

## **Bitki Gelişimini Teşvik Eden Bakteri Uygulamalarının Bitkilerde Kuraklığa Toleransı Arttırmadaki Etkileri**

Aysel SAMANCIOĞLU<sup>1</sup> Ertan YILDIRIM<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bingöl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, 12000, Bingöl

<sup>2</sup>Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, 25240, Erzurum

---

### **Özet**

Kültür bitkileri verimliliği sınırlayan tuzluluk, kuraklık, yüksek veya düşük sıcaklık gibi bazı çevresel streslere maruz kalmaktadırlar. Dünyada ve ülkemizde söz konusu stres faktörleri tarımsal üretimde verimliliği önemli ölçüde sınırlamaktadır. Stres koşullarıyla mücadelede geleneksel ıslah metotları, biyoteknolojik yaklaşımlar, moleküler belirteç ve transgenik teknolojilerin kullanımı ile dayanıklı tür, çeşit veya genotiplerin geliştirilmesi bitkisel üretimde en etkin çözüm yolları arasındadır. Ancak bu yöntemler genellikle zaman alıcı, pahalı ve oldukça karmaşık olabilmektedir. Son zamanlarda, stres koşullarında yetiştirilen bitkilere tolerans kazandırmada bitki gelişimini teşvik eden bakteri kullanımı bilim insanları tarafından yoğun olarak araştırılmaktadır. Bitki gelişimini teşvik eden bakterilerin azot fiksasyonu, fosforun çözünürlüğünü, su kullanım etkinliğini ve bitkisel hormon üretimini (oksin, stokinin ve gibberellin) arttırarak, besin elementlerinin bitki tarafından alınımı etkinleştirerek veya bitkide etilen seviyesinin enzimatik yolla azaltılmasıyla abiotik stres şartlarında yetiştirilen bitkilerde bitki gelişimi ve verim üzerine olumlu etki yapabildikleri tespit edilmiştir. Bu derleme çalışmasında, bitki gelişimini teşvik eden bakterilerin (PGPB, Plant Growth-Promoting Bacteria), kuraklık stresi şartlarında yetiştirilen bitkilerde bitki gelişimi ve verim üzerine etkileri ve kullanım olanakları incelenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Bakteri, Bitki gelişimi, Kuraklık Stresi, Tolerans, Stres Etileni

### **The Effects of Plant Growth Promoting Bacteria Applications on the Increase of Drought Tolerance in Plants**

#### **Abstract**

Cultured plants are often exposed to some environmental stresses such as salinity, drought, high or low temperature, which either restrict or negatively affect the productivity. These stress factors greatly limits productivity at agricultural production in the world and our country. Traditional breeding methods, biotechnological approaches, molecular marker and transgenic technologies and applied to cope with stress conditions, and development of tolerant species and genotypes are among the most efficient solutions in plant growth. However, these methods can usually be time consuming, expensive and rather complicated. Recently, scientists have intensively studied the use of plant growth promoting bacteria (PGPB) in *conferred tolerance* to plants growing under stress conditions. It was concluded that increasing N fixation of PGPB, the solubility of phosphorus, water use efficiency and phytohormone production (e.g. auxin, cytokinin or gibberellin), and activating the uptake of nutrients by plants or decreasing ethylene levels through enzymatic methods put a positive effect on growth and yield of plants growing under abiotic stress conditions. In this review, possibilities of using and the effect of PGPB on growth and crop yield of plants grown under drought stress conditions were evaluated.

