



Patatesin Kısa Süreli Kuraklık Uygulamasına Fizyolojik Tepkileri

İlknur Tındaş, Ufuk Demirel*

Niğde Üniversitesi, Ayhan Şahenk Tarım Bilimleri ve Teknolojileri Fakültesi, Tarımsal Genetik Mühendisliği Bölümü, 51240 Niğde, Türkiye

MAKALE BİLGİSİ

Geliş 11 Nisan 2016
Kabul 10 Mayıs 2016
Çevrimiçi baskı, ISSN: 2148-127X

Anahtar Kelimeler:

Patates
Abiyotik stres
Kuraklık
Fizyolojik karakterler
Verim bileşenleri

*Sorumlu Yazar:

E-mail: ufukdemirel@nigde.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, patatesin kısa süreli kuraklık uygulamasına gösterdiği fizyolojik tepkilerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, iklim kontrollü sera koşullarında, iki farklı patates çeşidi (Desiree ve Russet Burbank) kullanarak bir kuraklık denemesi yürütülmüştür. Kuraklık uygulaması, çıkıştan 45 gün sonra (erken yumru gelişim döneminde) sulamanın tamamen kesilmesi şeklinde yapılmış ve 10 gün boyunca devam ettirilmiştir. Çalışmada stoma iletkenliği, terleme hızı, fotosentez hızı, klorofil indeksi, yaprak sıcaklığı, prolin içeriği, malondialdehit (MDA) miktarı ve hidrojen peroksit (H₂O₂) birikimi gibi fizyolojik karakterlerin yanı sıra ortalama tek yumru ağırlığı, bitki başına yumru sayısı ve bitki başına yumru verimi gibi verim öğeleri incelenmiştir. Sulama kesintisinin 5. gününden itibaren her iki çeşidin stoma iletkenliği, terleme hızı ve fotosentez hızlarında önemli düzeyde düşüş meydana gelmiş ve en yüksek düşüş 9. ve 10. günlerde gözlemlenmiştir. Sulama kesintisinin 10. gününde her iki çeşidin prolin içeriği iki kat artarken, H₂O₂ içeriğinde önemli bir değişim olmamıştır. Kuraklık uygulaması sonucunda her ne kadar MDA içeriği her iki çeşitte artmış olsa da, sadece Desiree çeşidindeki artış istatistiksel olarak önemli olmuştur. Bunun yanında, kuraklık uygulaması her iki çeşidin de bitki başına yumru verimini önemli ölçüde değiştirmemesine rağmen, pazarlanabilir yumru veriminde önemli bir karakter olan tek yumru ağırlığının Russet Burbank çeşidinde önemli düzeyde azalmasına neden olmuştur.

Turkish Journal Of Agriculture - Food Science And Technology, 4(7): 618-627, 2016

Physiological Responses of Potato to Short-Term Drought Treatment

ARTICLE INFO

Article history:

Received 11 April 2016
Accepted 10 May 2016
Available online, ISSN: 2148-127X

Keywords:

Potato
Abiotic stress
Drought
Physiological traits
Yield components

*Corresponding Author:

E-mail: ufukdemirel@nigde.edu.tr

ABSTRACT

The study aimed to identify physiological response of potato to drought. For this aim, a drought experiment was carried out by using two different potato varieties, cv. Desiree and Russet Burbank, under environmentally controlled greenhouse conditions. Drought treatment was initiated at 45 days after emergence (early tuber bulking period) by withholding irrigation for 10 days. Physiological traits such as stomatal conductance, transpiration rate, photosynthetic rate, chlorophyll index, leaf temperature, proline content, malondialdehyde (MDA) accumulation and hydrogen peroxide (H₂O₂) accumulation, in addition, some yield components average tuber weight, number of tubers and plant tuber yield were evaluated in the study. While the first significant decline in stomatal conductance, transpiration rate, and photosynthetic rate of both varieties was occurred at the 5th day of withholding irrigation, the highest decline was observed at 9th and 10th days of withholding irrigation. Proline content in both varieties increased two times at 10th day of withholding irrigation, however, H₂O₂ accumulation was not changed significantly by drought treatment. Even though MDA accumulation was increased in both varieties under drought stress conditions, the increase was significant in Desiree whereas, it was not significant in Russet Burbank. In addition, while drought treatment did not change the plant tuber yield in both varieties, it caused to a significant decline in average tuber yield of Russet Burbank, being an important trait for marketable tuber yield.

Giriş

Yüksek verimli ve yumrularının yüksek besleme değerine sahip olması nedeniyle patates, yetersiz beslenmeyle mücadelede başlıca gıda olarak nitelendirilmektedir (Çalışkan ve ark., 2010; Thiele ve ark., 2010). Bu nedenle, değişik çevre koşullarında sürdürülebilir patates üretiminin yapılması, gıda güvenliği ve toplumsal sürdürülebilirlik için çok önemlidir. Patates dünyada 19,3 milyon ha alanda, 376 milyon ton yıllık üretimin yapıldığı, gıda amaçlı kültür bitkileri içerisinde çeltik ve buğdaydan sonra en çok üretilen üçüncü bitkidir (Anonim, 2016a). Uygulanan her 1 m³ suya karşılık patates 5600 kcal besin enerjisi üretirken, mısır 3860 kcal, buğday 2300 kcal, çeltik ise 2000 kcal enerji üretmektedir (Renault ve Wallender, 2000). Buna karşın, patates kök sisteminin yüzlek olması nedeniyle su eksikliğinden çabuk etkilenmekte ve yeterli suyun olmadığı koşullarda yumru verimi ve kalitesinde çok büyük düşüşler meydana gelmektedir (Levy 1985, Iwama 2008, Satchithanatham ve ark., 2014). Bu nedenle, patates çoğunlukla su stresine hassas bir bitki olarak değerlendirilmektedir (Van Loon 1981, Schafleitner 2009, Levy ve ark., 2013, Monneveux ve ark., 2013). Her bir milimetre su kısıtlaması sonucu patateste ortalama 117 kg ha⁻¹ verim düşüşü meydana geldiği tahmin edilmektedir (Vos ve Groenwold 1988).

Patateste kuraklık tolerans mekanizmasının anlaşılmasına yönelik çalışmalar olsa da, bu konudaki bilgiler özellikle tahıllarla karşılaştırıldığında hala yetersiz kalmaktadır. Patateste abiyotik strese tolerans mekanizmalarının aydınlatılması ve toleransla ilişkili fizyolojik karakterlerin (örneğin kanopi sıcaklığı, klorofil içeriği, fotosentez etkinliği, antioksidan savunması) belirlenmesi durumunda, bu karakterler patatesi ıslahında seleksiyon ölçütü olarak kullanılabilir. Kuraklık stresi tarımsal açıdan patatesin bitki gelişimini yavaşlatmakta (Deblonde ve Ledent 2001), erkenciliği teşvik ederek yaşam döngüsünü kısaltmakta (Kumar ve ark., 2007), yumru sayısını düşürmekte (Eiasu ve ark., 2007) ve yumru büyüklüğünü azaltmaktadır (Schafleitner ve ark., 2007a). Bunların sonucunda yumru veriminde ve kalitesinde azalma meydana gelmektedir. Ayrıca, kuraklık stresi patateste fizyolojik olarak yaprak alan indeksinin düşmesine (Shahnazari ve ark., 2007), stoma iletkenliğinin azalmasına (Bansal ve Nagarajan 1986), birim yaprak alanındaki fotosentezin azalmasına (Vasquez-Robinet ve ark., 2008) neden olmaktadır. Fizyolojik ölçümlere dayalı olarak kuraklığa toleranslı patates genotiplerinin belirlenmesine yönelik ilk çalışmalarda, kanopi sıcaklık değerlerinin kuraklığa toleranslı patates genotiplerinin taranmasında bir seleksiyon yöntemi olarak kullanılabilirliği gösterilmiştir (Ranalli ve ark., 1997). Bunun yanında bitkilerde yüksek prolin birikiminin kuraklığa toleransın bir göstergesi olduğuna dair değerlendirmeler yapılmıştır. Prolinin bitkileri kurumaya ve oksidatif strese karşı koruduğuna dair bilgiler mevcut olmasına rağmen (Kavi Kishor ve ark., 2005; Ozden ve ark., 2009), patateste kuraklık toleransı ve osmolitlerin birikimi üzerine araştırmalar çok sınırlı sayıda kalmış, bu nedenle patatesin kurağa toleransı ve prolin birikimi arasındaki ilişki hakkında kesin bilgiler oluşmamıştır. Bansal ve ark. (1986), kuraklık stresi koşullarında 10 farklı patates genotipinde prolin seviyesinin arttığını tespit etmişlerdir. Aynı araştırmacılar, kurağa hassas olan genotiplerde kurağa toleranslı genotiplere göre daha yüksek düzeyde prolin oluştuğunu

ve sonuç olarak yumru verimi ile prolin seviyesi arasında önemli negatif ilişki olduğunu bildirmişlerdir. Bir başka çalışmada, prolin seviyesinin kurağa hassas patates çeşitlerinde toleranslı olanlara göre daha erken dönemde arttığı gözlemlenmiştir (Schafleitner ve ark., 2007a). Buna karşın, Heuer ve Nadler (1998) su stresi koşullarında prolin içeriğinde önemli bir değişim olmadığını gözlemlemişlerdir. Benzer şekilde, kuraklık stresi koşullarında patates yapraklarındaki prolin içeriği ile yumru kuru madde kaybı arasında bir ilişki tespit edilememiştir (Levy, 1983).

