P., and Losordo, T.M. (2006). Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics-integrating fish and plant culture. *SRAC Publication*.
- Rakocy, J.E. (2007). An integrated fish and field crop system for arid areas, In: B.A. Costa-Pierce, (Eds), *Ecological Aquaculture: The Evolution of the Blue Revolution*, pp. 263-285. *Blackwell Science Ltd*.
- Rakocy, J.E. (1993). Integration of vegetable hydroponics with fish culture: A review. In: Wang, J (Eds), pp. 112-136. *Techniques for Modern Aquaculture*.
- Runia, W.T. and Boonstra, S. (2004). UV-oxidation technology for disinfection of recirculation water in protected cultivation. *Acta Horticulturae*, 644, 549-555. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.644.73>
- 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), 1-32. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0163121>
- Tekinay, A.A., Öztürk, Ş., Güroy, D., Çevik, N., Yurdabak, F., Güroy, B.K. ve Özdemir, N. (2006, Şubat 7-9). *Göllerde yapılan balık yetiştiriciliğinin çevresel etkileri*. [Conference presentation] 1. Balıklandırma ve Rezervuar Yönetimi Sempozyumu, Antalya,.
- Van Os, E.A. (1994). Closed growing systems for more efficient and environmental friendly production. *Acta Horticulturae*, 361, 194-200. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1994.361.17>