**Key words:** Bacteria, Plant Growth, Drought Stress, Tolerance, Stress Ethylene

---

## Giriş

Dünya’da bitkisel üretim çevresel stresler tarafından büyük ölçüde sınırlandırılmaktadır. İklim faktörlerinin değişimi ve ekstrem iklim koşullarının artışı nedeniyle Dünya’nın bir çok bölgesinde bitkisel üretim üzerine çevresel stres faktörlerinin olumsuz etkisinin artacağı bildirilmektedir (Denby ve Gehring, 2005). Kuraklık, tuzluluk, yüksek sıcaklık, düşük sıcaklık, su baskını, radyasyon, kirletici maddeler, oksidatif stres, rüzgâr, toprağın besin elementlerinden yoksun olması gibi abiyotik stres faktörleri bitkilerin büyümesini, gelişimini ve üretkenliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu gibi çevresel stres faktörleri arasında tarımsal verimliliği etkileyen en önemli problemlerden biri kuraklık stresidir. Küresel ısınma ve kuraklık nedeniyle önemi gittikçe artan su kaynaklarının etkin kullanımı, suyun en fazla tüketildiği alan olan tarımda da kendini yeni teknolojilerin ve yöntemlerin kullanımıyla göstermektedir. Türkiye’de mevcut su kaynaklarının % 75’i tarımda kullanılmaktadır. Bu durum gelecekte nüfus artışı nedeniyle temiz su kaynaklarına olan talebi daha da arttıracaktır. Tarımda su yönetimi konusu son yıllarda giderek artan önemle üzerinde durulan konulardan biri haline gelmiştir. Dünya’da, özellikle bitkisel üretimi önemli ölçüde sınırlayan kuraklık stresinin 2050 yıllarında ekilebilir tarımsal alanları için ciddi sorunlar oluşturabileceği tahmin edilmekte (Vinocur ve Altman, 2005) ve bu durumun tarımsal üretimi olumsuz etkileyeceğini öngörmektedir (Wu ve Wang, 2000; Kijne, 2006). Dünya tarımının beşte ikisinin kurak alanlarda yapıldığı düşünüldüğünde bitkisel üretimde verim ve kalite üzerine kuraklık stresinin olumsuz etkisi son derece önemli bulunmaktadır (Maggio ve ark., 2005). Bu durum, özellikle stres koşullarının yaygın olarak görüldüğü yarı kurak bölgelerde bitkisel üretimi sınırlamakta, üretim ve dolayısıyla tüketimdeki yetersizlik, beslenme ve sağlık problemlerine yol açmaktadır (Dalal ve ark., 2006). Ülkemizde ve Dünyada kuraklık stresinin bitkiler üzerindeki olumsuz etkisinin

azaltılmasında kısa zamanda ve kolay uygulanabilir, maliyeti düşük çözüm yollarının bulunması hedeflenmektedir. Stres şartlarında bitki yetiştiriciliğinde en etkin yollardan biri dayanıklı/toleranslı çeşitlerin kullanılmasıdır. Ancak, kuraklık gibi abiyotik stres koşullarına toleranslı genotip/çeşitlerin elde edilmesi karmaşık, zor ve zaman alıcı yöntemlerdir. Bunun için son zamanlarda kurak koşullarda bitkisel üretimi ve verimliliği artırma amacıyla bitki gelişimini teşvik eden bakteri uygulamalarının kullanım olanakları yoğun bir şekilde araştırılmaktadır (Marulanda ve ark., 2009; Naveed ve ark., 2014). Çeşitli araştırmalarda bitki gelişimini teşvik eden bakteri uygulamalarının bitkilerde kuraklık stresine karşı tolerans kazandırmada etkili olabileceği bildirilmektedir (Coleman-Derr ve Tringe, 2014; Naveed ve ark., 2014; Sarma ve Saikia, 2014).

Bitki gelişimini teşvik eden bakteriler (PGPB) genelde bitkinin kök bölgesi yakınlarında ya da kök bölgesiyle doğrudan bağlantılı olarak kolonize olmuşlardır. Daha çok *Acetobacter*, *Acinetobacter*, *Achromobacter*, *Aereobacter*, *Agrobacterium*, *Alcaligenes*, *Artrobacter*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Clostridium*, *Enterobacter*, *Erwinia*, *Flavobacterium*, *Klebsiella*, *Micrococcus*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Serratia* ve *Xanthomonas* cinslerine ait bakteri gurupları strese tolaransta etkin rol oynamaktadırlar (Çakmakçı, 2005). Bu gibi bakteri gruplarının bitkilere farklı uygulama metotları kullanılarak uygulanması ile bitki ve bakteri arasında karşılıklı bir etkileşim oluşturmaktadır. Özellikle bitki kök bölgesinin % 7-15 gibi bir kısmını teşkil eden rizosfer bölgesinde yaşayan bakteriler (Pinton ve ark., 2001) bu bölgede salgılanan çeşitli aminoasit ve şekerleri zengin enerji ve besin kaynağı olarak kullanmakta ve bu bölgeden sızan Karbon (C) ve Azot (N) kaynaklarından faydalanmaktadır. Bitkide göstermiş oldukları bu gibi etkileşimler, bitki rizosfer bölgesinde rekabetçi bir ortam oluşturarak bitki gelişimini uyarmakta, ayrıca biyokontrol sağlayarak faydalı bir etki göstermektedir (Bhattacharya ve Jha, 2012).

Kurak şartlarda yetiştirilen bitkilerde PGPB uygulamalarının bitkide morfolojik, fizyolojik ve hücresele düzeyde etki etmesi ile kuraklık stresine toleransı arttırdığı bildirilmektedir (Saravanakumar ve ark., 2011; Vardharajula ve ark., 2011; Kasim ve ark., 2013). Bu derlemede günümüzde kullanımı giderek artan PGPB uygulamalarının kurak şartlarda yetiştirilen bitkilerde etki mekanizmaları ve kullanım olanakları incelenmiştir.