Kuraklık stresi altında buğday ve soyada klorofil miktarında azalma olduğunu gösteren çalışmalar yapılmıştır (Kulshreshtha ve ark., 1987; Majumdar ve ark., 1991). Sairam ve ark. (1997) hem kuraklığa toleranslı hem de hassas olan buğday bitkilerinde, kuraklık stresi altında klorofil miktarında azalma olduğunu göstermişlerdir. Buna birlikte kurak koşullarda, kurağa dayanıklı buğday çeşitlerinin klorofil miktarının hassaslara göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Ramirez ve ark. (2014) ise kurağa toleranslı Unica patates çeşidiyle yaptıkları çalışmada, kısıtlı su koşullarındaki patates yapraklarının tam sulamadakilere göre daha fazla klorofil içeriğine sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca, patateste SPAD metre ile ölçülen klorofil miktarının ve “yeşil kalma” özelliğinin kurağa toleranslı genotiplerin seçiminde kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Kurak koşullarda bitkilerin stomalarını kapatması, su kaybını azaltmak için en verimli yoldur, ancak buna paralel olarak, CO₂'nin yapraklara girişi azalmakta ve bu durum fotosentez oranında net bir azalmaya neden olmaktadır (Cornic, 2000). Fotosentezde kullanılan enzim ve bileşenlerinin kuraklık stresine bağlı değişimine bakıldığında, doğrudan su stresi tarafından etkilendiği görülmekte ve buna bağlı olarak, nispi su içeriği ve yaprak su potansiyeli azaldıkça yaprakların fotosentetik oranları da azalmaktadır (Ackerson ve ark., 1977). Stresi uyaran çevresel değişiklikler sadece fotosenteze zarar vermekle kalmaz, aynı zamanda stoma hareketi, ışık absorpsiyonu ve CO₂ özümsemesi için biyokimyasal yolları da etkilemektedir (Cornic, 2000). Kuraklık stresi altında bitkilerde stoma iletkenliği (gs) ve oransal su içeriği (RWC) önemli derecede azalmaktadır. Özellikle, stoma durumundaki değişiklik su stresinin ilk belirtisidir (Miyashita ve ark., 2005). Bu süreçte, bitki stomalarını kapatarak su kaybını azaltmakta ve böylece su açığını önlemeye çalışmaktadır (Rouhi ve ark., 2007). Ordog ve ark. (2013), su eksikliği koşullarında absisik asitin (ABA) stoma davranış düzenlenmesinde önemli bir rolü olduğunu göstermişlerdir. Benzer şekilde su stresi altında, patates yapraklarındaki bekçi hücrelerinde ABA birikmesi vasıtasıyla stomaların kapandığı bildirilmektedir (Tekalign ve Hammes, 2005).

Kuraklığa karşı bitkilerin fizyo-biyokimyasal ve moleküler tepkilerinin tam olarak anlaşılması, kurağa daha toleranslı bitkilerin geliştirilmesini kolaylaştırması bakımından büyük önem taşımaktadır (Jaleel ve ark., 2009). Sonuç olarak, patateste abiyotik toleransla ilişkili moleküler, fizyolojik ve metabolik seviyedeki çalışmalardan elde edilecek sonuçlar sayesinde, patateste abiyotik stres etmenlerine toleransını sağlayan karakterler belirlenebilecektir. Böylece bu karakterler, kuraklığa toleranslı patates çeşitlerinin geliştirilmesine yardımcı olacaktır.

Materyal ve Metot

Bitki Materyali ve Stres Uygulaması

Çalışmada Desiree ve Russet Burbank olmak üzere iki farklı patates çeşidi kullanılmıştır. Avrupa Patates Veri Bankası (The European Cultivated Potato Database) kayıtlarında Desiree'nin kurağa toleransı yüksek ve çok yüksek, Russet Burbank'ın kurağa toleransı ise farklı iki kaynağa dayanarak hem düşük hem de yüksek olarak bildirilmektedir (Anonim, 2016b). Patates çeşitleri, Niğde Üniversitesi Tarımsal Genetik Mühendisliği Bölümü Patates İslah Programı kapsamındaki koleksiyondan temin edilmiş ve iklim kontrollü serada yetiştirilmiştir.

Patates yumruları 2:1 oranında torf ve perlit içeren 12 litre hacimli saksılara dikilmiştir. Dikim öncesi bütün saksılardaki toprak nem seviyesi tarla kapasitesine getirilmiştir. Sera sıcaklık koşulları gündüz 24°C, gece 16°C (12 saat gündüz /12 saat gece) olacak şekilde ayarlanmıştır. Bitkilere stres uygulama dönemine kadar, toprak tarla kapasitesini kaybetmeyecek şekilde %50 seyreltilmiş Hoagland besin çözeltisi (Hoagland ve Arnon, 1950) ile sulanmış ve çıkıştan 45 gün sonra (erken yumru gelişim döneminde) bitkilere stres uygulamaları başlatılmıştır. Bu dönemde bitkiler kontrol ve kuraklık stresi uygulamaları şeklinde iki gruba ayrılmıştır. Kontrol bitkileri, yukarıda belirtilen optimum koşullarda yetiştirilmeye devam edilmiş fakat bitkiler Hoagland besin çözeltisi yerine saf su ile sulanmıştır. Kuraklık stresi uygulamasında ise, çıkıştan sonraki 45. günde (erken yumru gelişim dönemi) sulama kesilerek, 10 gün süreyle sulama yapılmamıştır. Deneme 4 tekerrürlü olarak kurulmuş ve her tekerrür 4 saksıdan oluşmuştur. Böylece 2 çeşit (Desiree ve Russet Burbank) ve 2 uygulamanın (Kontrol ve Kuraklık) denendiği çalışmada toplam 64 saksı yer almıştır.

Stoma İletkenliği Terleme Hızı ve Fotosentez Hızı

Stoma iletkenliği, terleme hızı ve fotosentez hızı ölçümleri çıkıştan 45 gün sonra başlamak üzere, kontrol ve stres uygulamalarında 10 gün süreyle 1., 3., 5., 7., 9. ve 10. günlerde taşınabilir fotosentez sistemi (LI-6400 XT, LI-COR) kullanılarak yapılmıştır. Ölçümler fotosentez cihazının sabit ışık şiddeti ($1000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{sn}^{-1}$), CO_2 miktarı (400 μmol) ve hava akışı (500 $\mu\text{mol sn}^{-1}$) koşullarında gerçekleştirilmiştir. Stoma iletkenliği, terleme hızı ve fotosentez hızı ölçümleri 4 tekerrürlü, her bir tekerrürde 2 bitki ve her bir bitkide en az 2 farklı yaprakçıkta yapılmıştır. Ölçüm için patates bitkilerinin üstten ikinci veya üçüncü yapraklarının tepe yaprakçıkları kullanılmıştır.

Klorofil İndeksi ve Yaprak Sıcaklığı

Yaprak klorofil indeksi ölçümleri çıkıştan 45 gün sonra başlamak üzere, kontrol ve stres uygulamalarında 10 gün süreyle kuraklık uygulamasının 1., 3., 5., 7., 9. ve 10. günlerinde Klorofilmetre (Konica Minolta SPAD-502 Plus) aleti kullanılarak ölçülmüştür. Yaprak klorofil indeksi ölçümleri için patates bitkilerinin üstten ikinci veya üçüncü yapraklarının tepe yaprakçıkları kullanılmıştır. Ölçümler 4 tekerrürlü olarak, her tekerrürde 4 bitkide ve her bitkinin 3 farklı yaprakçığında yapılmıştır.

Yaprak sıcaklığı ölçümleri çıkıştan 45 gün sonra

başlamak üzere, kontrol ve stres uygulamalarında 10 gün süreyle kuraklık uygulamasının 1., 3., 5., 7., 9. ve 10. günlerinde kızılötesi termometre (IRT) aleti (MASTECH BM380) kullanılarak ölçülmüştür. Yaprak sıcaklığı ölçümleri hem kontrol hem de strese maruz bırakılmış patates bitkilerinin üst yapraklarında yapılmıştır. Bitki sıcaklığı ölçümleri 4 tekerrürlü olarak, her tekerrürde 4 bitkide ve her bitkide 3 kez gerçekleştirilmiştir.

Prolin, MDA ve H_2O_2 İçerikleri

Denemede çıkıştan sonraki 45. günde (erken yumru gelişim dönemi) kuraklık uygulamasında sulama kesilmiş ve 10 gün süreyle sulama yapılmamıştır. Prolin, MDA ve H_2O_2 miktarı tayini için sulama kesintisinin 10. gününde kuraklık ve kontrol bitkilerinden gelişimini tamamlamış en genç yaprakların (üstten 3. veya 4. yaprak) tepe yaprakçıkları hasat edilmiştir. Yaprakçık örnekleri 4 tekerrürlü olarak ve her tekerrürde 4 bitkiden alınmıştır. Yaprak örnekleri hasat edilir edilmez sıvı azot içerisinde dondurulmuş ve ardından -80°C 'de muhafaza edilmiştir.

