



Bitkilerin Kuraklığa Dayanıklılığını Artırmaya Yönelik Uygulamalar

İlkay Yavaş^{1*}, Hüseyin Nail Akgül², Aydın Ünay³

¹Adnan Menderes Üniversitesi, Koçanlı Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, 09100 Aydın, Türkiye

²Adnan Menderes Üniversitesi, Koçanlı Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, 09100 Aydın, Türkiye

³Adnan Menderes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, 09100 Aydın, Türkiye

MAKALE BİLGİSİ

Geliş 17 Eylül 2015
Kabul 02 Aralık 2015
Çevrimiçi baskı, ISSN: 2148-127X

Anahtar Kelimeler:
Besin elementi
Koruyucu toprak işleme
Osmotik koruyucular
Rizobakteriler
Terminal kuraklık

* Sorumlu Yazar:

E-mail: iyavas@adu.edu.tr

Ö Z E T

Terminal kuraklık bitki gelişimini, metabolizmasını olumsuz etkileyen ve verimi sınırlayan en büyük tehdittir. Su stresi bitkilerde morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal birçok değişikliğe neden olmaktadır. Kuraklık stresi bitki boyu, kök uzunluğu, yaprak alanı, taze ve kuru biyokütleyi azaltmaktadır. Ayrıca su stresi nisbi nem içeriğinin azalmasına, stomaların kapanmasına, fotosentez ve klorofil içeriğinin azalmasına neden olmaktadır. Antioksidan enzimlerden glutatyon redüktaz (GR), süperoksit dismutaz (SOD), askorbat peroksidaz (ASC), glutatyon (GSH), katalaz (CAT) enzim aktiviteleri ile oksidatif stresin bir göstergesi malondialdehit (MDA) ve prolin seviyeleri de kurak koşullarda değişmektedir. Kurak koşullarda özellikle tane gelişim dönemi öncesi bitki besin elementi alımı gerilediği veya engellendiği için bitki besin elementi uygulaması ve beraberinde mikroelementlerin remobilizasyonu önem taşımaktadır. Osmotik koruyucular (sitokinin, mannitol, absisik asit, prolin, glisinbetain, poliamin vb.) reaktif oksijen türlerinin (ROS) olumsuz etkilerini ortadan kaldırmakta ve kuraklık stresini iyileştirmektedir. Dışarıdan bitki gelişimini teşvik eden rizobakterilerin (PGPR) uygulanması bitki kök sistemi ile kolonize olarak bitki büyümesini teşvik etmekte ve bitkilerin su stresine dayanıklılığını artırmaktadır. Ayrıca kurak dönemlerde koruyucu toprak işleme sistemi de çiftçiler tarafından kullanılabilir.

Turkish Journal Of Agriculture - Food Science And Technology, 4(1): 48-57, 2016

The Applications to Increase Drought Tolerance of Plants

ARTICLE INFO

Article history:
Received 17 September 2015
Accepted 02 December 2015
Available online, ISSN: 2148-127X

Keywords:
Plant nutrition
Conservation tillage system
Osmoprotectant
Rhizobacteria
Terminal drought

* Corresponding Author:

E-mail: iyavas@adu.edu.tr

ABSTRACT

Terminal drought is a major threat that adversely affects crop growth and metabolism, and limits the yield. Water stress causes many morphological, physiological and biochemical changes in plants. Plant height, root length, leaf area, fresh and dry biomass are reduced under drought stress. Besides, water stress causes the reduction of relative water content, the closure of stomata and decrease in photosynthesis and chlorophyll content. Antioxidant enzymes such as glutathione reductase (GR), superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD), ascorbat peroxidase (ASC), glutatiton (GSH), catalase (CAT) enzyme activities, the indicator of oxidative stress malondialdehyde (MDA) and proline levels also changes in drought conditions. Nutrient uptake by plants is prevented or restricted before grain development stage during drought conditions. Therefore the application of plant nutrients followed by micronutrient remobilization within plant is great importance. Osmoprotectants (cytokinin, mannitol, abscisic acid, proline, glycine betaine, polyamine etc.) detoxify adverse effect of reactive oxygen species (ROS) and alleviate drought stress. Exogenous plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) application encourage plant growth by colonizing the plant root and increase plants' resistance to water stress. Besides, the farmers can use conservation tillage system in dry periods.

Giriş

Kuraklık, olağandışı kuru hava koşullarının toprakta su eksikliğine neden olması ve ardından bitkilerde su eksikliğinin gözlenmesidir. Kurak koşullarda, toprak su içeriğinin azalması ile birlikte yaprak su içeriği ve turgor kaybı meydana gelmekte ve stomalar kapanmaktadır (Jaleel ve ark., 2009; Akıncı ve Lösel, 2012). Bitkinin kuraklığa en erken tepkilerinden birisi olan stomaların kapanması ve CO₂ içeriğinde azalma ile birlikte stresin şiddetine bağlı olarak fotosentez engellenmekte ve hatta bitki ölümüne yol açabilmektedir (Jaleel ve ark., 2009). Fotosentez kuraklık stresinden şiddetli bir şekilde etkilenmektedir. Kurak koşullarda fotosentez oranı ve klorofil içeriğindeki azalma oksidatif stresin tipik bir belirtisi olarak düşünülmekte, pigment fotooksidasyonuna ve klorofil bozulmalarına yol açmaktadır (Anjum ve ark., 2011; Marcińska ve ark., 2013). Kurak koşullarda yaprak gelişimindeki gerileme veya artan yaprak yaşlılığı da fotosentezi olumsuz yönde etkilemektedir. Su içeriğindeki ve turgordaki azalma durumlarına nisbi nem içeriğindeki düşüşte eşlik etmektedir (Grant, 2011). Nisbi nem içeriği fotosentez oranı ile pozitif ilişkilidir. Kuraklık stresine maruz kalan bitkilerde yaprak su içeriği, nisbi nem içeriği ve transpirasyon oranı önemli bir şekilde azalmaktadır (Anjum ve ark., 2011). Bunun dışında solunum, translokasyon, iyon alımı, karbonhidrat, besin asimilasyonu ve büyüme teşvik edicilerde kurak koşullar ile birlikte zarar görmektedir (Siddiqui ve ark., 2015). Kuraklık stresi reaktif oksijen türlerinde (ROS) artışa neden olmaktadır. Kuraklığa bağlı oksidatif strete peroksidad ya da glutatyon redüktaz aktivitesi azalmaktadır. Su stresinde bitkilerde osmotik ayarlama, düşük moleküler ağırlığa sahip organik çözümlerin birikimi ile meydana gelmektedir (Marcińska ve ark., 2013). Bu osmolitler, bitkilerde çözünabilir karbonhidratlar ve prolin olarak bulunmaktadır. Sitozolda prolin birikimi ise, su stresi koşullarında zararı azaltmak için bitkinin verdiği ilk tepkilerden birisi olarak bilinmektedir (Anjum ve ark., 2011).

Bitkilerde kuraklık stresi üzerine makaleler mevcut olmasına rağmen terminal kuraklık olarak bilinen geç dönem (döllenme ve tane dolum dönemi) kuraklık üzerine kapsamlı bir çalışma ve yeterli bir bilgi yoktur. Küresel iklim değişikliği nedeniyle ortaya çıkan yağış düzensizliği ve kuraklık artışı ile beraber özellikle döllenme ve tane dolum döneminde gözlenen iklim değişimleri tane veriminde önemli kayıplara yol açacaktır. Bu nedenle bu makalede geç dönem meydana gelen kuraklığın bitkiler üzerindeki etkileri ve bu zararı azaltmada yapılabilecek uygulamalar ile Dünya’da ve ülkemizde kuraklık dönemlerinde uygulanan koruyucu toprak işleme sistemleri tartışılmıştır.

Kuraklığın Bitkiler Üzerindeki Etkisi

Su abiotik bir faktör olup, bitki büyüme, gelişme ve verimini etkileyen önemli bir sınırlayıcıdır. Bitkilerin su stresine olan tepkileri bitki türü, bitki yaşı, büyüme ve gelişme dönemi, kuraklık seviyesi ve sürekliliği ile fiziksel faktörlere bağlıdır. Bitkiler stresin olumsuz etkilerini engellemek ya da kurtulmak için farklı morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal tepkiler geliştirmişlerdir (Marcińska ve ark., 2013).