#### **PGPB uygulamalarının bitki antioksidan enzimleri üzerine etkisi**

Bitkilerde kuraklık stresine karşı toleransın artırılmasında antioksidan enzim aktivitesi önemli rol oynamaktadır. Bu durum özellikle stres şartlarında artan serbest radikallerin olumsuz etkisinin azaltılması ile sağlanabilmektedir. Son zamanlarda yapılan araştırmalarda kurak şartların sık görüldüğü bölgelerde giderek yaygınlaşan PGPB uygulamaları ile stresin olumsuz etkisine karşı antioksidan enzim aktivitesindeki artış ile toleransın sağlanabileceği bildirilmektedir (Sarma ve Saikia, 2014). Bu mekanizmanın oluşmasında glutatyon redüktaz ve glutatyon S-transferaz enzimlerinin önemli rol oynadığı bildirilmektedir (Gong ve ark., 2005). Özellikle serbest radikaller tarafından bitki hücrelerindeki DNA ve membran zararlanmalarının katalaz, peroksidaz ve süperoksit dismutaz gibi antioksidan enzim aktivitelerindeki artışı ile azaldığı gözlemlenmiştir (Scandalios, 1994). Kuraklık stresine maruz bırakılan marulda *Pseudomonas mendocina* uygulaması ile bitkide antioksidan enzim seviyesinin artarak strese karşı toleransın artırıldığı bildirilmiştir (Kohler ve ark., 2008). Kurak şartlarda yetiştirilen ıspanakta PGPB uygulamasının yapraklardaki antioksidan enzim aktivitesini arttırdığı tespit edilmiştir (Çakmakçı ve ark., 2007). Benzer şekilde maş fasulyesinde bitki gelişimini arttıran *Pseudomonas aeruginosa* GGRJ21 irkinin uygulanması ile katalaz, süperoksit dismutaz ve peroksidaz aktivitelerinin arttığı ve bu durumun strese karşı toleransın artmasında katkısı olabileceği bildirilmiştir (Sarma ve Saikia, 2014).

Yapılmış birçok çalışma da kuraklık stresine maruz bırakılan bitkilerde PGPB uygulamalarının serbest radikallere karşı antioksidan enzim aktivitesini artırarak tolerans geliştirilebildiğini göstermektedir (Armada ve ark., 2014; Naveed ve ark., 2014; Sarma ve Saikia, 2014).

#### **PGPB uygulamalarının bitki ozmoprotektan sentezi üzerine etkisi**

Bitkilerde kurak çevre koşulların meydana getirdiği olumsuz etkinin azaltılmasında bitkiler tarafından geliştirilen birtakım tolerans mekanizmalarının etkili olduğu görülmektedir. Bu mekanizmalardan biri de bitkilerin bazı organik madde veya bileşikler fazla miktarda üreterek stres faktörlerine karşı koruma sağlanmış olmasıdır. Bu tolerans mekanizmalarının oluşmasında glutamat, glutamin, prolin, alanin gibi aminoasitler; sükröz, trihaloz, poliglikosil granülleri ile glisinbetain gibi dörtlü aminleri içeren ozmolitler dikkat çekici olmaktadır (Crowe ve Crowe, 1992). Strese karşı sentezlenen bu gibi ozmolitler, hücreleri veya dokuları su kaybına (desikkasyon) karşı koruduğundan ozmotik koruyucu (ozmoprotektan) olarak isimlendirilmektedir (Ashraf ve Foolad, 2007). Yapılan çalışmalarda PGPB uygulamalarının bitkide prolin birikimini arttırdığı rapor edilmiştir (Chakraborty ve ark., 2013). Benzer çalışmalarda kurak şartlarda yetiştirilen pirinç bitkisine uygulanan PGPB ile kök büyümesi ve saçak kök oluşumunun teşvik edildiği ve bu etkinin prolin, glisinbetain gibi ozmolitlerin birikiminden kaynaklanabileceği ileri sürülmüştür (Yuwono ve ark., 2005). Kuraklık stresini şartlarında PGPB uygulamaları prolin sentezini arttırmakta; ayrıca bitkilerin su durumunu koruyarak membranlardaki parçalanma ve zararlanmanın azalmasına katkıda bulunmaktadır (Ansary ve ark., 2012; Chakraborty ve ark., 2013; Sarma ve Saikia, 2014). Maş fasulyesi tohumlarına inoküle edilen PGPB uygulaması ile kurak şartların bitki gelişimi üzerine olan olumsuz etkisi prolin birikiminin artması ile azalmıştır (Sarma ve Saikia, 2014). Su stresine maruz bırakılan buğday bitkisine inoküle edilen PGPB

uygulamaları ile prolin miktarının arttığı ve bu durumun bitkinin strese karşı tolerans geliştirebilmesine katkıda bulunduğu ileri sürülmektedir (Chakraborty ve ark., 2013).