Prolin içeriği, Bates ve ark., (1973) tarafından geliştirilen yöntemin modifiye edilmesi ile belirlenmiştir. Kısaca, 100 mg yaprak örneği 2 ml %3'lük sülfosalisilik asit içinde öğütülüp ve ardından 4°C de, $10000\times$ g güçte 10 dk santrifüj yapılmıştır. Üst fazdan 0,2 ml alınarak yeni bir tüpe aktarılmış ve üzerine taze hazırlanmış 0,2 ml ninhidrin çözeltisi (1,25 g ninhidrin, 30 ml glasiyal asetik asit, 20 ml 6 M ortofosforik asit) eklenerek 90°C 'de 1 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyonun ardından tüpler buz üzerine konularak reaksiyon sonlandırılmıştır. Her bir reaksiyon karışımına 1 ml tolün eklenip vortekste 15 sn karıştırılmış ve su ile tolün fazlarının ayrılması için karışım 20 dk karanlıkta bekletilmiştir. Üst tolün fazı alınmış ve absorbans ölçümü spektrofotometre kullanılarak 520 nm dalga boyunda yapılmıştır. Prolin konsantrasyonu, oluşturulan standart eğriden elde edilen formüle göre hesaplanmıştır.

Yapraklardaki lipid peroksidasyon seviyesi, MDA miktarının Heath ve Packer (1968)'e göre ölçülmesiyle belirlenmiştir. MDA miktarı ölçümü için 100 mg yaprak örneği %0,1 lik 5 ml tirikloroasetik asit (TCA) solüsyonu içerisinde parçalanmış, ardından $10000\times$ g'de 20 dk santrifüj edilmiştir. Elde edilen üst fazdan 1 ml alınarak yeni bir tüpe aktarılmış ve üzerine %0,5 tiyobarbitürik asit (TBA) içeren %20'lik TCA çözeltisinden 2 ml eklenmiştir. Karışım kaynayan suda 30 dk inkübe edildikten sonra reaksiyonu durdurmak için tüpler buz içerisinde bekletilmiştir. Daha sonra örnekler $10000\times$ g'de 5 dk santrifüj edildikten sonra üst fazın absorbansı 532 nm ve 600 nm dalga boylarında okunmuştur. Kör olarak, %0,5 TBA ve %20 TCA içeren çözeltisi kullanılmıştır. MDA miktarı ($\mu\text{mol g}^{-1}$ taze ağırlık), aşağıda verilen formüle göre hesaplanmıştır.

$$\text{MDA} = [(\text{A}532 - \text{A}600) / 155] \times 10^3 \times \text{Seyreltme faktörü}$$

Yapraklardaki H_2O_2 konsantrasyonu Loreto ve Velikova (2001)'e göre belirlenmiştir. Kısaca, 300 mg yaprak örneği 3 ml %1 (w/v) TCA ile homojenize edilmiş ve homojenat 4°C 'de $10000\times$ g'de 10 dk santrifüj edilmiştir. Ardından, üst fazdan 0,75 ml alınmış ve yeni tüpe aktarılmış, üzerine 0,75 ml 10 mM K-fosfat tamponu (pH 7,0) ve 1,5 ml of 1 M KI ilave edilmiştir. Elde edilen

karışımın absorbans değerleri, UV-Spektrofotometre aracılığıyla 390 nm dalga boyunda ölçülmüş ve H₂O₂ içeriği standart kalibrasyon eğrisinden elde edilen formülden yararlanarak hesaplanmıştır.

Yumur Verim Bileşenleri

Kontrol ve stres uygulamalarında 4 tekerrürlü olarak yetiştirilen Desiree ve Russet Burbank çeşitlerine ait yumrular çıkıştan 85 gün sonra hasat edilmiştir. Hasat sonrasında, her bir saksıdaki yumrular sayılarak bitki başına yumru sayısı belirlenmiştir. Ayrıca her bir saksıdaki toplam yumruların ağırlığı tartılarak bitki başına yumru verimi ve bitki başına yumru veriminin bitki başına yumru sayısına bölünmesiyle ortalama yumru ağırlıkları hesaplanmıştır.

İstatistiksel Analiz

Her bir çeşidin kuraklığa verdiği tepki istatistiksel olarak kendi içerisinde değerlendirilmiş olup, çeşitler arasında istatistiksel bir mukayese yapılmamıştır. Ölçülen her karakter için her bir çeşidin kontrol uygulamasından elde edilen veriler ile kuraklık uygulamasından elde edilen veriler arasındaki farkın, $P \leq 0,05$ ve $P \leq 0,01$ seviyesinde önemli olup olmadığı t testiyle analiz edilmiştir. İncelenen karakterler bakımından, çeşitlerin kontrol ve kuraklık uygulamalarından elde edilen ortalama değerler, \pm standart hatalarıyla ($\pm SH$) birlikte bar grafiği şeklinde gösterilmiştir. Ayrıca, strese maruz kalmış bitkilerden elde edilen ortalama değer, kontrol bitkilerinden elde edilen ortalama değerden $P \leq 0,05$ seviyesinde farklı ise grafikteki bar üzerine “*”, $P \leq 0,01$ seviyesinde farklı ise “***” simgeleri konulmuştur.

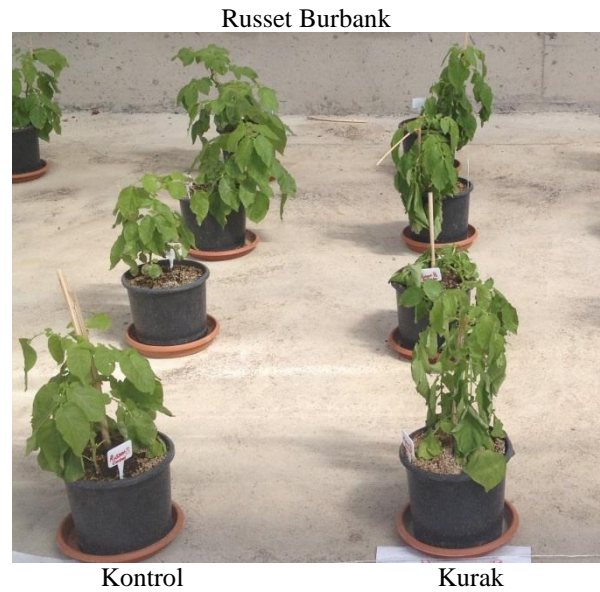
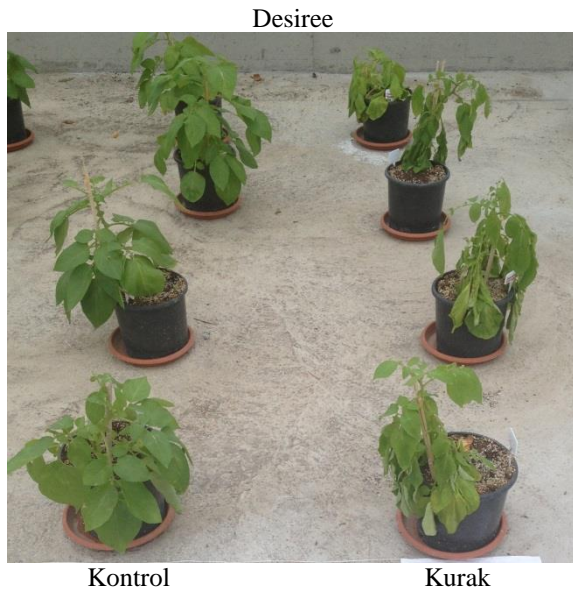
Araştırma Bulguları ve Tartışma

Kuraklık stresi altında, diğer kültür bitkilerinde olduğu gibi patateste de ilk gözlemlenen morfolojik tepki pörsüme olarak adlandırılan, su kaybı nedeniyle özellikle yapraklarda meydana gelen gevşeme ve sarkmadır.

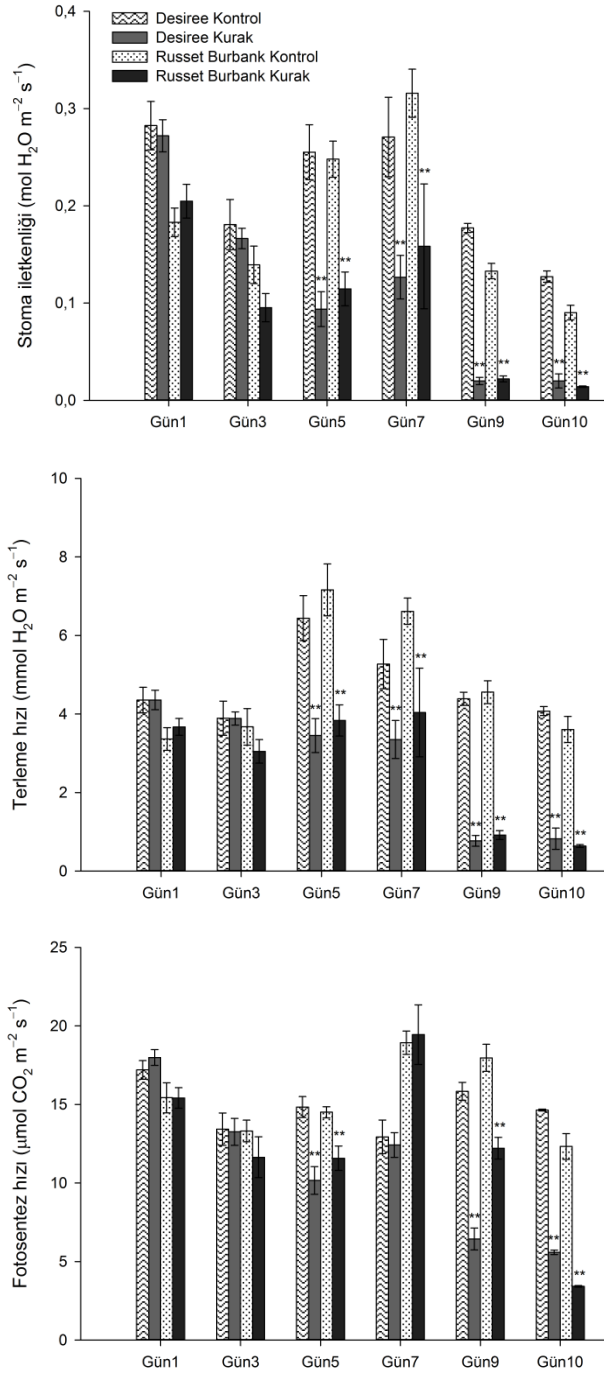
Çalışmada yapılan morfolojik gözlemler sonucunda, kurak koşullarda hem Desiree hem de Russet Burbank çeşidinin yaprak ve diğer toprak üstü aksamalarında pörsüme meydana geldiği belirlenmiştir (Şekil 1). Kuraklık uygulamasının ardından yapılan sulama sonucunda, Desiree ertesi gün morfolojik olarak kendini daha hızlı toparlamış ve kontrol bitkilerine benzer bir görünüm kazanmıştır. Bu sonuç, kuraklık stresi koşullarının ortadan kalkması durumunda Desiree'nin hızlı bir şekilde kendini toparlayabildiğinin bir göstergesi olarak nitelendirilebilir.