Kuraklığın Bitki Morfolojisi ve Fizyolojisi Üzerine Etkisi

Bitki boyu, çevresel faktörler tarafından kontrol edilen genetik bir özelliktir. Kurak koşullar bitki boyunu azaltmaktadır. Buğdayda son sulamanın %50 tozlanma döneminde yapılması kuraklığın bitki boyu üzerine etkisinin önemsiz olmasına neden olmaktadır (Aghanejad ve ark., 2015). Arpa, özellikle tane dolum dönemine rastlayan geç dönem kuraklıklardan oldukça etkilenen ve yarı kurak Akdeniz ikliminde yetişen önemli bir tahıldır. Kuraklık şiddetinin artması ile birlikte, fotosentez oranı, su içeriği, bitki boyu, tane dolum süreci, başak sayısı, başakta tane sayısı, 1000 tane ağırlığı önemli şekilde azalmaktadır (Samarah ve ark., 2009).

Buğdayda terminal kuraklık, tane dolum sürecini ve yaşam döngüsünü kısaltmaktadır. Kurak koşullarda tane dolum oranı, azalan fotosentez ve hızlanan yaprak yaşlılığından dolayı azalmaktadır. Yaprak yaşlılığının ilk işareti ise klorofil parçalanması ve fotosentezdeki azalmadır (Saeedipour ve Moradi, 2010). Buğdayda kuraklığa dayalı absisik asit (ABA) biyosentezi polen sterilitesine neden olmaktadır. Tozlanma sonrası kuraklık buğdayda tane sayısı üzerine etkili olmayıp, tane dolum oranı üzerine etkisi de azdır. Fakat tane dolum süresi kısaltmakta, tane ağırlığında hayati azalmalara yol açmaktadır (Farooq ve ark., 2014).

Su stresi çeltik alanlarında bitki büyüme ve gelişmesini etkilemekte, tane verimini azaltmaktadır. Vejetatif, çiçeklenme ve tane dolum dönemlerinde meydana gelen su stresi verimde sırasıyla %21, %50 ve %21 oranlarında düşüşlere yol açmaktadır (Pirdashti, 2008).

Kuraklık sonucu mezofil hücrelerine CO₂ girişinin azalması ile stomalar kapanmakta ve karbon fiksasyonu etkilenmektedir. Ayrıca ribüla 1,5-bifosfat karboksilaz/oksijenaz (Rubisco) içeriği ve aktivitesinde, ribüla bifosfat (RuBP) rejenerasyonunda azalmaya neden olarak metabolik aktiviteler üzerinde doğrudan etkiye sahiptir. Rubisco buğdayda terminal kuraklıktan ilk olarak etkilenmektedir. Tozlanma dönemi meydana gelen kuraklık bayrak yaprağında Rubisco aktivitesini, potansiyel olarak çözünabilir protein ve klorofil içeriğini azaltmaktadır. Devam eden kuraklık süresince, Rubisco aktivitesi ve protein içeriği de ayrıca azalmaktadır. Fakat bazı araştırmacılar azalan RuBP içeriğinin öncelikle buğdayda net fotosentez oranında kuraklığa dayalı azalmalardan sorumlu olduğunu vurgulamaktadırlar. CO₂ girişiindeki azalma, elektronların moleküler oksijene yönelmesinden, devam eden aşırı ışığa maruz kalmasından ve stomalardaki kapanmadan kaynaklanmaktadır. Bu da, kurak koşullarda Mehler reaksiyonu tarafından fotosistem I’de (PSI) süperoksit iyonları ve diğer reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretilmesine yol açmaktadır. Meydana gelen reaktif oksijen türleri (ROS), karbon fiksasyonunda hayati azalmalara yol açarak fotosentetik organlara zarar verebilmektedir (Farooq ve ark., 2014). Kuraklık stresinin Rubisco aktivitesi üzerine etkileri üzerine yapılan çalışmalardan bazıları Rubisco aktivitesinde önemli derecede azalmaların olduğunu (Parry ve ark., 2002), bazı araştırmalar ise az bir düşüş olduğunu (Flexas ve ark.,

2006), hatta bazıları etkisinin olmadığını öne sürmüşlerdir (Delfine ve ark., 2001). Bu durumun kuraklığın şiddetinden ve türler arası farklılıktan kaynaklanabileceği ortaya konmuştur (Galmés ve ark., 2011). Rubisco aktivitesindeki artış, kuraklık stresi altında fotosentez kapasitesindeki azalma ile başa çıkmada önemli rol oynamaktadır (Asghari ve Ebrahimzadeh, 2006).

Klorofil içeriği buğdayda (Aghanejad ve ark., 2015), çeltikte (Chutia ve Borah, 2012) ve nohutta (Mafakheri ve ark., 2010; Rahbarian ve ark., 2011) su stresi ile birlikte azalma göstermektedir. Fakat bazı araştırmacılar mısırdaki (Gholamin ve Khayatnezhad, 2011) ve buğdayda (Alaei, 2011) kuraklık stresi koşullarında klorofil içeriğinin stresin şiddetine bağlı olarak arttığını öne sürmektedirler.

Kurak koşullarda yüksek klorofil değerleri, bitkiler üzerinde stresin şiddetine ve azalan yaprak alanına işaret etmektedir. Aslında bitkiler stres koşullarında azalan yaprak yüzey alanı ile su kaybını en aza indirmek için transpirasyon alanını azaltmaktadırlar. Bu nedenle yapraklardaki toplam klorofil miktarı ve yaprak alanı başına klorofil içeriği artmaktadır (Gholamin ve Khayatnezhad, 2011). Klorofil içeriği kuraklık stresinden etkilenmekte ve normal sulama koşulları ile karşılaştırıldığında önemli bir şekilde azalmaktadır. Kuraklık stresi nedeniyle gelişme döneminin sonuna doğru klorofil parçalanması artmaktadır (Aghanejad ve ark., 2015).

Stoma iletkenliği kuraklık stresinden doğrudan etkilenen önemli fizyolojik oluşumdur ve kurak koşullar buğdayda stoma iletkenliğinin azalmasına neden olmaktadır (Aghanejad ve ark., 2015). Geç dönem kuraklık stresi, buğday bin tane ağırlığını (BTA) önemli bir şekilde azaltmaktadır. Tane dolum periyodu kısalmakta, daha düşük miktarda asimilat üretilerek fotosentez durmaktadır (Aghanejad ve ark., 2015).

Nişasta içeriği sorgum tane kalitesini etkileyen önemli bir faktördür. Sorgum tane nişasta içeriği, tane verim ve kalitesine ilişkin amilaz ve amilopektin oranı oldukça önemlidir. Nişasta içeriği çevresel faktörlerden etkilenmekte bu nedenle kuraklık verim ve kaliteyi etkileyen önemli bir faktör olmaktadır (Bing ve ark., 2014).

Bakla dolum döneminde meydana gelen kuraklık soyada nisbi nem ve klorofil içeriğini önemli bir şekilde düşürmektedir (Sepanlo ve ark., 2014). Tritikalede ise kurak koşullar klorofil a, klorofil b, karotenoid içeriği, nisbi nem içeriği, bayrak yaprak alanı ve tane verimini önemli bir şekilde etkilemekte ve azalma göstermektedir. Prolin içeriği ise önemli bir şekilde artmaktadır (Akbarian ve ark., 2011).

Terminal kuraklığın susamda bitki başına kapsül sayısı, kapsülde tohum sayısı ve bin tane ağırlığını düşürdüğü gözlenmiştir (Pouresmaiel ve ark., 2013). Buğdayda ise başakta tane sayısı, bin tane ağırlığı, hasat indeksi ve tane verimi önemli bir şekilde azalmaktadır (Koocheki ve ark., 2014).

Kuraklığa Biyokimyasal Tepkiler

Fotokimyasal etkinlik ve Rubisco etkinliğinde azalma, stres metabolitlerinin birikmesi (glutasyon redüktaz, monodehidroaskorbat, poliaminler), antioksidatif enzimler süperoksit dismutaz (SOD), peroksidaz (POD), katalaz (CAT), askorbat peroksidaz (APX), glutasyon

redüktaz (GR), glutasyon-S-transferaz (GST), glutasyon peroksidaz (GP), monodehidroaskorbat redüktaz (MDHAR), indirgenmiş ROS birikimi su stresine bitkilerin biyokimyasal tepkileri arasında yer almaktadır. Kurak koşullarda bazı reaktif oksijen türleri hidroksi (OH), süperoksit (O_2^-), hidrojen peroksit (H_2O_2) ve singlet oksijen ($^1O_2$) oluşmaktadır. Reaktif oksijen türleri (ROS) DNA, karbonhidrat, protein ve yağların oksidasyonuna neden olmaktadır. Bunlar nükleik asitleri zarara uğratmakta, lipid peroksidasyonu, klorofil, karbonhidrat ve protein oksidasyonuna yol açmaktadır. Enzim aktivitesindeki değişiklikler, kuraklık stresine bitkilerin toleransı için oldukça önemlidir. Kuraklık bitkilerde antioksidan savunma sisteminin eksikliği ile artan ROS üretimi ile birlikte oksidasyon zararına yol açmaktadır. Osmotik koruyucular kurak koşullarda suyun emilmesine yardımcı olan küçük moleküller, iyonlar (K^+) ve çözünebilir şekerleri içermektedir. Buğday, daha yüksek osmotik koruyucu ve daha düşük malondialdehid (MDA) içeriği ile kuraklığa daha iyi tolerans göstermektedir. Su stresi koşullarında poliaminler nükleik asit ve membranların bütünlüğünde önemli bir role sahip olup bitkilerde daha iyi gelişime yol açmaktadır (Nezhadahmadi ve ark. 2013). Askorbat (ASC) ve glutasyon (GSH), abiotik stres koşullarında önemli olup, kültür ve yabani nohutta kuraklığa bağlı olarak artış göstermekte iken, katalaz aktivitesi ise azalmaktadır (Çelik ve Ünyayar, 2015).