#### **PGPB uygulamalarının bitkide hormon ve ACC (1-aminocyclopropane-1-carboxylate) deaminaz enzim aktivitesi üzerine etkisi**

##### *Hormon aktivitesi üzerine etkisi*

Bitkiler, vejetatif ve generatif gelişimlerini devam ettirebilmeleri için suya gereksinim duyarlar (McCollum, 1992). Kurak şartlarda yetiştirilen bitkilerde PGPB uygulamaları ile birtakım fiziksel ve biyokimyasal değişiklikler görülmektedir (Yang ve ark., 2009). Bu değişikliklerden birisi de içsel hormon (*indol-3-asetik asit IAA*, gibberellik asit GA ve *absisik asit ABA*) seviyesindeki değişikliklerdir (Glick, 1995; Patten ve Glick, 1996). Kuraklık stresi ile birlikte yapraklarda bulunan stoma açıklıklarında azalma meydana gelmektedir (Decoteau, 2000). Stres sonucu bitkide meydana gelen bu değişim içsel sitokinin düzeyinin azalması ve ABA seviyesinin artması ile ilişkilidir. Bu durum stokininlerin ABA ile ortak biyosentetik kökene sahip olmasından kaynaklanan zıt (antagonist) bir ilişki olarak düşünülmektedir (Cowan ve ark., 1999). Yapılan bir çalışmada, kurak şartlarda yetiştirilen mısır bitkisinde ABA seviyesinde yükselme, oksin, gibberellin ve sitokinin seviyelerinde ise azalma olduğu; ancak PGPB uygulamaları ile bu değişimin tersi yönde seyrettiği görülmüştür (Ansary ve ark., 2012). PGPB'lerin abiyotik streslere karşı tolerans sağlamada bitkilerde meydana getirdiği fiziksel ve biyokimyasal değişimler için "Uyarılmış sistemik tolerans" terimi (IST-Induced Systemic Tolerance) önerilmiştir (Sandhya ve ark., 2010). Kurak ya da yarı-kurak koşullarda yetiştirilen bitkilerde PGPB inokulasyonu ile kuraklığa tolerans ve su kullanım etkinliğinin geliştirilebileceği rapor edilmiştir (Heidari ve Golpayegani, 2012; Gururani ve ark., 2013; Marcinska ve ark., 2013). Bu durumun bakterilerin IAA üreterek bitkilerde kök gelişimini arttırmasından kaynaklanabileceğini bildirmişlerdir (Marulanda ve ark., 2009). Benzer şekilde

marulda kurak şartların olumsuz etkisinin *P. mendocina* uygulaması ile azaltıldığı, bu durumun bitki kök gelişimindeki artış dolayısıyla su ve besin alımındaki kolaylığı sağlayarak geliştirildiği bildirilmiştir (Kohler ve ark., 2008). Su stresine maruz bırakılan maş fasulyesinde ise kuraklığa toleranslı *P. aeruginosa* GGRJ21 uygulaması ile bitkide IAA seviyesinin arttığı bildirilmiştir (Sarma ve Saikia, 2014). PGPB uygulaması, sitokinin ve IAA seviyelerini arttırıp, stress ile birlikte geliştirilen tolerans mekanizmasının oluşumunda etkili olabilmektedir.

##### *ACC deaminaz enzim aktivitesi üzerine etkisi*

Kuraklık gibi abiyotik stres koşullarında bitkide etilen hormonu aktif rol oynamaktadır. Stres şartlarında sentezi artan bu hormon 'stres hormonu' olarak isimlendirilmekte ve bitkilerde genellikle bitki gelişimini olumsuz etkileyen birtakım değişikliklere neden olmaktadır. Bakteriler bazı enzimleri etkileyerek bitkilerde moleküler düzeyde bazı fizyolojik değişikliklere neden olmaktadır. Bu enzimler içinde Aminociklopropan karboksilat (ACC) deaminaze, bitki etilen hormonunun ayarlanması ile bitki büyüme ve gelişimini değiştirmede önemli rol oynamaktadır. ACCD enzimi üreten bitki gelişimini teşvik eden bakteriler, özellikle farklı çevresel stres koşullarını takiben bitki etilen düzeyini azaltarak bitki büyüme ve gelişmesine olumlu katkı sağlamaktadır. Toprak bakterilerinde belirlenen bu enzimin bitki-bakteri birlikteliğinde önemli rol oynadığı ileri sürülmektedir.