Stoma İletkenliği, Terleme Hızı ve Fotosentez Hızı

Bu çalışmada, kuraklık uygulaması sonucunda hem Desiree hem de Russet Burbank çeşidinde stoma iletkenliğinin önemli seviyede düştüğü gözlenmiştir (Şekil 2). Kuraklık uygulanan Desiree çeşidinin stoma iletkenliğinde kontrole göre ilk önemli azalma 5. gününde meydana gelmiş ve kuraklık uygulamasının 7., 9. ve 10. günlerinde de stoma iletkenliğindeki azalma devam etmiştir. Uygulamanın 9. gününde Desiree'nin stoma iletkenliğinde kontrole göre %88,8 oranında, 10. gününde ise %84,3 düzeyinde bir azalma belirlenmiştir. Kurak koşullar altında Russet Burbank çeşidinin de stoma iletkenliğinde ilk önemli azalma 5. gün meydana gelmiştir. Kuraklık uygulamasının 9. günde Russet Burbank çeşidinin stoma iletkenliği kontrole göre %83,4 oranında düşerken, 10. gününde %84,4 azalmıştır. Kuraklığın süresinin ve şiddetinin artmasına bağlı olarak, 9. ve 10. günlerde her iki çeşidin stoma iletkenliğinde ciddi bir düşüş meydana gelmiştir. Kurak koşullarda stoma iletkenliğinde meydana gelen bu düşüş, kuraklığın etkisiyle su kaybını azaltmak için bitkilerin stomalarını kapatma eğilimine girmelerinden kaynaklanmaktadır. Kurak koşullarda bitkilerin stoma kapatma eğilimlerine, yapraklarda meydana gelen düşük su potansiyeli neden olmakta ve buna bağlı olarak, turgor basıncı düşmektedir. Bu durum, aynı zamanda terleme ve fotosentez hızlarının azalmasına neden olmaktadır.



Şekil 1 Stres uygulamasının 10. gününde Desiree ve Russet Burbank çeşitlerinin kontrol bitkileri ile kurağa maruz bırakılmış bitkilerinin morfolojik görünümü.



Şekil 2 Desiree ve Russet Burbank çeşitlerinin kontrol ve kurak koşullarda fotosentez hızı, stoma iletkenliği ve terleme hızı değerleri.

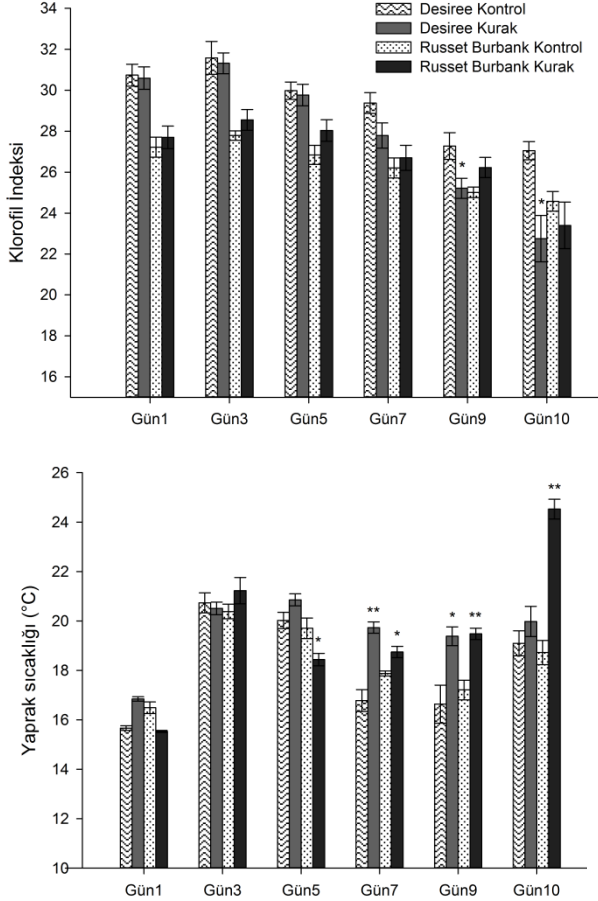
Kuraklık uygulaması Desiree ve Russet Burbank çeşitlerinin terleme hızlarında azalmaya sebep olmuştur (Şekil 2). Kurak koşullarda Desiree çeşidinin terleme hızı 5. günden itibaren önemli düzeyde ($P \leq 0,01$) azalmış, kuraklık şiddetinin arttığı 9. ve 10. günlerde ise terleme hızında daha yüksek düşüşler meydana gelmiştir. Kontrol uygulamasıyla mukayese edildiğinde, kurak koşullar altında Desiree'nin ortalama terleme hızı kuraklık uygulamasının 9. gününde %82,4, 10. gününde ise %79,8 oranında düşmüştür. Russet Burbank çeşidinin terleme hızı kurak koşullarda, Desiree çeşidinde olduğu gibi 5. günden itibaren önemli düzeyde ($P \leq 0,01$) azalmış ve özellikle 9. ve 10. günlerde yüksek oranlarda düşmüştür.

Kontrol uygulamasıyla mukayese edildiğinde, kurak koşullar altında Russet Burbank'ın terleme hızı 9. gününde %79,9, 10. gününde ise %82,3 oranında azalmıştır. Kuraklık koşullarında bitkilerin terleme hızındaki azalmaya, stomaların kapatılmasının neden olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada, kurak koşullarda özellikle 9. ve 10. günlerde her iki çeşidin stoma iletkenliğinde meydana gelen önemli azalma, terleme hızının düşmesine sebep olmuştur. Bu şekilde her iki patates çeşidi yaşam faaliyetlerini sürdürebilmek için bünyesindeki su içeriğini korumaya çalışmıştır.

Kuraklık sebebiyle hem Desiree hem de Russet Burbank çeşitlerinin fotosentez hızları önemli düzeyde azalmıştır (Şekil 2). Çıkıştan sonraki 45. günden itibaren kurağa maruz bırakılan Desiree çeşidinin fotosentez hızında ilk önemli azalma, kuraklık uygulamasının 5. gününde meydana gelmiştir. Kuraklık uygulamasının 7. gününde ise kurak koşullardaki Desiree'nin fotosentez hızı kontrol koşullarındakine çok yakın düzeyde gerçekleşmiştir. Kuraklık uygulamasının 9. gününde, kurak koşullardaki Desiree'nin fotosentez hızında çarpıcı bir düşüş gözlenerek %59,4 oranında azalma belirlenmiştir. Kuraklık uygulamasının 10. gününde ise Desiree'nin fotosentez hızında kontrole göre %61,8 oranında azalma belirlenmiştir. Kurak koşullardaki Russet Burbank çeşidinin fotosentez hızındaki ilk önemli düşüş 5. günde meydana gelmiştir. Kuraklık uygulamasının 7. gününde Russet Burbank çeşidinin fotosentez hızı Desiree'de olduğu gibi kontrol koşullarındaki seviyeye ulaşmıştır. Ardından, kuraklık uygulamasının 9. gününde Russet Burbank çeşidinin fotosentez hızı kontrole göre %31,9 oranında azalırken, uygulamanın 10. gününde fotosentez hızında %72,2 düzeyinde çarpıcı bir düşüş gözlenmiştir. Kuraklık uygulamasının 9. gününde her iki çeşidin fotosentez hızında kontrol ile karşılaştırıldığında yüksek düzeyde azalma meydana gelirken, her iki çeşit için en düşük fotosentez hızı 10. günde gerçekleşmiştir. Kurak uygulamasında Desiree'nin fotosentez hızı 9. gün hızlı bir düşüş sergilerken, Russet Burbank çeşidinde 10.gün ani bir düşüş meydana gelmiş ve Russet Burbank'ın fotosentez hızı Desiree'den daha düşük olmuştur.