Meyankökü fidelerinde kuraklık ve tuzluluk koşullarında SOD ve POD aktivitesi artış gösterirken, CAT aktivitesi ise azalmaktadır (Pan ve ark. 2006). Hem su stresi hem sıcaklık stresi buğdayda glutasyon redüktaz ve peroksidaz aktivitesini artırırken, membran stabilitesi, klorofil içeriği ve klorofil stabilite indeksi azalma göstermektedir. Glutasyon redüktaz, yüksek oksijen basıncı sağlayarak oksidatif zarara karşı kloroplastları korumada önemli rol üstlenmektedir (Sairam ve ark. 1998).

Kurak koşullar ayçiçeği, kanola ve şeker pancarı bitkisinde CAT ve SOD aktivitesini artırmaktadır. Ayrıca bitkilerde daha yüksek membran geçirgenliği, malondialdehid (MDA) içeriği ve oksidatif stres ile sonuçlanan ROS üretimine neden olmaktadır. Fakat bitkinin türü, kuraklık stresinin süresi ve antioksidanların cinsine bağlı olarak antioksidanlar artmakta, azalmakta ya da değişmeden kalmaktadır (Sayfzadeh ve Rashidi, 2011). Su stresi buğday bitkisinde klorofil içeriğinin düşmesine (Sairam ve Saxena, 2000) süperoksit dismutaz, katalaz (Sairam ve ark., 1998), askorbat peroksidaz (Sairam ve ark. 1998; Sairam ve Saxena, 2000) ve glutasyon redüktaz enzimlerinin artmasına neden olmaktadır (Sairam ve Saxena, 2000).

Prolin ve glisin betain gibi koruyucu çözültülerin birikimi, bitkinin kuraklık stresine verdiği en önemli tepkiler arasında yer almaktadır. Ayrıca prolin güçlü bir antioksidan olup, hücre ölümünü önlemede önemli bir potansiyele sahiptir (Bhardwaj ve Yadav, 2012). Yem bitkilerinde kurak koşullarda prolin, hidrojen peroksit ve toplam askorbat içeriğinin düştüğü gözlenmektedir (Khoshkholghsima ve Rohollahi, 2015).

Şiddetli terminal kuraklık koşullarında, kurağa dayanıklı fasulye genotiplerinde biyomas ve nisbi nem içeriği azalmakta iken, prolin, MDA, H_2O_2 , SOD ve CAT

miktarı önemli bir şekilde artış göstermektedir (Rosales, 2012).

Kuraklığın Verim Üzerine Etkisi

Terminal kuraklık, tane boyutuna oranla tane sayısı üzerine daha fazla etkiye sahiptir. Bu durum kurak koşullarda buğday veriminin azalmasına yol açmaktadır. Mayoz ve tozlanma kuraklığa son derece hassas olup, olumsuz etkilenmesi tane sayısını doğrudan etkilemekte ve tane veriminde önemli azalmalara neden olmaktadır (Farooq ve ark., 2014).

Tane verimi genetik ve çevre faktörlerinin interaksiyonundan etkilenmektedir. Toprak tipi, ekim zamanı, ekim yöntemi, ekim sıklığı, gübreleme ve sulama zamanı, sıra arası mesafe yüksek verim eldesinde önemli bir role sahiptir. Su stresi verim bileşenleri özellikle başakta tane sayısı ve bitkide başak sayısını etkilemektedir (Aghanejad ve ark., 2015).

Genotip ve çevre faktörlerinin BTA üzerine etkisi önemlidir. Su stresi sapa kalkma döneminde meydana geldiğinde verim düşüşleri meydana gelmektedir. Verim düşüşünün nedeni büyük oranda başak uzunluğuna bağlıdır. Bu da başakta daha az tane demektir. Çiçeklenme ve hamur olum döneminde meydana gelen su stresi arpada tanelerin küçük kalarak, BTA'nın azalmasına ve tane veriminin düşmesine yol açmaktadır (Beigzadeh ve ark., 2013).

Çiçeklenme sonrası kuraklık stresi buğday tane verimi, bin tane ağırlığı (BTA) ve bayrak yaprak alanını düşürmektedir (Kanani ve ark., 2013). Şiddetli kuraklık stresi, yapraklarda erken ölümlere yol açarak fotosentezde büyük ölçüde azalmaya ve dolayısıyla verim kayıplarına neden olmaktadır (Anonim, 2015). Tane dolum dönemi süresince meydana gelen olası verim kayıpları, tam oluşmayan tane, azalan tane ağırlığı ve erken bitki ölümlerinden kaynaklanabilmektedir.

Mısır tozlanma dönemi boyunca kuraklık stresine duyarlıdır. Tane dolum döneminde meydana gelen su stresi yapraklarda ölümlere, bitkilerde yatmaya, tane ağırlığının ve tane dolum periyodunun kısalmasına neden olmaktadır. Verim kayıpları stresli günlerde %3.0-5.8 olabilmektedir. Tozlanma sonrası tane kısırlığı ve azalan kuru madde birikimi gözlenebilmektedir. Tane gelişimi, özellikle koçan uç kısmında tozlanmayı takip eden 2 hafta boyunca yüksek sıcaklık ve kısıtlı su koşullarında kısırlığa yatkındır. Hücre bölünmesi, tozlanmadan ilk 7-10 gün sonra endospermde meydana gelmekte ve hücre nişasta birikimini belirlemede önemli rol oynamaktadır (Anonim, 2015).

Buğday genotipleri bayrak yaprağı fotosentezini daha uzun bir süre devam ettirerek daha iyi bir verim vermektedir. Bu nedenle buğdayda bayrak yaprağının yaşlanma oranı ve başlangıcı kuraklık stresine dayanıklılığı incelemede önemli bir faktördür. Terminal kuraklık buğdayda yaşlılığı teşvik etmekte fakat tozlanma dönemi remobilizasyon artmakta, sap ve yapraklarda büyüyen tanelere karbonhidratlar birikmekte, yaşlılığa dayalı olarak tane veriminde azalmaya neden olmaktadır (Farooq ve ark., 2014).

Soya, mısır ile karşılaştırıldığında daha uzun bir sürede çiçeklenme göstermesi nedeniyle, kuraklık stresine daha dayanıklıdır. Fakat bitkiler çiçeklenme ve erken tane dolum döneminde meydana gelen yoğun ve devam eden

kuraklık stresine oldukça hassastır. Kuraklık stresi çiçek kısırlığına, bakla sayısının azalmasına, baklada daha az tohum sayısı ve daha küçük tane boyutuna neden olmaktadır. Orta derecedeki kuraklık stresi, önemli bir şekilde azot fiksasyonunun azalmasına ya da geri dönüşümü olmayacak şekilde durmasına ve tohum gelişiminin bozulmasına neden olmaktadır. Kuraklık stresi soyada R4 döneminden R6 dönemine kadar verim üzerinde öldürücü etkiye sahiptir. Nedeni çiçeklenmenin durması ve bitkilerin bakla kayıplarını telafi edememesidir. R6 döneminin 2. haftasından 4. haftasına kadar 4 günlük su stresi %39-45'lik verim kayıplarına yol açmaktadır (Anonim, 2015).

Buğday tüm gelişim dönemlerinde suya ihtiyaç duymaktadır fakat bazı dönemlerde su eksikliği oldukça önemlidir ve hayati derecede verim kayıplarına yol açmaktadır. Özellikle su eksikliği, gebeleşme ve erken tane dolum döneminde önemli verim kayıplarına neden olmaktadır.

Bazı araştırmacılar başak olum döneminde meydana gelen su eksikliğinin, tane verimi (yaklaşık %36) ve toplam verim (yaklaşık %20) üzerinde önemli etkiye sahip olduğunu vurgulamışlardır. Su stresinin erken dönemde meydana gelmesi erken tane dolum dönemine oranla genellikle daha az zararlı olmaktadır. Bazı araştırmacılar, buğdayın sapa kalkma döneminden başaklanmaya ve başaklanmadan süt olum dönemine su stresine daha hassas olduğunu vurgulamaktadırlar (Aghanejad ve ark., 2015).