Bu enzim yoluyla kuraklık stresi altında bitkilerde ERD15 geni ifadesi artmakta ve stres etileni azalmaktadır (Ansary ve ark., 2012). Birçok araştırmacı kurak şartlarda PGPB uygulamalarının ACC (1-aminocyclopropane-1-carboxylate) deaminaz enzimi ile bitkide kök gelişimini arttırabildiğini görmüşlerdir (Jacobson ve ark., 1994; Glick ve ark., 2007). Kuraklık stresinin olumsuz etkilerine karşı bitkilerde kök gelişimi üzerine oksin ile etilen arasındaki zıt etkileşim, strese karşı toleransta farklı etkiler oluşturabilmektedir (Ansary ve ark., 2012). Sadeghi ve ark., (2012) kuraklık stresine karşı toleransı yüksek olan

*Streptomyces*'in IAA (Aldesuquy ve ark., 1998) ve siderofor (Tokala ve ark., 2002) üretimini arttırdığı böylece bitkinin strese karşı tolerans mekanizmasını geliştirdiğini bildirmişlerdir.

Kuraklık stresi sırasında bakteri uygulamalarının farklı bitki türlerinde toleransı arttırdığı yapılmış araştırmalarda bildirilmektedir. Kuraklığa maruz bırakılmış buğdayda, PGPB uygulamalarının bitkide ACC deaminaz enzim aktivitesi vasıtasıyla etilenin bitki gelişimini engelleyici etkisini azalttığı bildirilmiştir (Mayak ve ark., 2004; Zahir ve ark., 2008; Ansary ve ark., 2012). *Achromobacter piechadui* ARV8'in yetiştirme ortamına ilavesi ile domates (*Solanum lycopersicum* L.) ve biber (*Capsicum annuum* L.)'de kuraklığın bitki büyümesine olan olumsuz etkisinin ACC deaminaz enzimi aracılığı ile azaldığı ayrıca bitki taze ve kuru ağırlığının kontrole göre arttığı tespit edilmiştir (Mayak ve ark., 2004). Benzer bir çalışmada, sulanmış ve kurak şartlarda yetiştirilen bezelyede PGPB uygulanmış bitkilerin kök ve gövde ağırlığı artışının bakteri uygulanmayan bitkilere göre daha fazla olduğu, yaprak alanı ve transpirasyon üzerinde de dikkate değer şekilde etki gösterdiği bildirilmiştir (Dodd ve ark., 2004). Başka bir çalışmada ise su stresine maruz bırakılan *P. aeruginosa* GGRJ21 bakterisi ile inoküle edilmiş maş fasulyesinde ACC deaminaz enzim aktivitesinin arttığı, bununla birlikte bitkide % 227 daha fazla kök uzamasının gerçekleştiği görülmüştür (Sarma ve Saikia, 2014). Bitkilerde özellikle etilendeki azalmaya bağlı olarak daha fazla kök geliştiği ve strese karşı toleransın arttığı bildirilmiştir (Burd ve ark., 2000; Safranova ve ark., 2006). Ayrıca, bitkilerde kurak koşullarda PGPB aracılığı ile ACC deaminaz enzim aktivitesinin köklerdeki ACC'yi  $\alpha$ -ketobütrat ve amonyuma dönüştürmesine yardımcı olduğu (Honma ve Shimomura, 1978; Glick, 2005) ve bitki için bu şekilde azot (N) ve karbon (C) kaynağını temin ettiği gözlemlenmiştir.

#### **PGPB uygulamalarının bitkide ekstraselüler polimerik maddelerin üretimi üzerine etkisi**

Kuraklık stresinin oluşturabileceği zararın önlenmesinde veya azaltılmasında bitkilerde

bazı kompleks ekstraselüler polimerik maddelerin üretilmesinin (EPS, Extracellular Polymeric Substances) etkili olabileceği bilinmektedir. Araştırmalar, PGPB uygulamaları ile bitki kök yüzeyinde biyofilm tabakasının oluştuğunu bildirmektedirler (Potts, 1994). Yapılan bir araştırmada kurak şartlarda yetiştirilen ayçiçeği fidelerine PGPB uygulamaları ile bitki kök yüzeyinde biyofilm tabakasının oluştuğu gözlemlenmiştir (Sandhya ve ark., 2009). Bitkilerde bu durum ile organik karbon kaynaklarının düzenlenmesi ve bitki su tutma kapasitesinin artırılmasına bağlı olarak su stresine karşı koruma sağlanılabilmektedir (Chenu ve Roberson, 1996). Yapılan araştırmalarda PGPB uygulamaları ile yetiştirme ortamında daha iyi bir toprak yapısının oluştuğu bildirilmiştir (Sandhya ve ark., 2009).