Kuraklık, su potansiyelindeki değişime bağlı olarak stomaların açılıp kapanması, terleme hızı ve fotosentez hızı gibi fizyolojik olayları doğrudan ve olumsuz etkilemesi sebebiyle, verimi en çok düşüren abiyotik stres etmenlerinden birisidir. Bu nedenle, su yetersizliği stresine maruz kalan bitkiler, su kaybına tolerans göstermek ve su kaybını önlemeye çalışmak için fizyolojik, morfolojik ve kimyasal değişimler aracılığıyla kuraklık stresine uyum sağlamaya çalışmaktadırlar. Düşük su potansiyelinden dolayı, klorofil oluşumunun engellendiği ve buna bağlı olarak fotosentez etkinliğinde azalma meydana geldiği rapor edilmiştir (Özer ve ark.,1997). Ayrıca yaprakta turgor basıncının düşmesine neden olan düşük su potansiyeli, hücrede absisik asit birikmesine neden olmaktadır. Bu durum, stomaların kapanmasına neden olmakta (Davies ve ark., 1994) ve buna bağlı olarak fotosentez etkinliğinde azalma görülebilmektedir. Yapılan bu çalışmada da kurak koşullarda patates çeşitlerinin stoma iletkenlikleri 5. günden itibaren düşmüş ve buna paralel olarak terleme ve fotosentez hızları düşmüştür. Bu sonuç doğrultusunda,

kurak koşullarda stomaların kapatılması vasıtasıyla terlemenin azaltıldığı böylece, kurak koşullarda patates bitkilerinin su içeriklerini uzun süre korunmaya çalıştıkları söylenebilir. Buna karşın bitki su içeriğini korumak için stomaların kapanması, patates bitkilerine CO₂ girişinin azalmasına ve sonuç itibarıyla fotosentezin verimliliğinin düşmesine neden olmaktadır. Bu durumun uzun süre devam etmesi yumru veriminin düşmesine neden olmaktadır.



Şekil 3 Desiree ve Russet Burbank çeşitlerinin kontrol ve kurak koşullarda klorofil indeksi ve yaprak sıcaklığı değerleri

Klorofil İndeksi ve Yaprak Sıcaklığı

Kuraklık stresi koşullarında, Desiree çeşidinin klorofil indeksi değerinde 7 günlük kuraklık uygulaması süresince önemli bir değişim meydana gelmezken, kuraklık uygulamasının 9. ve 10. günlerinde klorofil miktarı kontrole göre önemli düzeyde ($P \leq 0,05$) azalmıştır (Şekil 3). Kurak koşullar altında Desiree'nin klorofil indeksi, kuraklık uygulamasının 9. gününde %7,5 oranında, 10. gününde ise %15,8 oranında azalmıştır. Kurak koşullardaki Russet Burbank çeşidi incelendiğinde, 10 günlük kuraklık uygulaması süresince klorofil içeriğinde önemli bir değişikliğin meydana gelmediği gözlemlenmiştir (Şekil 3). Genel olarak, kurak koşullarda kloroplastların yapısal ve işlevsel olarak zarar gördüğü ve buna bağlı olarak, klorofil biyosentezinin olumsuz etkilenerek klorofil birikiminde azalmalar meydana geldiği bilinmektedir. Kuraklık stresi altında buğday ve soyada klorofil miktarında azalma belirlenmiştir

(Kulshreshta ve ark.,1987; Majumdar ve ark., 1991). Buna karşın, patatesten hem sera hem de tarla koşullarında uygulanan tüm su kısıtlaması koşullarında klorofil içeriği tam sulamaya göre önemli düzeyde artmıştır, fakat yumru verimi tam sulamada en yüksek olmuştur. (Ramirez ve ark., 2014). Önceki çalışmalardan ve bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, çeşitli tarımsal bitkilerin ve hatta değişik patates çeşitlerinin klorofil içeriği açısından kuraklık stresine tepkilerinin birbirinden farklı olduğunu ortaya koymaktadır. Su kesintisinin 9. gününden itibaren Desiree çeşidinde klorofil içeriği önemli düzeyde azalma eğilimine girerken, Russet Burbank çeşidinde kuraklık uygulaması süresince önemli bir değişiklik olmamıştır. Bu durumda, kurak koşullarda patatesin klorofil içeriğinde meydana gelen değişimin daha iyi anlaşılabilmesi için kuraklık uygulamasının 10 günden daha uzun süre yapılması gerekmektedir.

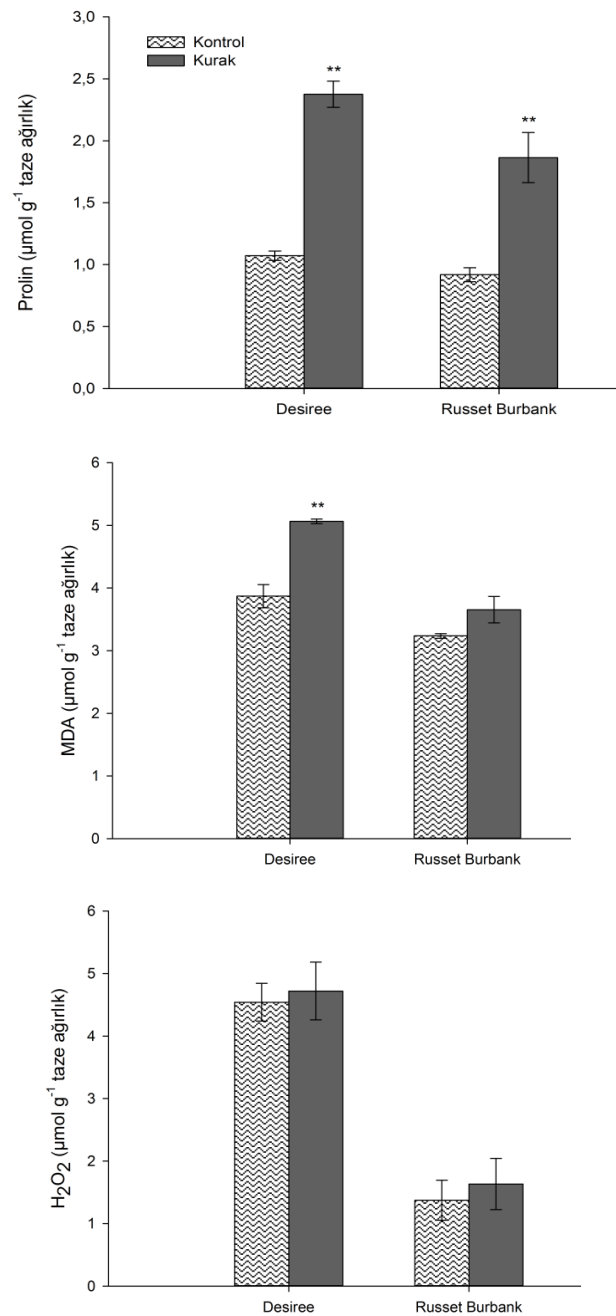
Kuraklık uygulamasının 7., 9. ve 10. günlerinde yaprak sıcaklıkları kontrole göre hem Desiree çeşidinde hem de Russet Burbank çeşidinde önemli düzeyde artmıştır (Şekil 3). Kurak koşullar altında Desiree'nin yaprak sıcaklığı kuraklık uygulamasının 9. gününde kontrole göre %16,5 oranında, 10. gününde ise %4,6 oranında yükselmiştir. Kurak koşullar altında Russet Burbank'ın yaprak sıcaklığı, uygulamanın 9. gününde kontrole göre %13,1 oranında, 10. gününde ise %30,9 oranında artmıştır. Kanopi sıcaklığının kuraklığa toleranslı patates genotiplerinin taranmasında bir seleksiyon ölçütü olarak kullanılabileceği önerilmiştir (Ranalli ve ark., 1997). Ranalli ve ark. (1997) çıkıştan 8 hafta ve 12 hafta sonra olmak üzere 6 farklı patates genotipinde yaptıkları ölçüm sonucunda, her iki dönemde de bütün genotiplerin kanopi sıcaklıklarının kurak koşullarda kontrole göre daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Bunun yanında aynı araştırmacılar, kurak koşullarda kanopi sıcaklığı daha az artan patates genotiplerinin yumru verimlerinin daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Bitkilerde terleme hızı ile yaprak sıcaklığı arasında ters ilişki olduğu uzun yıllardır bilinmektedir. Yani bitkilerde genel olarak terleme hızı azaldıkça bitki sıcaklığı artmaktadır (Gates, 1968). Kurak koşullarda stomaların kapanması nedeniyle terleme hızı azalmakta, buna bağlı olarak terlemenin serinletici etkisi azalarak bitkilerin yaprak sıcaklığı artmaktadır (Ranalli ve ark., 1997). Bu çalışmada da, kuraklık uygulanan her iki çeşidin stoma iletkenliği ve terleme hızı kuraklık uygulamasının 5. gününde önemli düzeyde düşmüş ve bu durum 10. güne kadar devam etmiştir. Buna bağlı olarak, her iki patates çeşidinin yaprak sıcaklıkları 7., 9., ve 10. günlerde önemli düzeyde artmıştır. Bu sonuçlar, kurak koşullardaki patates bitkilerinin stoma iletkenliği ile yaprak sıcaklığı arasında ve terleme hızı ile yaprak sıcaklığı arasında ters ilişki olduğunu bir kez daha ortaya koymuştur.