Buğday yetiştirilen alanların %50'sinden fazlası, periyodik kuraklıktan etkilenmektedir. Kuraklık, buğday gelişimini tüm fenolojik dönemlerde etkilemesine rağmen, dölleme ve tane dolum dönemlerinde bitki çok daha duyarlıdır. Tozlanma sonrası hafif düzeydeki kuraklık buğday verimini %1-30 oranında azaltırken, çiçeklenme ve tane dolum dönemindeki devam eden hafif şiddetteki kuraklık tane verimini %58-92 'ye kadar düşürmektedir (Farooq ve ark., 2014).

Nohutta terminal kuraklık tane verimini sınırlayan önemli bir faktördür (Kashiwagi ve ark., 2013). Tane dolum döneminde meydana gelen şiddetli kuraklık stresi soyada tane sayısını ve verimini düşürmektedir (Dornbos ve ark., 1989). Bakla dolum döneminde meydana gelen kuraklık stresinin yerfistiği verimini önemli bir şekilde azalttığı gözlenmektedir (Koolachart ve ark., 2013). Terminal kuraklık stresi altında lüpen genotiplerinin ilave bir sulama ile verimlerinin %24'ten %66'ya kadar değiştiği saptanmaktadır (Palta ve ark., 2004).

Kuraklık Stresine Karşı Bitkilere Yapılabilecek Uygulamalar

Bitki Büyüme Düzenleyicisi ve Ozmotik Koruyucuların Uygulanması

Çeşitli bitki büyüme düzenleyicileri ve bazı ozmotik koruyucuların dışardan uygulanması örneğin sitokinin, absisik asit, prolin, glisin betain, poliamin ve salisilik asit buğdayda kuraklık toleransını artırmada önemli bir potansiyele sahiptir (Travaglia ve ark., 2007). Buğdayda dışarıdan uygulanan kinetin bayrak yaprağının klorofil içeriğini artırmaktadır (Yang ve ark., 2003). Dışarıdan uygulanan sodyum nitroprusit tane dolum süresince buğdayda kuraklık stresine dayanıklılığı antioksidan enzim aktivitesi desteği ve PSII'de önemli gen

transkripsiyonlarının korunması ile sağlamaktadır. Terminal kuraklık stresi koşullarında buğday bayrak yaprağına dışardan glisin betain uygulaması, stoma iletkenliğini artırarak daha yüksek net fotosentez oranı vermektedir. Yapraktan glisin betain uygulanan bitkiler daha yüksek PSII fotokimyasal etkinliğe sahip olup daha az oksidatif zarar gözlenebilmektedir (Ma ve ark., 2006). Dışardan glisin betain uygulaması verimi iyileştirmek yoluyla buğdayda fotosentez mekanizmasını korumaktadır (Sing ve Usha, 2003). Salisilik ait uygulaması kurak koşullarda buğdayın dayanıklılığını artırmaktadır. Buğdayda salisilik asit ile muamele strese dayalı inhibisyonu azaltarak indol asetik asit ve sitokinin içeriğinde azalmayı engellemektedir (Sakhabutdinova ve ark., 2003). Terminal kuraklık stresi buğday verimini azaltmaktadır. Tozlanma döneminde dışardan absisik asit uygulaması daha sonra gelişmekte olan taneye taşınacak olan suda çözünabilir karbonhidratları iyileştirmektedir (Travaglia ve ark., 2007).

Kuraklığa maruz kalan buğday bitkilerine kökten askorbik asit uygulaması, kuraklık stresinin olumsuz etkileri ile başa çıkabilmek için etkili bir yoldur. Askorbik asit ile muamele edilen bitkiler daha yüksek fotosentez oranı, transpirasyon ve stoma iletkenliği göstermektedir (Malik ve Ashraf, 2012).

Büyüme düzenleyicileri bitkilerin protein ve yağ içeriğini iyileştirmekte ve büyümeyi artırmaktadır. Kuraklık bitki verim kalitesini azaltan dünyada yaygın ciddi bir problemdir. Bitki fizyolojisini, biyokimyasını her yönüyle etkilemekte ve verimi azaltmaktadır. Tozlanma döneminde meydana gelen su stresinin kanola üzerindeki etkisi vejetatif dönemdekine göre daha şiddetlidir. Salisilik asit, sitokinin, gibberellin ve absisik asit gibi bitki büyüme düzenleyicilerinin kuraklık stresine karşı bitki üzerinde iyileştirici etkileri bulunmaktadır. Salisilik asitin (Sa) bitki büyümesi, termogenesis, çiçek oluşumu, besin alımı, etilen biyosentezi, stoma hareketi, fotosentez ve enzim aktivitesinde de önemli rolü bulunmaktadır. Yapraktan Sa uygulaması, su stresinin olumsuz etkilerini ve buğdayda büyüme sürecinin iyileştirilmesinde rol oynamaktadır. Salisilik asitin ekonomik ve çevreye dost olması nedeniyle gelecekteki kuraklık ve iklim değişikliği senaryolarına karşılık, kanolanın tohum yağ içeriği ve kalitesinin iyileştirilmesinde salisilik asit kullanılabilir (Ullah ve ark., 2012).

Soyaya yapraktan R1 (çiçeklenme başlangıcında) döneminde uygulanan bitki büyüme düzenleyicileri ((absisik asit (ABA) ve brasinolid (Br)) su eksikliğinden kaynaklanan verim kayıplarını minimuma indirmektedir (Zhang ve ark., 2004).

Büyüme düzenleyicileri, stomaları kapatarak su kullanım etkinliğini artırmaktadır. Ayrıca, kök oranında artış üzerine etkili olup, antioksidan birikimine yol açmakta ve bitkileri stres koşullarına karşı korumaktadır. Kurak koşullar, bitkilerde tüm enzim aktivitesini azaltmakta, bitki büyümesinin yavaşlamasına yol açmaktadır. Stomaların kapanmasına yol açarak, CO₂ asimilasyonunun düşmesine neden olmaktadır (Baranyiova ve ark., 2014).

Kurak koşullarda rezeneye yapraktan salisilik asit uygulaması sadece su potansiyeli, nisbi nem içeriği, ozmolit, klorofil ve karatenoid içeriğini pozitif

etkilemekle kalmayıp, antioksidan enzim aktivitesini önemli bir şekilde değiştirmektedir (Askari ve Ehzanzadeh, 2015).

Hafif şiddetteki kuraklık koşullarında yetiştirilen tütün bitkilerine yapraktan glisin betain uygulaması, yaprak taze ve kuru ağırlığını, yaprak alanını önemli bir şekilde artırmaktadır. Ayrıca yaprak olgunluk zamanını da kısaltmaktadır. Kritik gelişme dönemlerinde yapılan uygulamanın etkileri oldukça önemlidir. Glisin betain kuraklığa toleransı geliştirmede önemli bir potansiyele sahiptir ve su eksikliğinin tütün yaprak gelişimi üzerindeki etkilerini azaltmaktadır (Agboma ve ark., 1997).

Glisin betain, net CO₂ asimilasyon oranı dahil çok sayıda fizyolojik oluşumu uyarmaktadır. Proteinlerin 4'lü yapısını korumakta, enzim aktivitesini sürdürmekte ve PSII'nin membran yapısını dengelemekte, membranlardaki oksidatif zararı önlemekte ve osmotik stres koşullarında antioksidatif savunma sistemini artırmaktadır. Glisin betain biyosentezinin su eksikliği koşullarında birçok bitki türünde arttığı bildirilmektedir. Yapraktan glisin betain uygulaması, ayçiçeği aken ağırlığı üzerinde kuraklık stresinin olumsuz etkilerini hafifletmekte, gaz değişim özelliklerini ve biyomas üretimini iyileştirmekte ve mısırdaki kuru madde, tane verimi ve ozmolitleri artırmaktadır. Hafif tarla stresi koşullarında, verim pamukta yapraktan glisin betain uygulaması ile %10-50'ye kadar iyileştirebilmektedir. Dışardan glisin betain uygulamasının etkinliği ise, bitki gelişim dönemi, uygulama seviyesi ve uygulama sayısına bağlı olarak değişebilmektedir (Shahbaz ve ark., 2011). Yüksek glisin betain içeriği ise kuraklığa toleransta ıslah çalışmalarında seleksiyonu hızlandırmaktadır (Naidu ve ark., 1998).