#### **Sonuç**

Kuraklık stresi gibi olumsuz çevre koşullarının yaşandığı yerlerde yetiştirilen bitkilerde stres faktörlerinin bitkisel verimliliği ve ürün çeşitliliğini olumsuz etkilediği gözlemlenmektedir. Bu gibi stres faktörleri tarımsal endüstrinin devamlılığını tehlikeye atmaktadır. Öyle ki, kurak şartların neden olduğu zararlardan dolayı insan beslenmesi ve sağlığı açısından önemli rol oynayan bitkilerde her yıl önemli miktarda kayıplar görülmektedir. Bu koşullara maruz kalan bitki yetiştiriciliği için en etkin çözüm yollarından biri çeşitli ıslah metotları yardımıyla dayanıklı genotipler geliştirmektir. Fakat son yıllarda, hiçbir genetik manipulasyona gerek duymadan PGPB kullanılması ile de stres koşullarında bitki yetiştiriciliğinin mümkün olduğu rapor edilmektedir. Bitkilerde bu tür bakterilerin kurak çevre şartlarında farklı metotlar kullanılarak uygulanması ile bitki gelişmesi ve verim üzerine olumsuz etkilerin azaltılabileceği belirlenmiştir.

Kuraklık stresinin olumsuz etkisi uygun bakteri uygulamaları ile bitki kök büyümesini ve saçak kök oluşumunu teşvik ederek, kompleks ekstraselüler polimerik maddeleri üreterek, prolin ve glisinbetain gibi ozmolitlerin birikimini arttırarak veya yukarıda açıklanan diğer metabolik

mekanizmalarla bitkide kuraklık stresine karşı toleransın teşvik edildiği bildirilmektedir. Aynı zamanda stres ile birlikte artan etilenin bitki gelişimini azaltıcı etkisi, ACC deaminaz bakterileri aracılığı ile etilenin öncü maddesinin aktivitesinin azaltılması ile gerçekleşmektedir. Sonuç olarak, kuraklık stresine toleransın artmasındaki faydalı etkide uygun mikroorganizma seçimi, uygulama metotları, bitki türü-çeşidi ve bitkinin yetişmekte olduğu çevre koşulları önemli görülmektedir.

#### Kaynaklar

- Aldesuquy HS, Mansour FA, Abo-Hamed SA, 1998. Effect of the culture filtrates of *Streptomyces* on growth and productivity of wheat plants. *Folia Microbiologica*, 43:465–470.
- Ansary MH, Rahmani HA, Ardakani MR, Paknejad F, Habibi D, Mafakheri S, 2012. Effect of *Pseudomonas fluorescent* on proline and phytohormonal status of maize (*Zea mays* L.) under water deficit stress. *Annals of Biological Research*, 3 (2):1054-1062.
- Armada E, Roldán A, Azcon R, 2014. Differential activity of autochthonous bacteria in controlling drought stress in native *Lavandula* and *Salvia* plants species under drought conditions. In *Natural Arid Soil. Microbial Ecology*, 67:410–420.
- Ashraf M, Foolad, MR, 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 59: 206-216.
- Bhattacharyya PN, Jha DK, 2012. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28: 1327–1350.
- Burd GI, Dixon DG, Glick BR, 2000. Plant growth-promoting bacteria that decrease heavy metal toxicity in plants. *Canadian Journal of Microbiology*, 463: 237–235.
- Chakraborty U, Chakraborty BN, Chakraborty AP, Dey PL, 2013. Water stress amelioration and plant growth promotion in wheat plants by osmotic stress tolerant bacteria. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 29:789–803.
- Chenu C, Roberson EB, 1996. Diffusion of glucose in microbial extracellular polysaccharide as affected by water potential. *Soil Biology & Biochemistry*, 28: 877–884.
- Coleman-Derr D, Tringe S, 2014. Building the crops of tomorrow: advantages of symbiont-based approaches to improving abiotic stress tolerance. *Frontiers in Microbiology*, 5:283, 6s.
- Cowan AK, Cairns ALP, Bartels-Rahm B, 1999. Regulation of abscisic acid metabolism: towards a metabolic basis for abscisic acid-cytokinin antagonism. *Journal of Experimental Botany*, 50: 595–603.
- Crowe JH, Crowe LM, 1992. Membrane integrity in anhydrobiotic organisms: toward a mechanism for stabilizing dry cells. In: Somero GN, Osmond CB, Bolis CL (Eds) *Water and life*, 1st ed. Springer, Berlin, pp. 87–103.
- Çakmakçı R, 2005. Bitki gelişimini teşvik eden rizobakterilerin tarımda kullanımı. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 36:1, 97-107.
- Çakmakçı R, Erat M, Erdoğan Ü, Dönmez F, 2007. The influence of plant growth-promoting rhizobacteria on growth and enzyme activities in wheat and spinach plants. *Journal of Plant Nutrition and Soilsience*, 170: 288-295.
- Dalal M, Dani RG, Kumar PA, 2006. Current trends in the genetic engineering of vegetable crops. *Scientia Horticulturae*, 107: 215–225.
- Decoteau DR, 2000. *Vegetable Crops*. Prentice-Hall Inc. New Jersey, USA. pp. 464.
- Denby K, Gehring C, 2005. Engineering drought and salinity tolerance in plants: lessons from genome-wide expression profiling in arabidopsis. *Trends in Biotechnology*, 23:11, 547-552.
- Dodd IC, Belimov AA, Sobeih WY, Safronova VI, Grierson D, Davies WJ, 2004. Will modifying plant ethylene status improve plant productivity in water-limited environments?. *4th International Crop*