Prolin, MDA ve H₂O₂ İçerikleri

On günlük sulama kesintisi sonucunda, Desiree ve Russet Burbank çeşitlerinde prolin miktarında önemli düzeyde ($P \leq 0,01$) bir artış meydana gelmiştir. Desiree'nin kontrol koşullarda taze yapraktaki ortalama prolin içeriği 1,07 $\mu\text{mol g}^{-1}$ iken, kurak koşullarda iki kattan biraz fazla bir artış meydana gelerek 2,38 $\mu\text{mol g}^{-1}$ 'e ulaşmıştır. Kontrol koşullarda Russet Burbank'ın taze yapraktaki

ortalama prolin içeriği $0,92 \mu\text{mol g}^{-1}$, kurak koşullarda ise $1,86 \mu\text{mol g}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Prolin birikimi açısından Desiree'nin Russe Burbank çeşidinden daha fazla prolin birikimi sağladığı görülmektedir. Bu çalışmada yapılan 10 günlük kuraklık uygulaması sonucunda, Desiree'nin prolin içeriği kontrol uygulamasıyla mukayese edildiğinde %121,7, Russet Burbank'ın prolin içeriği ise %103 oranında artmıştır. Kurak koşullarda, ilk biriken aminoasit olan prolinin hücre içi konsantrasyonun ölçülmesi, araştırmalarda bitkilerin su eksikliği stresine girdiklerini göstermek için kullanılmaktadır (Öztürk, 2015). Önceki bir çalışmada, kuraklık stresi koşullarında 10 farklı patates genotipinde prolin seviyesinin arttığını tespit edilmiştir (Bansal ve ark.,1986). Aynı araştırmacılar, kurağa hassas olan genotiplerde kurağa toleranslı genotiplere göre daha yüksek düzeyde prolin oluştuğunu ve sonuç olarak yumru verimi ile prolin seviyesi arasında önemli negatif ilişki olduğunu bildirmişlerdir. Bir başka çalışmada, kurağa toleranslı iki patates genotipinde kurak koşullarda prolin seviyesinin önemli düzeyde arttığı gözlemlenmiştir (Schafleitner ve ark.,2007 b). Buna karşın, Heuer ve Nadler (1998) su stresi koşullarında patatesin prolin içeriğinde önemli bir değişim gözlemlenmemişlerdir. Bizim çalışmamızda ise, kuraklık uygulaması sonucunda daha verimli olan Desiree çeşidinde, daha az verimli olan Russet Burbank'a göre daha fazla prolin birikimi meydana gelmiştir. Prolinin bitkileri kurumaya ve oksidatif strese karşı koruduğuna dair bilgiler mevcut olmasına rağmen (Kavi Kishor ve ark., 2005; Ozden ve ark., 2009), patatesteki kuraklık toleransı ve osmolitlerin birikimi üzerine araştırmaların çok sınırlı sayıda kalmış olması nedeniyle patatesin kurağa toleransı ve prolin birikimi arasındaki ilişki hakkında bugüne kadar kesin bilgiler oluşmamıştır. Bu çalışmada, kurak koşullardaki patates bitkilerinin prolin seviyesindeki artış hakkında bir çıkarım yapabilmek için prolin ile ilgili elde edilen sonuçlar, oksidatif strese ilişkili olan lipid peroksidasyon ve H_2O_2 birikimine ait verilerle bir arada değerlendirilmiştir. Patates bitkilerine uygulanan kuraklığın hücrelerdeki lipid peroksidasyon üzerine etkisi, MDA içeriğinin ölçülmesi vasıtasıyla belirlenmiştir. Desiree çeşidinin MDA içeriğinde 10 günlük su kesintisi sonucunda önemli ($P \leq 0,01$) bir artış meydana gelirken, Russet Burbank çeşidinde önemsiz düzeyde bir artış olmuştur (Şekil 4). Desiree'nin yaş yaprağındaki ortalama MDA içeriği kontrol koşullarında $3,87 \mu\text{mol g}^{-1}$, kurak koşullarda ise $5,06 \mu\text{mol g}^{-1}$ olmuştur. Kontrol koşullarında Russet Burbank'ın yaş yaprağındaki ortalama MDA içeriği $3,23 \mu\text{mol g}^{-1}$ iken, kurak koşullarında $3,65 \mu\text{mol g}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Kontrol uygulamasıyla mukayese edildiğinde, kurak koşullar altında Desiree'nin MDA içeriği %30,8 oranında, Russet Burbank'ın MDA içeriği %12,9 oranında artmıştır. Kuraklığın etkisiyle bitki hücrelerinde reaktif oksijen türlerinin miktarı yükselmekte ve bunlar lipidlerin oksidatif olarak parçalanmasını arttırmaktadır. Bu işlem lipid peroksidasyon olarak adlandırılmakta ve hücrelerin zarar görmesine neden olmaktadır. Bu çalışmada kurak koşullarda patates çeşitlerinin hücre zararlanmalarının belirlenmesi amacıyla lipid peroksidasyonun son ürünlerinden biri olan MDA miktarı ölçülmüştür. Bu ölçüm sonucunda, uygulanan 10 günlük su kesintisinin

Desiree çeşidinde MDA miktarını önemli ölçüde arttırdığı, Russet Burbank çeşidinde ise artışın önemsiz düzeyde kaldığı belirlenmiştir. Buradan yola çıkarak, Desiree çeşidinde lipid peroksidasyon temelli hücre zararlanmasının Russet Burbank çeşidine göre daha kısa sürede gerçekleştiği söylenebilir. Ayrıca, kurak koşullar altında Desiree çeşidinde biriken MDA miktarının Russet Burbank çeşidinden daha fazla olması nedeniyle bu çalışmada, kurak koşullar altında Desiree çeşidinde protein ve lipid yapılarının daha çok zarar gördüğü öngörülmekte ve bu durumun membran bütünlüğünü bozduğu düşünülmektedir. Bununla beraber, ozmotik olarak aktif bir bileşen olan prolin, oluşturduğu bileşikler aracılığıyla protein yapılarını korumakta ve lipid oksidasyonunu azaltarak membran sistemlerindeki zararlanmayı engellemektedir (Mansour 1998, Özden vd., 2009).



Şekil 4 Stres uygulamasının 10. gününde Desiree ve

Russet Burbank çeşitlerinin kontrol ve kurak koşullarda prolin, MDA ve H₂O₂ içerikleri.

Bu çalışmada da, kurak koşullarda her iki patates çeşidinde önemli düzeyde prolin birikimi meydana gelmesi sonucunda, lipit peroksidasyonu nispeten bastırılarak, protein ve lipit yapılarının daha çok zararlanması engellenmiş olabilir. Bunun yanında, bu çalışmadaki kuraklık uygulaması Desiree ve Russet Burbank çeşitlerinin H₂O₂ içeriğinde hafif bir artışa neden olmuş fakat bu artış önemsiz düzeyde kalmıştır (Şekil 4)

Kuraklık uygulamasının 10. gününde, Desiree'nin taze yapraklarındaki ortalama hidrojen peroksit içeriği (H₂O₂) kontrol koşullarında 4,54 $\mu\text{mol g}^{-1}$, kurak koşullarda ise 4,72 $\mu\text{mol g}^{-1}$ olmuştur. Russet Burbank'ın taze yapraklarındaki ortalama H₂O₂ içeriği ise kontrol koşullarında 1,37 $\mu\text{mol g}^{-1}$, kurak koşullarda 1,63 $\mu\text{mol g}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Desiree ve Russet Burbank çeşidinin 10 gün kuraklığa maruz bırakılması sonrasında, H₂O₂ miktarındaki artış Desiree'de Russet Burbank'a göre daha az gerçekleşmiştir. Yetersiz su koşullarında, bitki hücrelerinde toksik oksijen radikalleri ve H₂O₂ gibi türevlerinin birikimi genel olarak artmaktadır. Hücre içerisinde artan serbest radikaller ve H₂O₂ protein, membran lipitleri ve nükleik asitler gibi hücre bileşenlerine zarar vermektedir. Bu çalışmada, Desiree ve Russet Burbank çeşitlerinin 10 gün süreyle kuraklığa maruz bırakılması sonrasında, kurak koşullarda H₂O₂ miktarının düşük ve önemsiz seviyede arttığı görülmektedir. Patates dışındaki diğer bitkilerde yüksek prolin miktarının H₂O₂ birikimini azalttığı ve hücreleri oksidatif strese karşı koruduğu bilinmektedir (Kavi Kishor ve ark., 2005; Ozden ve ark., 2009). Bu nedenle, kurak koşullarda Desiree ve Russet Burbank çeşidinde H₂O₂ artışının düşük ve önemsiz düzeyde olması, yüksek prolin birikiminin olmasından kaynaklanabilir.