Besin Maddesi Uygulaması

Bitkilerin gelişme ve verimlerinin azalmasında en büyük tehdit kuraklık stresidir. Bitkilerin besin içeriği, çevresel tepkide önemli bir belirleyicidir. Potasyum, bitkilerde kuraklık toleransını, su dengesini sağlayarak ve translokasyonu artırarak zararlı etkileri hafifletmektedir. Bitkiler yapraktan uygulama ile besin elementlerini daha kolay almakta ve verim artışı olarak geri dönmektedir. Kuraklığın buğday gelişimi üzerindeki olumsuz etkisi, potasyum uygulaması ile azaltmakta, bitkiler potasyumu diğer organlara göndererek verim artışı gözlenebilmektedir. Ortalama buğday verimi potasyum gübrelemesi ile birlikte artmaktadır. Potasyum, ozmoregülasyon, fotosentez, transpirasyon, stomaların açılıp-kapanması ve protein sentezi gibi oluşumlarda önemli bir role sahiptir. Buğdayda her bir kritik gelişim döneminde su eksikliği büyüme ve verimi ciddi bir şekilde sınırlamaktadır. Yapraktan potasyum uygulaması tüm gelişim dönemlerinde tüm verim komponentlerini iyileştirmekte, tane dolum döneminin ise bu duruma oldukça hassas olduğu gözlenebilmektedir (Aown ve ark., 2012).

Gübre uygulaması stresle başa çıkmada yaygın bir uygulamadır. Çinko (Zn) eksikliğinin fark edilmesi Türkiye'de kuru tarım alanlarında buğday yetiştiriciliğinde verimliliği artırmaktadır. Bu durum teşhis edilemeyen ve çözümlenemeyen problemler için erken önlem alınması açısından önemlidir (Farooq ve

ark., 2014). Yeterli düzeyde azot uygulamasının remobilizasyonu iyileştirdiği, fotosentez kayıplarını telafi ettiği ve kurak koşullarda tane dolum dönemini kısaltması nedeniyle tane dolum oranını artırdığı gözlenmektedir. Bazı araştırmacılar kurak koşullarda yapraktan çinko ve bor uygulamasının tane verimini artırdığını bildirmektedirler. Ayrıca sera koşullarında yapraktan çinko ve mangan uygulamasının, tane verimini sırasıyla %13 ve %10'a kadar artırdığı gözlenmektedir (Karim ve ark., 2012).

Dışarıdan kalsiyum uygulaması da geciken yaprak yaşlılığı ve endojen poliamin seviyesindeki hafiflemeden dolayı kuraklığa dayanıklılığı artırmaktadır. Silisyum buğdayda kuraklık nedeniyle oluşacak zararı iyileştirmede önemli bir etkiye sahiptir. Buğdayda kurak koşullarda silisyum uygulaması ile kontrol koşullarına göre daha iyi su içeriği ve daha fazla kuru madde birikimi gözlenmiştir. Silisyum uygulaması kurak koşullarda kütiküler transpirasyon oranını azaltarak su kayıplarını azaltmaktadır (Ma, 2004). Selenyum uygulaması da kurak koşullarda bitki su içeriğini düzenlemede önemli bir potansiyele sahiptir ve bitki dokularında su içeriğinin istenilen miktarda kalmasını sağlamaktadır. Kurak koşullar altında selenyumun koruyucu etkisine kök sisteminde su alım yeteneğinin artışı ile ulaşılmaktadır. Selenyum peroksidad aktivitesini azaltarak strese dayalı prolin birikimini engellemektedir (Kuznetsov ve ark., 2003). Birçok bitkide çiçeklenme ve tane dolum dönemi boyunca meydana gelen kuraklık, köklerden besin elementlerinin alımını engellemekte ve bu durum, tahıl tanelerinde düşük mikro besin elementi içeriği ve verim kayıplarına yol açmaktadır. Bitkilerde çinko, mangan ve bor uygulamaları kuraklık stresine dayanıklılığı artırmaktadır. Bitkilere mikro besin elementi sağlanması ve toprak nemi arasındaki ilişki iyi bilinmektedir. Bitki köklerine mikro besin elementlerinin taşınması büyük ölçüde difüzyon yoluyla gerçekleşmektedir. Toprak nemi, bitki köklerine besin elementlerinin sağlanmasında önemli bir rol oynamaktadır. Kuraklık stresinde kışık buğdaya yapraktan çinko, mangan ve bor uygulamalarının tane verimini artırdığı gözlenmektedir. Yapraktan uygulama, su kullanım etkinliği ve tanede mikro besin elementleri içeriğini artırarak, fotosentez, polen canlılığı, fertil başak sayısı ve başakta tane sayısının artmasına neden olmaktadır. Bu durum suyun kısıtlı olduğu bölgelerde özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde mikro besin elementi uygulamasını teşvik etmektedir (Malik ve Ashraf, 2012).

Kurak ve tuzlu koşullar altında evaporasyon ve mısır bitkisinin taze sürgün ve kuru sürgün ağırlığı azalmakta, yapraktan yapılan uygulamalar bitki büyümesini iyileştirmektedir. Kurak koşullar K, Ca, Mg ve P alımını azaltarak transpirasyonun düşmesine yol açmaktadır (Hu ve ark., 2008). Fakat dışarıdan yeterli düzeyde K uygulaması kışık buğdayın kuraklık zararından etkili bir şekilde korunmasını sağlamaktadır (Wei ve ark., 2013).

Tozlanma sonrası meydana gelen stres koşulları buğdayda tane dolum oranında ve BTA'da düşüşe yol açmaktadır. Yapraktan Mo uygulaması buğdayda kuraklık toleransını önemli bir şekilde artırmaktadır. Tane dolumu için önemli bir karbon kaynağı olması nedeniyle mevcut fotosentez oranı, bitki gelişiminin iki döneminde (sapa kalkma döneminin başlangıcı ve çiçeklenme dönemi) yapraktan Mo uygulamasından etkilenmektedir

(Ghafarian ve ark., 2013).

Ayçiçeği dünyada en önemli yağ bitkilerinden birisidir. Özellikle çiçeklenme döneminde meydana gelen kuraklığa oldukça hassas olduğu gözlenmektedir. Bu dönemde meydana gelen kuraklık olgunlaşma zamanı ve çiçek sayısının azalmasına yol açmakta ve dolayısıyla daha kısa büyüme süreci ile daha düşük tane verimine yol açmaktadır. Ayçiçeğine yapraktan Zn uygulaması, su eksikliğinin zararlı etkilerini azaltmakta ve kuraklığa dayanıklılığı artırmaktadır. Çiçeklenme ve tane dolum dönemi boyunca meydana gelen kuraklık stresi ve yüksek sıcaklıklar verimi azaltmaktadır. Su eksikliğinin en önemli etkilerinden birisi, çinko gibi bazı elementlerin toprakta hareketliliğinin azalması ve kök gelişiminde sınırlanmanın olmasıdır. Yapraktan Zn ve S uygulaması tohumdan çok toplam biyokütle üzerine etkilidir. Ayrıca Zn ve S uygulaması toplam klorofil, prolin içeriği ve süperoksit dismutaz enzim aktivitesini artırırken, membran stabilitesini azaltmaktadır (Zafar ve ark., 2014).

Su stresi susamda biyolojik verim ve kapsül sayısı üzerine önemli etkide bulunmakta ve azalmasına yol açmaktadır. Yapraktan demir ve sülfür uygulaması, su stresinin verim bileşenleri, tohumun besin elementleri içeriği ve büyüme üzerindeki zararlı etkilerini iyileştirmektedir (Heidari ve ark., 2011).

Mikorizal Funguslar ve Bitki Gelişimini Teşvik Eden Rizobakteriler (PGPR) ile Aşılama

Kuraklık stresi koşullarında, kışık bitkisine mikoriza ve fosforlu gübre uygulamasının uçucu yağ verimi, biyolojik verim, kök verimi ve meyve verimi üzerine önemli etkilerinin olduğu saptanmıştır. Ayrıca kurak koşullarda mikoriza uygulamasının bitki su kullanım etkinliği ve mineral madde alımına olumlu etkisinin olduğu gözlenmiştir (Sandal Erzurumlu ve Erman Kara, 2014).

Arbüsküler mikorizal funguslar (AMF), bitkilerin stres koşullarına (kuraklık, tuzluluk, ağır metal stresi) karşı direncini artırmakta, bitki hormonlarını teşvik etmekte, bitki gelişimi ve toprak kalitesi üzerine olumlu etkide bulunmaktadır. Bu nedenle, çayır-mera bitkilerinin fizyolojisi ve morfolojisi üzerinde de olumlu etkileri olduğu gözlenmektedir (Palta ve ark., 2010).