- Science Congress, Brisbane, Australia, 26 September - 1 October. (Ed: Fischer T, Turner N, Angus J, McIntyre L, Robertson M, Borrell A, Lloyd A) The Regional Institute Ltd., Gosford, NSW, Australia.
- Glick BR, 1995. The enhancement of plant growth by free-living bacteria. *Canadian Journal of Microbiology*, 41: 109-117.
- Glick BR, 2005. Modulation of plant ethylene levels by the bacterial enzyme ACC deaminase. *FEMS Microbiology Letters*, 251: 1-7.
- Glick BR, Todorovic B, Czarny J, Cheng Z, Duan J, McConkey B, 2007. Promotion of plant growth by bacterial ACC deaminase. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 26: 227-242.
- Gong HJ, Zhu XY, Chen KM, Wang SM, Zhang CL, 2005. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. *Plant Science*, 169:313-321.
- Gururani MA, Upadhyaya CP, Baskar V, Venkatesh J, Nookaraju A, Park SW, 2013. Plant growth-promoting rhizobacteria enhance abiotic stress tolerance in *Solanum tuberosum* through inducing changes in the expression of ROS-scavenging enzymes and improved photosynthetic performance. *Journal of Plant Growth Regulation*, 32:245-258.
- Heidari M, Golpayegani A, 2012. Effects of water stress and inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on antioxidant status and photosynthetic pigments in basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 11:57-61.
- Honma M, Shimomura T, 1978. Metabolism of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid. *Agricultural and Biological Chemistry*, 42: 1825-1831.
- Jacobson CB, Pasternak JJ, Glick BR, 1994. Partial purification and characterization of ACC deaminase from the plant growth-promoting rhizobacterium *Pseudomonas putida* GR12-2, *Canadian Journal of Microbiology*, 40:1019-1025.
- Kasim WA, Osman ME, Omar MN, Abd El-Daim IA Meijer B, 2013. Control of drought stress in wheat using plant-growth-promoting bacteria. *Journal of Plant Growth Regulation*, 32:122-130.
- Kijne JW, 2006. Abiotic stress and water scarcity: identifying and resolving conflicts from plant level to global level. *Field Crops Research*, 97: 3-18.
- Kohler J, Hernández JA, Fuensanta Caravaca F, Roldán A, 2008. Plant-growth-promoting rhizobacteria and arbuscular mycorrhizal fungi modify alleviation biochemical mechanisms in water-stressed plants. *Functional Plant Biology: FPB*, 35: 141-151.
- Maggio A, De-Pascale S, Ruggiero C, Barbieri G, 2005. Physiological response of field-grown cabbage to salinity and drought stress. *European Journal of Agronomy*, 23: 57-67.
- Marcinska I, Czyczyło-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 physiologiae plantarum*, 35:451-461.
- Marulanda A, Barea JM, Azco'n R, 2009. Stimulation of plant growth and drought tolerance by native microorganisms (AM Fungi and Bacteria) from dry environments: mechanisms related to bacterial effectiveness. *Journal of Plant Growth Regulation*, 28:115-124
- Mayak S, Tirosch T, Glick BR, 2004. Plant Growth-promoting bacteria that confer resistance to water stress in tomatoes and pepper. *Plant Science*, 166: 525-530.
- McCullum JP, 1992. *Vegetable crops*. Interstate Publishers Inc. Danville Illinois, USA.
- Naveed M, Hussain MB, Zahir AZ, Mitter B, Sessitsch A, 2014. Drought stress amelioration in wheat through inoculation with *Burkholderia phytofirmans* strain PsJN. *Plant Growth Regulation*, 73:121-131.
- Patten C, Glick BR, 1996. Bacterial biosynthesis of indole-3-acetic acid.