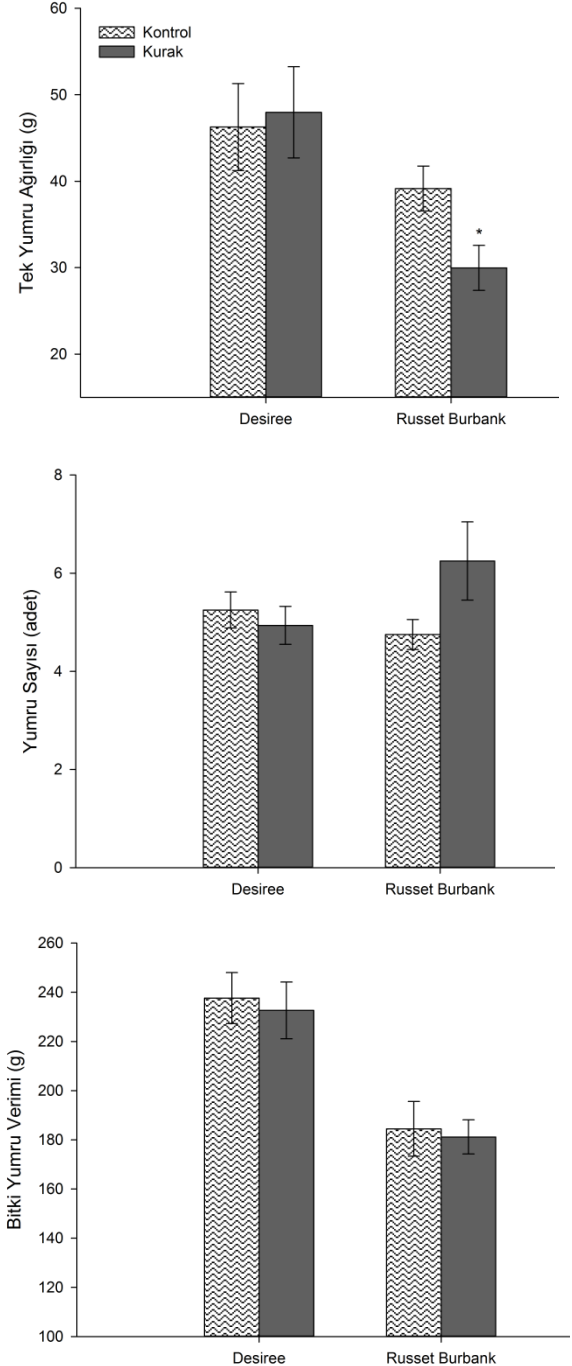
Kuraklık uygulamasının patates çeşitlerinde prolin, MDA ve H₂O₂ içeriğine etkileri birlikte değerlendirildiğinde, kurak koşullarda artan prolinin her iki çeşitte H₂O₂ birikimini, Russet Burbank çeşidinde de MDA birikimini baskıladığı söylenebilir. Böylece, prolin birikimi patatesteki hücre zararlanmasının düşük düzeyde kalmasını sağlamış olabilir. Bu tartışmalı konunun aydınlatılabilmesi için patatesteki daha detaylı araştırmaların yapılması önerilmektedir.

Yumuru Verim Bileşenleri

Kontrol ve stres koşullarında 4 tekerrürlü olarak yetiştirilen Desiree ve Russet Burbank çeşitleri çıkıştan 85 gün sonra hasat edilmiştir. Bitki başına yumru ağırlığının, toplam yumru sayısına bölünmesiyle elde edilen tek yumru ağırlığı sonuçları incelendiğinde, kurak koşullarda tek yumru ağırlığı Russet Burbank çeşidinde önemli düzeyde ($P \leq 0,05$) azalırken, Desiree çeşidinde ise önemli bir değişim meydana gelmemiştir (Şekil 5). Kontrol koşullarında Desiree'nin ortalama tek yumru ağırlığı 45,27 g olurken, kurak koşullarda hafif bir artışla 47,11 g olmuştur. Kontrol koşullarında Russet Burbank'ta 38,8 g olan tek yumru ağırlığı, kurak koşullarda azalarak 28,9 g'ye düşmüştür. Kontrol uygulamasıyla mukayese edildiğinde, kurak koşullar altında Russet Burbank'ın tek yumru ağırlığı %25,3 oranında azalmıştır.

Desiree çeşidinde yumru sayısı kurak koşullarda kontrole göre hafif bir azalma gösterirken, Russet

Burbank çeşidinde artmıştır (Şekil 5). Fakat yumru sayısında meydana gelen bu değişiklikler istatistiksel bakımdan önemsiz düzeyde olmuştur. Kontrol koşullarında Desiree'nin ortalama yumru sayısı 5,3 adet bitki⁻¹ iken, kurak koşullarda ortalama yumru sayısı 4,9 adet bitki⁻¹ olmuştur. Kontrol koşullarında Russet Burbank'ın ortalama yumru sayısı 4,8 adet bitki⁻¹ olarak gerçekleşirken, kurak koşullarda ortalama yumru sayısı 6,3 adet bitki⁻¹ olmuştur.



Şekil 5 Desiree ve Russet Burbank çeşitlerinin verim bileşenleri.

Kurak koşullarda Desiree ve Russet Burbank çeşitlerinin bitki başına yumru verimlerinde önemsiz düzeyde hafif bir azalma meydana gelmiştir (Şekil 5). Kontrol uygulamasıyla mukayese edildiğinde, kurak

koşullar altında Desiree'nin bitki başına yumru verimi %2,1, Russet Burbank'ın bitki başına yumru verimi ise %1,7 oranında azalmıştır. Bu çalışmada, Desiree patates çeşidinde kuraklık uygulamasına bağlı olarak tek yumru ağırlığı, yumru sayısı ve tek bitki yumru veriminde önemli bir değişiklik olmaması, tarla gözlemlerinde verimle ilişkili olarak yapılan kurağa toleranslı çeşit bilgisini doğrulamaktadır. Tarla gözlemlerinde hassas olduğunu belirtilen Russet Burbank çeşidinde ise kuraklık uygulaması tek yumru ağırlığının önemli düzeyde %25 azalmasına, buna karşın yumru sayısının artmasına neden olmuş, ancak toplam yumru verimini değiştirmemiştir. Kurak koşullar altında genel olarak, Russet Burbank çeşidinin yumruları küçülmekte ve böylece pazarlanabilir yumru verimi düşmektedir (Stark ve ark., 2013). Benzer şekilde bu çalışmada da Russet Burbank çeşidinin tek yumru ağırlığı önemli düzeyde azalmış ve bu sonuç, Russet Burbank'ın tarla koşullarında kuraklığa verdiği tepki ile uyum göstermiştir. Daha önce yapılan bir çalışmada, saksıda 7 günlük kuraklık stresi uygulaması sonucunda 4 patates çeşidinin 2 tanesinde bitki başına yumru verimi kontrole göre daha yüksek olurken, diğer 2 tanesinde ise kontrole göre azalma meydana gelmiştir (Wilcox ve Ashley 1982). Levy (1985) tarafından saksı koşullarında, farklı gelişim dönemlerinde iki patates çeşidine (Desiree ve Cara) uygulanan 10 günlük su kesintisi sonucunda, yumru verimi bakımından kuraklık uygulama dönemine göre farklılıklar gözlemlenmiştir. Yumru başlangıcı döneminde uygulanan su kesintisi hem Desiree hem de Cara çeşidinin veriminde önemli bir azalmaya neden olmamıştır. Bitkilerin %30 çiçeklenme döneminde uygulanan 10 günlük su kesintisi Desiree'nin veriminde önemli azalmaya neden olmazken, Cara çeşidinde verim önemli düzeyde düşmüştür. Aynı çalışmada, çiçeklenmeden sonraki dönemde uygulanan 10 günlük su kesintisi her iki çeşidin bitki başına yumru verimini önemli düzeyde düşürmüştür (Levy, 1985). Bunun yanında, saksı koşullarında kontrole göre %60, 45 ve 30 daha az sulama olacak şekilde yapılan kuraklık uygulamasında, patates bitkilerinin maruz kaldıkları kuraklık şiddeti arttıkça yumru verimi daha çok azalmıştır (Ramirez ve ark. 2014). Önceki çalışmalardan ve bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, kuraklığın yumru verimi üzerine etkisinin genotipe, kuraklığın olduğu döneme, kuraklığın süresine ve şiddetine bağlı olarak farklılık gösterdiği görülmektedir. Genel olarak, kuraklık döneminin daha uzun sürmesi veya bitkilerin aralıklarla daha fazla sayıda kuraklık stresine maruz kalması durumunda, patatesin yumru veriminde önemli azalmalar meydana gelmektedir.

Özetle; kuraklık uygulaması sonucu stoma iletkenliği, terleme hızı ve fotosentez hızı karakterleri bakımından hem Desiree hem de Russet Burbank çeşidinde 5. günden itibaren bir azalma meydana gelmiş, kuraklık uygulamasının özellikle 9. ve 10. Günlerinde ise azalma çarpıcı düzeye ulaşmıştır. Su kesintisinin 10. gününde prolin içeriği her iki çeşitte, MDA içeriği ise Desiree çeşidinde önemli düzeyde artmıştır. Klorofil ve hidrojen peroksit içeriklerinde ise önemli bir değişim olmamıştır. Elde edilen bu fizyolojik verilere dayanarak, patates bitkilerinin fotosentetik üretkenlik bakımından sulama kesintisinin 5. gününde kuraklık stresine girmeye başladığı ve stresin 9. ve 10. günlerde arttığı söylenebilir. Bunların

yanında, kurak koşullarda patates bitkileri bünyelerindeki prolin miktarlarını arttırmıştır ve prolindeki bu artış sayesinde hücrel seviyede oksidatif stresin ortaya çıkması bir miktar baskılanmıştır. Erken yumru gelişim döneminde uygulanan 10 günlük su kesintisi genel olarak, çeşitli fizyolojik olaylar üzerinde önemli değişikliklere neden olsa da, bitki başına yumru veriminde meydana gelen azalma önemli düzeyde olmamıştır. Desiree ve Russet Burbak çeşitleri kuraklık uygulamasına genel olarak benzer fizyolojik tepkiler göstermişlerdir. Bu nedenle, her iki çeşidinde kısa süreli kuraklığa karşı benzer fizyolojik tolerans mekanizmalarına sahip olduğu söylenebilir. Bu çalışma sonucunda her ne kadar patatesin kuraklığa verdiği fizyolojik tepkiler hakkında bilgiler elde edilmiş olsa da, patates bitkisinin kuraklığa karşı hücrel seviyede gösterdiği fizyolojik tepkiyi daha iyi gözlemleyebilmek ve yumru verimine dayalı olarak patates genotipleri arasındaki tolerans düzeyleri arasındaki farkı daha iyi ortaya koyabilmek için bundan sonraki çalışmalarda su kesintisinin 10 günden daha uzun süreli yapılmasını veya kuraklık uygulamasının aralıklarla birkaç kez uygulanmasını önermekteyiz.