Bitki köklerindeki mikorizal funguslar kurak bölgelerde, artan mineral içeriği özellikle fosfor nedeniyle üretimi artırma potansiyeline sahiptir (Mohammad ve ark., 1995). Bitki kökleri ve mikorizal funguslar arasındaki ilişki, su ilişkilerini iyileştirerek kuraklığa daha yüksek dayanıklılığı desteklemektedir. Mikorizal funguslar simbiyotik olarak hayatını sürdürdüğü konukçusu olan buğday bitkilerinde, su ve mineral madde alımını artırarak (Al-Karaki, 1998) bitki gelişimini iyileştirmektedir (Ruiz-Lozano ve ark., 1995). Mikorizal bitkiler, topraktaki suyun hif ekstraksiyonundan (Ruiz-Lozano ve ark., 1995) ve daha iyi kök hidrolik iletkenliğinden (Auge ve Stodola, 1990) dolayı daha iyi su alımına sahiptirler. Arbüsküler mikorizal funguslar (AMF) ve kök birlikteliğinin yarı kurak alanlarda buğday verimliliği üzerine kuraklık stresinin negatif etkilerini azaltarak, büyüme, verim ve besin alımını artırma potansiyeline sahip olduğu gözlenmektedir. Bitki büyüme düzenleyicisi rhizobakterilerin uygulanması, kuraklık stresinin zararlı etkilerini verimi artırarak karşı

koyabilmektedir. Rizobiumlara ilişkin yararlı etkiler, dışardan besin takviyesine bağlı olarak kök gelişimi üzerinde ACC-deaminaz içeren rizobiumların pozitif etkilerine (Belimov ve ark., 2002) ve azalan buğday veriminin gübre uygulaması ile bir rizobium ırkının teşvik edici etkilerine bağlı olmaktadır (Shaharoon ve ark., 2008).

Endofitlerin kuraklık ve sıcaklık stresinde buğday toleransını artırma kapasitesine sahip olduğu gözlenmektedir (Hubbard ve ark., 2013). Rhizobium bakterileri ve mikorizal funguslar, soyada besin elementlerinin girişini artırmakta su stresi boyunca soyanın verim ve kalitesini artırmakta, bitkiler strese karşı dayanıklı duruma gelmekte ve verim kayıplarını önlemektedir (Amiri ve ark., 2013).

Börülcede su eksikliği nodül kütleindeki azalma ile doğrudan ilişkilidir. Nodül kütlesi (şiddetli stres sonrası) nodül yapısını etkileyebilmektedir. Orta derecedeki stres, nodül su içeriğinde ve nodül kütleindeki değişiklikler üzerinde daha fazla etkiye sahiptir. Su eksikliği koşullarında büyüme parametreleri üzerinde inokulasyonun yararlı etkileri, büyük ölçüde *Phaseolus vulgaris* L. ve *Glycine max* L. bitkilerinde gözlenmektedir (da Silva Lobato ve ark., 2013).

Toprak İşleme Uygulamaları

Tarla bitkilerinin gelişmesine etki eden faktörlerin en önemlilerinden birisi sudur. Suyun azlığı veya nemin yetersiz olması, bitki veriminde azalmalara neden olabilmektedir. Özellikle bu durum kuru tarım yapılan bölgelerde önemli sorunlardan birisidir. Ayrıca sulu tarım yapılan bölgelerde bitkilerin farklı yetiştirme dönemlerinde görülebilecek kuraklıkta verimi azaltabilmektedir. Bu gibi durumlarda çiftçilerin uyguladığı geleneksel toprak işleme sistemleri yerine alternatif toprak işleme sistemlerine yönelmeleri gerekmektedir. Çiftçilerimiz alternatif toprak işleme olarak koruyucu toprak işleme sistemlerini kullanabilirler. Çarman ve ark. (2009), çalışmalarında buğday bitkisine 4 farklı ekim yöntemini (Geleneksel toprak işleme; Kulaklı pulluk, 2 kere kazayağı + dişli tırmık, ekim makinası, Azaltılmış toprak işleme; Düşey milli freze ve ekim makinesi, Doğrudan Ekim, Herbisit uygulaması+ Doğrudan Ekim) uygulamışlardır. Araştırma sonuçları kuru tarım koşullarında buğday üretimi yapılacaksa ve özellikle yağış rejiminin düzensiz, yağış miktarının az olduğu durumlarda doğrudan ekim yönteminin uygulanması gerektiğini göstermiştir. Romero-Perezgrovas ve ark. (2014) Meksika'nın subtropik dağlık bölgelerinde kurak koşullarda yetişen mısırda uygulanan geleneksel toprak işleme sistemine alternatif bir toprak işleme sistemini denemiştir. İlk yıl kurak koşulların, koruyucu toprak işlemenin geleneksel toprak işlemeye göre verimde %26 artış sağladığı, ikinci yıl ise %19 azalış gösterdiği saptanmıştır. Ortalama kazancın da korucuyu toprak işlemenin geleneksel toprak işlemeye göre hektar başına daha fazla kazanç getirdiğini belirtmişlerdir. Hernanz ve ark. (2014) İspanya'nın yarı kurak bölgesinde, üç farklı toprak işleme sisteminin (geleneksel, minimum ve toprak işlemesiz) arpa ve buğdaydaki verime etkilerini incelemişlerdir. 29 yılda, üç farklı toprak işleme sisteminin arpa ve buğdaydaki verime etkileri arasındaki farkı istatistiki olarak önemli bulmamışlardır. Sonuçlar

yarı kurak bölgede tahıl üretimi yapan çiftçilerin son 30 yıldır geleneksel toprak işlemekten azaltılmış toprak işlemeye yöneldiğini göstermiştir.

Sonuç ve Öneriler

Kuraklık, tüm dünyada bitkisel üretimi tehdit eden çevresel bir streştir. Fakat geç dönem (tozlanma ve tane dolum dönemi boyunca) meydana gelen kuraklık bitkiler üzerinde daha etkili olmaktadır. Terminal kuraklık olarak isimlendirilen bu kuraklık bitkide morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal birçok değişime yol açmaktadır. Ayrıca tane oluşumunu, oranını, yeşil akşamlardaki yaşlanmayı hızlandırmakta, asimilat kaynaklarındaki azalma sonucu bin tane ağırlığı, tane sayısı, son olarak verim ve kaliteyi düşürmektedir. Bitkilere dışardan uygulanacak osmotik koruyucular ve besin elementi uygulaması ya da arbusküler mikorizal funguslar (AMF) ve bitki gelişimini teşvik eden rizobakteriler (PGPR) toprakta bitkinin yararlanmadığı fosforu çözerek bitkinin alabileceği forma dönüştürmekte ve bitki gelişimini teşvik eden rizobakteriler (PGPR) ile aşılama sonrası kuraklık stresinin etkileri hafiflemektedir. Ayrıca yarı kurak ve kurak bölgelerde geleneksel toprak işleme yerine koruyucu toprak işleme yöntemleri kullanılarak, toprak ve su erozyonu önlenecek, topraktaki nem daha uzun süre muhafaza edilerek üretim maliyetleri azaltılabilecektir.

Pratik uygulamada, kuraklığa karşı geliştirilen fizyolojik mekanizmalar yönünden toleranslı bitki türlerinin ve çeşitlerinin yetiştirilmesi gerekmektedir. Bitki yetiştirme döneminde gerçekleşecek stresin önceden tahmini oldukça önemlidir. Bu durumda yapılacak uygun besin elementi (azot, potasyum, mangan, çinko vb.) ve mikrobiyolojik (bitki gelişimini teşvik eden rizobakteriler) uygulamalar stresin ortadan kaldırılmasında veya hafifletilmesinde önemli rol oynamaktadır.

Kaynaklar

- Agboma PC, Peltonen-Sainio P, Hinkkanen R, Pehu E. 1997. Effect of foliar application of glycinebetaine on yield components of drought-stressed tobacco plants. *Expl Agric.*, 33:345-352.
- Aghanejad M, Mahfoozi S, Sharghi Y. 2015. Effects of Late-Season Drought Stress on some Physiological Traits. Yield and Yield Components of Wheat Genotypes Biological Forum-An International Journal, 7(1):1426-1431.
- Akbadian A, Arzani A, Salehi M, Salehi M. 2011. Evaluation of triticale genotypes for terminal drought tolerance using physiological traits. *Indian Journal of Agricultural Sciences.* 81(12):1110-1115.
- Akinci Ş, Lösel DM. 2012. Plant Water-Stress Response Mechanisms, Water Stress. Ismail Md. Mofizur Rahman (Ed.), Available from: <http://www.intechopen.com/books/water-stress/plant-water-stress-response-mechanisms> [Accessed: 11.11.2015].
- Alaei Y. 2011. The Effect of Amino Acids on Leaf Chlorophyll Content in Bread Wheat Genotypes under Drought Stress Conditions. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 10 (1): 99-101.
- Amiri M, Delkhosh B, Shirani Rad AH, Rashidi S. 2013. Effect of mycorrhiza fungi and rhizobium bacteria on agronomic traits in soybean (*Glycine max* L.), under water stress condition *Annals of Biological Research*, (2):327-33.