- Canadian Journal of Microbiology, 42: 207–220.
- Pinton R, Varanini Z, Nannipieri P, 2001. The Rhizosphere as a site of biochemical interactions among soil components, plants, and microorganisms, In: Pinton, R., Varanini, Z., Nannipieri, P. (Eds.), The Rhizosphere. Marcel Dekker, Inc, New York, USA, pp. 1–18.
- Potts M, 1994. Desiccation tolerance of prokaryotes. Microbiology Reviews, 58, 755-805.
- Sadeghi A, Karimi E, Abaszadeh Dahaji P, Javid MG, Dalve Y, Askari H, 2012. Plant growth promoting activity of an auxin and siderophore producing isolate of *Streptomyces* under saline soil conditions. World Journal of Microbiology & Biotechnology, 28:1503–1509.
- Safranova VI, Stepanok VV, Engqvist GL, Alekseyev YV, Belimov AA, 2006. Root-associated bacteria containing 1-aminocyclopropane-1- carboxylate deaminase improve growth and nutrient uptake by pea genotypes cultivated in cadmium supplemented soil. Biology and Fertility of Soils, 42: 267–272.
- Sandhya V, Ali Sk. Z, Grover M, Reddy G, Venkateswarlu B, 2009. Alleviation Of Drought Stress Effects In Sunflower Seedlings By The Exopolysaccharides Producing *Pseudomonas putida* Strain GAP-P45. Biology and Fertility of Soils, 46:17–26.
- Sandhya V, Ali Sk. Z, Venkateswarlu B, Reddy G, Grover M, 2010. Effect of osmotic stress on plant growth promoting *Pseudomonas* spp. Archives of Microbiology, 192:867–876.
- Saravanakumar D, Kavino M, Raguchander T, Subbian P, Samiyappan R, 2011. Plant growth promoting bacteria enhance water stress resistance in green gram plants. Acta Physiol Plant, 33:203–209.
- Sarma RK, Saikia R, 2014. Alleviation of drought stress in mung bean by strain *Pseudomonas aeruginosa* GGRJ21 Plant Soil, 377:111–126.
- Scandalios JG, 1994. Regulation and properties of plant catalases. In: foyer ch, mullineaux pm (eds) causes of photooxidative stress and amelioration of defense systems in plants. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 275–315.
- Tokala RK, Strap JL, Jung CM, Crawford DL, Salove MH, Deobald LA, Bailey JF, Morra MJ, 2002. Novel Plant-microbe rhizosphere interaction involving *Streptomyces lydicus* WYEC108 and the pea plant (*Pisum sativum*). Applied and Environmental Microbiology, 68:2161–2171.
- Vardharajula S, Ali SZ, Grover M, Reddy G, Bandi V, 2011. Drought-tolerant plant growth promoting *Bacillus spp.*: Effect on growth, osmolytes, and antioxidant status of maize under drought stress. Journal of Plant Interactions, 6:1–14
- Vinocur B, Altman A, 2005. Recent advances in engineering plant tolerance to abiotic stress: achievements and limitations. Current Opinion in Biotechnology, 16:123–132.
- Wu D, Wang G, 2000. Interaction of CO<sub>2</sub> enrichment and drought on growth, water use, and yield of broad bean (*Vicia faba*). Environmental and Experimental Botany, 43: 131–139.
- Yang J, Kloepper JW, Ryu CM, 2009. Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress. Trends In Plant Science, 14: 1-4.
- Yuwono T, Handayani D, Soedarsono J, 2005. The role of osmotolerant rhizobacteria in rice growth different drought conditions. Australian Journal of Agricultural Research, 56: 715-721.
- Zahir ZA, Munir A, Asghar HN, Arshad M, Shaharoon B, 2008. Effectiveness of rhizobacteria containing ACC-deaminase for growth promotion of peas (*Pisum sativum*) under drought conditions. J Microbiol Biotechnol, 18:958–963