Teşekkür

Çalışma sırasında yaptığı bilimsel öneri ve katkılarından dolayı Dr. Zahide Neslihan Öztürk'e teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynaklar

- Ackerson RC, Krieg DR, Haring CL, Chang N. 1977. Effects of plant water status on stomatal activity, photosynthesis, and nitrate reductase activity of field grown cotton. *Crop Sci.*, 17: 81-84.
- Anonim, 2016a. FAO 2016. <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>. Erişim: 29 Temmuz 2016.
- Anonim, 2016b. The European Cultivated Potato Database, <https://www.europotato.org/menu.php>. Erişim: 29 Temmuz 2016.
- Bansal KC, Nagarajan S. 1986. Leaf water content, stomatal conductance and proline accumulation in leaves of potato (*Solanum tuberosum* L.) in response to water stress. *Indian Journal of Plant Physiology*, 29: 397-404.
- Bates LS, Waldren RP, Teare ID. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant Soil*, 39: 205-207.
- Cornic G. 2000. Drought stress inhibits photosynthesis by decreasing stomatal aperture – not by affecting ATP synthesis. *Trends in Plant Science*, 5: 187-188.
- Çalışkan ME, Onaran H, Arıoğlu H. 2010. Overview of the Turkish potato sector: Challenges, achievements and expectations. *Potato Research*, 53: 255-266.
- Davies WJ, Tadiou F, Trejo CL. 1994. How do chemical signals work in plants that grow in drying soil. *Plant Physiol.*, 104: 309-314.
- Deblonde PMK, Ledent JF. 2001. Effects of moderate drought conditions on green leaf number stem height, leaf length and tuber yield of potato cultivars. *European Journal of Agronomy*, 14: 31-41.
- Eiasu BK, Soudy P, Hammes PS. 2007. Response of potato (*Solanum tuberosum*) tuber yield components to gel polymer soil Amendments and irrigation regimes. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 35(1): 25-31.
- Heath RL, Packer L. 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplast. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 125: 189-198.

- Heuer B, Nadler A. 1988. Physiological response of potato plants to soil salinity and water deficit. *Plant Science*, 137: 43-51.
- Hoagland DR, Arnon DS. 1950. The water-culture method for growing plants without soil. In *California Agricultural Experiment Station Circular 347*. The College of Agriculture, University of California, Berkeley. 1-32.
- Iwama K. 2008. Physiology of the potato: New insights into root system and repercussions for crop management. *Potato Research*, 51: 333-353.
- Jaleel CA, Manivannan P, Wahid A, Farooq M, Somasundaram R, Panneerselvam R. 2009. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11: 100-105.
- Kavi-Kishor PB, Sangam S, Amrutha RN, Sri-Laxmi P, Naidu KR, Rao KRSS, Rao S, Reddy KJ, Theriappan P, Sreenivasulu N. 2005. Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants: Its implications in plant growth and abiotic stress tolerance. *Current Science*, 88(3): 424-438.
- Kulshreshtha S, Mishra DP, Gupta RK. 1987. Changes in content of chlorophyll, proteins and lipids in whole chloroplast and chloroplast membrane fractions at different leaf water potentials in drought resistant and sensitive genotypes of wheat. *Photosynthetica*, 21(1): 65-70.
- Kumar D, Singh V, Singh RP Singh BP, Naik PS. 2007. Performance of in vitro plantlets for production of minitubers in vector free environment. *American Journal of Potato Research*, 34: 131-132.
- Levy D, Tai GCC. 2013. Differential response of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) to salinity in an arid environment and field performance of the seed tubers grown with fresh water in the following season. *Agricultural Water Management*, 116: 122-127.
- Levy D. 1983. Water deficit enhancement of proline and amino nitrogen accumulation in potato plants and its association with susceptibility to drought. *Physiologia Plantarum*, 57: 169-173.
- Levy D. 1985. The response of potatoes to a single transient heat or drought stress imposed at different stages of tuber growth. *Potato Research*, 28: 415-424.
- Loreto F, Velikova V. 2001. Isoprene produced by leaves protects the photosynthetic apparatus against ozone damage, quenches ozone products, and reduces lipid peroxidation of cellular membranes. *Plant Physiology and Biochemistry*, 127: 1781-1787.
- Majumdar S, Ghosh S, Glick BR, Dumbroff EB. 1991. Activities of chlorophyllase, phosphoenolpyruvate carboxylase and ribulose-1, 5- bisphosphate carboxylase in primary leaves of soybean during senescence and drought. *Physiologia Plantarum*, 81: 473-480.
- Miyashita K, Tanakamaru S, Maitani T, Kimura K. 2005. Recovery responses of photosynthesis, transpiration, and stomatal conductance in kidney bean following drought stress. *Environmental and Experimental Botany*, 53: 205-214.
- Monneveux P, Ramirez DA, Pino MT. 2013. Drought tolerance in potato (*S. tuberosum* L.) Can we learn from drought tolerance research in cereals?. *Plant Science*, 205(206): 76-86.
- Ordog A, Wodala B, Rozsavolgyi T, Tari I and Ferenc H. 2013. Regulation of guard cell photosynthetic electron transport by nitric oxide. *Journal of Experimental Botany*, 64: 1357-1366.
- Ozden M, Demirel U, Kahraman A. 2009. Effects of proline on antioxidant system in leaves of grapevine (*Vitis vinifera* L.) exposed to oxidative stress by H₂O₂. *Scientia Horticulturae*, 119: 163-168.
- Özer H, Karaoğlan T, Oral E. 1997. Bitkilerde su stresi ve dayanıklılık mekanizması. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 28(3): 488-495.
- Öztürk ZN. 2015. Bitkilerin kuraklık stresine tepkilerinde bilinenler ve yeni yaklaşımlar. *Turkish Journal of Agriculture Food Science and Technology*, 3: 307-315.
- Ramirez DA, Yactayo W, Gutiérrez R, Mares V, De Mendiburu F, Posadas A, Quiroz R. 2014. Chlorophyll concentration in leaves is an indicator of potato tuber yield in water-shortage conditions. *Scientia Horticulturae*, 168: 202-209.
- Ranalli P, Di Candilo M, Bagatta M. 1997. Drought tolerance screening for potato improvement. *Plant Breeding*, 116: 290-292.
- Renault D, Wallender W. 2000. Nutritional water productivity and diets. *Agricultural Water Management*, 45: 275-296.
- Rouhi V, Samson R, Lemeur R, Damme PV. 2007. Photosynthetic gas exchange characteristics in three different almond species during drought stress and subsequent recovery. *Environmental and Experimental Botany*, 59: 117-129.
- Sairam RK, Deshmukh PS, Shulclla DS. 1997. Tolerance of drought and temperature stress in relation to increased antioxidant enzyme activity in wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science* 178: 171-178.
- Satchithanatham S, Krahn, V, Ranjan RS, Sager S. 2014. Shallow groundwater uptake and irrigation water redistribution within the potato root zone. *Agricultural Water Management*, 132: 101-110.
- Schafleitner R, Gutierrez R, Espino R, Gaudin A, Pérez J, Martínez M, Domínguez A, Tincopa L, Alvarado C, Numberto G, Bonierbale M. 2007a. Field Screening for Variation of Drought Tolerance in *Solanum tuberosum* L. by Agronomical, Physiological and Genetic Analysis. *Potato Research*, 50: 71-85.
- Schafleitner R, Gutierrez Rosales RO, Gaudin A, Alvarado Aliaga CA, Numberto Martinez, G, Tincopa Marca LR, Avila Boliva L, Mendiburu Delgado F, Simon R, Bonierbale M, 2007b. Capturing candidate drought tolerance traits in two native Andean potato clones by transcription profiling of field grown plants under water stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 45: 673-690.
- Schafleitner R. 2009. Growing more potatoes with less water. *Tropical Plant Biology*, 2: 111-121.
- Shahnazari A, Liu F, Andersen MN, Jacobsen SE, Jensen CR. 2007. Effects of partial root-zone drying on yield, tuber size and water use efficiency in potato under field conditions. *Field Crops Research*, 100: 117-124.
- Stark JC, Love SL, King BA, Marshall JM, Bohl WH, Salaiz T. 2013. Potato cultivar response to seasonal drought patterns. *American Journal of Potato Research*, 90: 207-216.
- Tekalign T, Hammes PS. 2005. Growth and productivity of potato as influenced by cultivar and reproductive growth. II. Growth analysis, tuber yield and quality. *Scientia*, 105: 29-44.
- Thiele G, Theisen K, Bonierbale M, Walker T. 2010. Targeting the poor and hungry with potato science. *Potato J.*, 37: 75-86.
- Van Loon CD. 1981. The effect of water stress on potato growth, development, and yield. *American Potato Journal*, 58: 51-69.
- Vasquez-Robinet C, Mane SP, Ulanov AV. 2008. Physiological and molecular adaptations to drought in Andean potato genotypes. *Journal of Experimental Botany*, 59: 2109-2123.
- Vos J, Groenwold J. 1988. Water relations of potato leaves: I. Diurnal changes, gradients in the canopy, and effects of leaf-insertion number, cultivar and drought. *Annals of Botany*, 62: 363-371.