- Anjum, SA, Xie X, Wang L, Saleem MF, Man C, Lei W. 2011. African Journal of Agricultural Research, 6(9): 2026-2032.
- Anonim. 2015. Available from: <http://www.aganytime.com/Pages/Article.aspx?name=Drought-Effects-on-Grain-and-Pod-Fill-in-Corn-and-Soybean&fields=article&article=158> [Accessed 05.06.2015].
- Aown M, Raza S, Saleem MF, Anjum SA, Khaliq T, Wahid MA. 2012. Foliar application of potassium under water deficit conditions improved the growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). The Journal of Animal & Plant Sciences, 22(2):431-437.
- Asghari R, Ebrahimzadeh H. 2006. Drought Stress Increases the Expression of Wheat Leaf Ribulose-1,5-Bisphosphate Carboxylase/Oxygenase Protein. Iranian Journal of Science & Technology, Transaction A. 30 (A1):1-7.
- Askari E, Ehsanzadeh P. 2015. Drought stress mitigation by foliar application of salicylic acid and their interactive effects on physiological characteristics of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) genotypes. Acta Physiol Plant., 37:4.
- Auge RM, Stodola JW. 1990. An apparent increase in symplastic water contributes to greater turgor in mycorrhizal roots of droughted Rosa plants. New Phytol., 115: 285-295.
- Baranyiova I, Klem K, Kren J. 2014. Effect of exogenous application of growth regulators on the physiological parameters and the yield of winter wheat under drought stress. MendelNet, 2014. Proceedings of International PhD Students Conference, At Mendel University in Brno, Faculty of Agronomy, Czech Republic. 442-446.
- Beigzadeh S, Fatahi K, Sayedi A, Fatahi F. 2013. Study of the Effects of Late-Season Drought Stress on Yield and Yield Components of Irrigated Barley Lines within Kermanshah Province Temperate Regions. World Applied Programming, 3(6): 226-231.
- Belimov AA, Safronova VI, Mimura T. 2002. Response of spring rape to inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria containing 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase depends on nutrient status of the plant. Can. J. Microbiol., 48: 189-199.
- Bhardwaj J, Yadav SK. 2012. Comparative Study on Biochemical Parameters and Antioxidant Enzymes in a Drought and a Sensitive Variety of Horsegram (*Macrotyloma uniflorum*) under Drought Stress. American Journal of Plant Physiology, DOI: 10.3923/ajpp.2012.
- Bing Yi, Yu-fei Z, Min-yue G, Zhuang Z, Guang-dong Y, Wenjuan Xu, Rui-dong H. 2014. Effect of Drought Stress During Flowering Stage on Starch Accumulation and Starch Synthesis Enzymes in Sorghum Grains. Journal of Integrative Agriculture, 13(11): 2399-2406.
- Chutia J, Borah SP. 2012. Water Stress Effects on Leaf Growth and Chlorophyll Content but Not the Grain Yield in Traditional Rice (*Oryza sativa* Linn.) Genotypes of Assam, India II. Protein and Proline Status in Seedlings under PEG Induced Water Stress. American Journal of Plant Sciences, 3: 971-980.
- Çarman K, Demir F, Gücan A, Topal A, Soyly S, Marakoğlu T, Akgün N. 2009. Hububat ve Baklagil Tarımında Koruyucu Toprak İşleme ve Doğrudan Ekim Uygulamaları. Proje No: 105 O 492, Aralık, Konya, s:66.
- Çelik S, Ünyayar S. 2015. The Effects of Exogenous Application of Ascorbate and Glutathione on Antioxidant System in Cultivated *Cicer arietinum* and Wild Type *C. reticulatum* under Drought Stress. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 19(1): 91-97.
- da Silva Lobato AK, da Silveria JAG, da Costa RCL, de Oliveira Neto CF. 2013. Tolerance to Drought in Leguminous Plants Mediated by *Rhizobium* and *Bradyrhizobium*. Available from: <http://dx.doi.org/10.5772/54094> [Accessed 12.06.2015].
- Delfine S, Loreto F, Alvino A. 2001. Drought-stress effects on physiology, growth and biomass production of rainfed and irrigated Bell Pepper plants in the Mediterranean region. Journal of American Society of Horticultural Sciences, 126:297-304.
- Dornbos DL, Mullen RE, Shibles RE. 1989. Drought stress effects during seed fill on soybean seed germination and vigor. Crop Science, 29(2):476-480.
- Farooq M, Hussain M, Siddique KHM. 2014. Drought Stress in Wheat during Flowering and Grain-filling Periods. Critical Reviews in Plant Sciences, 33(4):331-349.
- Flexas J, Ribas-Carbó M, Bota J, Galmés J, Henkle M, Martínez-Cañellas S, Medrano H. 2006. Decreased Rubisco activity during water stress is induced by stomatal closure, not by decreased relative water content. New Phytologist., 172:73-82.
- Galmés J, Ribas-Carbó M, Medrano H, Flexas J. 2011. Rubisco activity in Mediterranean species is regulated by the chloroplastic CO₂ concentration under water stress. Journal of Experimental Botany, 62(2): 653-665.
- Ghazi N, Al-Karaki. 1998. Benefit, cost and water-use efficiency of arbuscular mycorrhizal durum wheat grown under drought stress. Mycorrhiza 8: 41-45.
- Ghafarian AH, Zarghami R, Zand B, Bayat V. 2013. Wheat Performance as Affected by foliar Application of Molybdenum (Mo) Under Drought Stress Condition. International Journal of Agronomy and Plant Production, 4 (11): 3050-3056.
- Gholamin R, Khayatnezhad M. 2011. The effect of end season drought stress on the chlorophyll content, chlorophyll fluorescence parameters and yield in maize cultivars Scientific Research and Essays, 6 (25):5351-5357.
- Grant OM. 2011. Understanding and Exploiting the Impact of Drought Stress on Plant Physiology. Abiotic Stress Responses in Plants, 89-104.
- Heidari M, Galavi M, Hassani M. 2011. Effect of sulfur and iron fertilizers on yield, yield components and nutrient uptake in sesame (*Sesamum indicum* L.) under water stress. African Journal of Biotechnology, 10 (44):8816-8822.
- Hernanz JL, Sánchez-Girón V, Navarrete L, Sánchez MJ. 2014. Long-term (1983-2012) assessment of three tillage systems on the energy use efficiency, crop production and seeding emergence in a rain fed cereal monoculture in semiarid conditions in central Spain. Field Crops Research, 166: 26-37.
- Hu Y, Burucs Z, Schmidhalter U. 2008. Effect of foliar fertilization application on the growth and mineral nutrient content of maize seedlings under drought and salinity. Soil Science and Plant Nutrition, 54, 133-141.
- Hubbard M, Germida JJ, Vujanovic V. 2013. Fungal endophytes enhance wheat heat and drought tolerance in terms of grain yield and second-generation seed viability. Journal of Applied Microbiology, 116 (1).
- Jaleel CA, Manivannan P, Wahid A, Farooq M, Al-Juburi HJ, Somasundaram R, Panneerselvam R. 2009. International Journal of Agriculture and Biology, 11 (1):100-105.
- Kanani SM, Kasraie P, Abdi H. 2013. Effects of late Season Drought Stress on Grain Yield, Protein, Proline and ABA of Bread Wheat Varieties. International Journal of Agronomy and Plant Production, 4 (11): 2943-2952.
- Karim Md. R, Zhang YQ, Zhao R-R, Chen XP, Zhang FS, Zou CQ. 2012. Alleviation of drought stress in winter wheat by late foliar application of zinc, boron, and manganese. J. Plant Nutr. Soil Sci., 175:142-151.
- Kashiwagi J, Krishnamurthy L, Gaur PM, Upadhyaya HD, Varshney RK, Tobitac S. 2013. Traits of relevance to improve yield under terminal drought stress in chickpea (*C. arietinum* L.). Field Crop Research, 145: 88-95.

- Khoshkholghsima NA, Rohollahi I. 2015. Evaluating Biochemical Response of Some Selected Perennial Grasses under Drought Stress in Iran. Hort. Environ. Biotechnol., 56(3):383-390.
- Koocheki AR, Yazdansepar A, Mahmadyorov U, Mehrvar MR. 2014. Physiological-based Selection Criteria for Terminal Drought in Wheat (*Triticum aestivum* L.). J. Agr. Sci. Tech., 16: 1043-1053.
- Koolachart R, Jogloy S, Vorasoot N, Wonghaew S, Holbrook CC, Jongrunklang N, Kesmela T, Patanotai A. 2013. Rooting traits of peanut genotypes with different yield responses to terminal drought. Field Crops Research, 149:366-378.
- Kuznetsov VV, Kholodova VP, Kuznetsov VV, Yagodin BA. 2003. Selenium regulates the water status of plants exposed to drought. Doklady Biol. Sci., 390: 266-268.
- Ma JF. 2004. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. Soil Sci. Plant Nutr., 50: 11-18.
- Ma QQ, Wang W, Li YH, Li DQ, Zou Q. 2006. Alleviation of photoinhibition in drought-stressed wheat (*Triticum aestivum*) by foliarapplied glycinebetaine. J. Plant Physiol., 163: 165-175.
- Mafakheri A, Siosemardeh A, Bahramnejad B, Struik PC, Sohrabi Y. 2010. Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. AJCS., 4(8):580-585
- Malik S, Ashraf M. 2012. Exogenous application of ascorbic acid stimulates growth and photosynthesis of wheat (*Triticum aestivum* L.) under drought. Soil Environ., 31(1):72-77.
- Marcinińska I, Czyżyło-Mysza I, Skrzypek E, Filek M, Grzesiak S, Grzesiak MT, Janowiak F, Hura T, Dziurka M, Dziurka K, Nowakowska A, Quarrie SA. 2013. Impact of osmotic stress on physiological and biochemical characteristics in drought-susceptible and drought-resistant wheat genotypes. Acta Physiol Plant, 35: 451-461.
- Mohammad M, Pan WL, Kennedy AC. 1995. Wheat responses to vesicular-arbuscular mycorrhizal fungal inoculation of soils from eroded toposequences. Soil Sci. Soc. Am. J., 59: 1086-1090.
- Naidu BP, Cameron DF, Konduri SF. 1998. Improving Drought Tolerance of Cotton by Glycinebetaine Application and Selection. Australian Agronomy Conference. 1998 9th AAC.
- Nezhadahmadi A, Prodhan ZH, Faruq G. 2013. Drought tolerance in Wheat. The Scientific World Journal, Article ID 610721, 12 pages. Available from: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/610721> [Accessed 12.06.2015].
- Palta JA, Turner NC, French RJ. 2004. The yield performance of lupin genotypes under terminal drought in a Mediterranean-type environment. Australian Journal of Agricultural Research, 55(4):449-459.
- Palta Ş, Demir S, Şengönül K, Kara Ö, Şensoy H. 2010. Arbüsküler Mikorizal Funguslar (AMF), Bitki ve Toprakla İlişkileri, Mera Islahındaki Önemleri. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 12(18):87-98.
- Pan Y, Wu LJ, Yu ZL. 2006. Effect of salt and drought stress on antioxidant enzymes activities and SOD isoenzymes of liquorice (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch). Plant Growth Regul., 49:157-165.
- Parry MAJ, Andralojc PJ, Khan S, Lea PJ, Keys A. 2002. Rubisco Activity: Effects of Drought Stress. Annals of Botany, 89: 833-839.
- Pirdashti H, Sarvestani ZT, Nematzadeh G, Ismail A. 2008. Study of water stress effects in different growth stages on yield and yield components of different rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. Pakistan Journal of Biological Sciences, 11(10):1303.
- Pouresmaiel H, Saberi MH, Fanaei H. 2013. Evaluation of Terminal Drought Stress Tolerance of *Sesamum Indicum* L. Genotypes under the Sistan Region Conditions. International Journal of Science and Engineering Investigations, 2(16):58-61.
- Rahbarian R, Khavari-Nejad R, Ganjeali A, Bagheri A, Najafi F. 2011. Drought stress effects on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and water relations in tolerant and susceptible chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica, 53/1: 47-56.
- Romero-Perezgrovas R, Verhulst N, De La Rosa D, Hern'andez V, Maertens M, Deckers J, Govaerts B. 2014. Effects of tillage and crop residue management on maize yields and net returns in the Central Mexican highlands under drought conditions. Pedosphere, 24(4): 476-486.
- Rosales MA, Ocampo E, Rodríguez-Valentín R, Olvera-Carrillo Y, Acosta-Gallegos J, Covarrubias AA. 2012. Physiological analysis of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars uncovers characteristics related to terminal drought resistance. Plant Physiology and Biochemistry, 56:24-34.
- Ruiz-Lozano JM, Azon R, Gomez M. 1995. Effects of arbuscularmycorrhizal Glomus species on drought tolerance: physiological and nutritional plant responses. Appl. Environ. Microbiol., 61: 456-460.
- Saeedipour S, Moradi F. 2011. Effect of Drought at the Post-anthesis Stage on Remobilization of Carbon Reserves and Some Physiological Changes in the Flag Leaf of Two Wheat Cultivars Differing in Drought Resistance. Journal of Agricultural Science, 3 (3):81-92.
- Sairam RK, Deshmukh PS, Saxena DC. 1998. Role of antioxidant systems in wheat cultivars tolerance to water stress. Biologia Plantarum, 41: 387-394.
- Sairam RK, Saxena DC. 2000. Oxidative stress and antioxidants in wheat cultivars: possible mechanism of water stress tolerance. J. Agron. Crop Sci., 184, 55-61.
- Sakhautdinova AR, Fatkhutdinova DR, Bezrukova MV, Shakirova FM. 2003. Salicylic acid prevents the damaging action of stress factors on wheat plants. Bulg. J. Plant Physiol., 21: 314-319.
- Samarah NH, Alqudah AM, Amayreh JA, McAndrews GM. 2009. The effect of late-terminal drought stress on yield components of four barley cultivars. J. Agronomy & Crop Science, DOI: 10. 1111/j.1439-037X.2009.00387.x
- Sandal Erzurumlu G, Erman Kara E. 2014. Mikoriza Konusunda Türkiye'de Yapılan Çalışmalar. Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi, 7 (2): 55-65.
- Sayfzadeh S, Rashidi M. 2011. Response of antioxidant enzymes activities of sugar beet to drought stress. ARPN Journal of Agricultural Biological Science, 6:1:4.
- Sepanlo N, Talebi R, Rokhzadi A, Mohammadi H. 2014. Morphological and physiological behavior in soybean (*Glycine max*) genotypes to drought stress implemented at pre- and post-anthesis stages. Acta Biologica Szegediensis, 58(2):109-113.
- Shaharoona B, Naveed M, Arshad M, Zahri ZA. 2008. Fertilizer dependent efficiency of pseudomonads for improving growth, yield, and nutrient use efficiency of wheat (*Triticum aestivum* L.). Appl. Microbiol. Biotechnol., 79: 147-155.
- Shahbaz M, Masood Y, Perveen S, Ashraf M. 2011. Is foliar-applied glycinebetaine effective in mitigating the adverse effects of drought stress on wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Applied Botany and Food Quality, 84: 192-199.
- Siddiqui, MH, Al-Khaishany MY, Al-Qutami MA, Al-Wahibi MH, Grover A, M Ali H, Al-Wahibi MS, Bukhari NA. 2015. Response of Different Genotypes of Faba Bean Plant to Drought Stress. Int. J. Mol. Sci.,16:10214-10227.
- Singh B, Usha K. 2003. Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. Plant Growth Regul., 39: 137-141.

- Travaglia C, Cohen AC, Reinoso H, Castillo C, Bottini R. 2007. Exogenous abscisic acid increases carbohydrate accumulation and redistribution to the grains in wheat grown under field conditions of soil water restriction. *J. Plant Growth Regul.*, 26: 285–289.
- Ullah F, Bano A, Nosheen A. 2012. Effects of plant growth regulators on growth and oil quality of canola (*Brassica napus* L.) under drought stress. *Pak. J. Bot.*, 44(6):1873-1880.
- Wang Y, Suo B, Zhao T, Qu X, Yuan L, Zhao X, Zhao H. 2011. Effect of nitric oxide treatment on antioxidant responses and psbA gene expression in two wheat cultivars during grain filling stage under drought stress and rewatering. *Acta Physiol. Plant.*, 33: 1923–1932.
- Wei J, Li C, Li Y, Jiang G, Cheng G, Zheng Y. 2013. Effects of External Potassium (K) Supply on Drought Tolerances of Two Contrasting Winter Wheat Cultivars. *PLoS ONE* 8(7): e69737. DOI:10.1371/journal.pone.0069737
- Yang J, Zhang J, Wang Z, Zhu Q, Liu L. 2003. Involvement of abscisic acid and cytokinins in the senescence and remobilization of carbon reserves in wheat subjected to water stress during grain filling. *Plant Cell Environ.*, 26: 1621–1631.
- Zafar S, Nasri M, Moghadam HRT, Zahedi H. 2014. Effect of zinc and sulfur foliar applications on physiological characteristics of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under water deficit stress. *International Journal of Biosciences*, 5 (12):87-96.
- Zhang M, Duan L, Zhai Z, Li J, Tian X, Wang B, He Z, Li Z. 2004. Effects of Plant Growth Regulators on Water Deficit-Induced Yield Loss in Soybean. *Australian Agronomy Conference*. 12 th AAC, 4 th ICSC.