

Bitki Gelişimini Teşvik Eden Rizobakteri Uygulamalarının Farklı Sulama Seviyelerinde Yetiştirilen Lahana Fide Gelişimi, Bazı Fizyolojik ve Biyokimyasal Özelliklerin Etkisi

Aysel SAMANCIOĞLU¹, Ertan YILDIRIM², Üstün ŞAHİN³

¹Bingöl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Bingöl

²Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Erzurum

³Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Erzurum

Geliş (Received): 28.09.2015

Kabul (Accepted): 25.04.2016

ÖZET: Bu çalışmanın amacı kuraklık stresinin zarar verici etkilerini azaltmak için çeşitli sulama kısıtlamaları oluşturularak yetiştirilen lahana fidelerinin fizyolojik ve biyokimyasal gelişimlerinde bitki gelişimini arttıran rizobakterilerin (PGPR) (*Bacillus subtilis* TV-13B, *Bacillus pumilus* TV-67C ve *Bacillus megaterium* TV-6D+*Pantoea agglomerans* RK-92+*Brevibacillus choshiensis* TV-53D) faydalı etkilerini incelemektir. Bu çalışmada, seraya yerleştirilen A-sınıfı buharlaşma kabındaki buharlaşan su miktarı dikkate alınarak 4 farklı sulama seviyesi (% 100, 75, 50 ve 25) altında lahana fidelerinin kuraklık stresine tolerans mekanizması üzerine PGPR uygulamalarının etkileri belirlenmiştir. Ayrıca strese maruz kalan ve PGPR inokule edilmeyen bitkiler ile karşılaştırıldığında inokule edilen bitkilerdeki bazı deneysel verilerin büyüme ve gelişimi daha iyi arttırdığı ortaya çıkmıştır. Araştırma sonunda *Bacillus pumilus* TV-67C bakterisi ırkının içsel süperoksit dismutaz, katalaz ve peroksidadaz seviyeleri ile hormon ve amino asit birikimini hızlandırdığı fakat membran bütünlüğü ve lipid peroksidasyonunu azaltarak lahana fidelerinin kuraklık stresine toleransını arttırdığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Lahana, kuraklık stresi, bitki gelişimini arttıran rizobakteriler (PGPR), tolerans

Effect of Seedlings Development, Some Physiological and Biochemical Properties of Cabbage Seedlings Grown at Different Irrigation Levels of the Plant Growth Promoting Rhizobacteria Application

ABSTRACT: The purpose of the present study were to investigate the beneficial effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) (*Bacillus subtilis* TV-13B, *Bacillus pumilus* TV-67C and *Bacillus megaterium* TV-6D+*Pantoea agglomerans* RK-92+*Brevibacillus choshiensis* TV-53D) in extenuating the detrimental effects of drought stress in cabbage seedlings physiological and biochemical grown, creating diverse irrigation deficiencies. The present study, a pot experiment was conducted to measure the beneficial effect of PGPR on drought stress tolerance mechanisms of cabbage seedlings grown under four different irrigation levels (I1, I2, I3 and I4) which was determined considering different levels (100, 75, 50 and 25 %) of evaporated water from the diminished class-A pan. Furthermore, some experimental data exposit an increase in preferable growth and development in inoculated and stressed plants when compared with uninoculated and stressed plants. At the end of the research, *Bacillus pumilus* TV-67C strains were determined to increase drought stress tolerance in cabbage seedlings by accelerating the accumulation of inherent levels of superoxide dismutase, catalase and peroxidase also amino acid and hormone production, but decreased membrane permeability and lipid peroxidation inoculated plants under irrigation deficient.

Key Words: Cabbage, drought stress, plant growth promotion rhizobacteria (PGPR), tolerance

GİRİŞ

Bitkiler yaşamları boyunca ürün verimliliğini kısıtlayan çeşitli çevresel streslere maruz kalabilmektedirler. Bu çevresel problemlerin en önemlilerinden olan kuraklık stresi, Türkiye’de oluğu gibi dünyanın birçok bölgesinde tarımsal verimliliği sınırlandırmaktadır. Dünyada mevcut su kaynaklarının da tükenmesine bağlı olarak kuraklık stresi tarımsal üretimi güçleştirmekte, özellikle bu durum stres koşullarının yaygın olarak görüldüğü gelişmekte olan yarı kurak ya da kurak ülkelerde sebze üretimini sınırlandırmaktadır. Çeşitli abiyotik stres koşullarında olumlu sonuçlar veren bazı bakteri uygulamalarının son yıllarda yapılan çalışmalarda faydalı olacağı düşünülmektedir.

Kuraklık stresi bitki su ilişkilerini etkileyerek bitkinin birçok mekanizmasında olumsuz etkiler

oluşturmakta, bu etkilerin doğal ve faydalı bitki gelişimini arttırıcı rizobakteriler (PGPR, Plant growth-promoting rhizobacteria) ile azaltılabileceği yapılan araştırmalarda bildirilmektedir (Lim ve Kim, 2013; Yasmin ve ark., 2013; Sarma ve Saikia, 2014). Bitki gelişimi ve verim üzerine PGPR’in fosfat çözünürlüğünü, azot fiksasyonunu, su kullanım etkinliğini ve bitkisel hormon üretimini (oksin, stokinin ve gibberellin) arttırdığı (Grichko ve Glick, 2001), ayrıca demirin bitki tarafından alınımı etkinleştirdiği ve bitkide etilen seviyesinin enzimatik yolla azaltılmasıyla abiyotik stres şartlarında yetiştirilen bitkilerde olumlu etki yapabildikleri tespit edilmiştir (Glick ve ark., 2007). Bu bakterilerden bazıları *Acinetobacter*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Beijerinckia*, *Burkholderia*, *Enterobacter*, *Erwinia*, *Flavobacterium*, *Rhizobium* ve *Serratia* olarak

bildirilmiştir (Sudhakar ve ark., 2000; Karakurt ve Kotan, 2011). Yapılan araştırmalar farklı bitki türlerinde PGPR uygulamalarının olumsuz iklim şartlarında bitki gelişimi ve verim üzerine faydalı etkiler oluşturduğunu belirtmişlerdir (Liu ve ark., 2013). Su stresine karşı domates ve biber fidelerine PGPR uygulaması ile bitki gelişim ve verim parametrelerindeki artışın stresin olumsuz etkilerine karşı toleransın artmasında olumlu etkilerinin olduğunu göstermiştir (Mayak ve ark., 2004).

Bu çalışma, Doğu Anadolu bölgesinde yaygın olarak yetiştirilen lahanada kuraklık stresinin fide dönemindeki bitkilerin gelişimi ve büyümesi üzerine olumsuz etkilerini biyokimyasal düzeyde belirlemek ve bu amaçla farklı PGPR uygulamalarının kullanım olanaklarını araştırmak amacıyla yürütülmüştür.

MATERYAL ve METOT

Gelişme Şartları ve Kullanılan Bitki Çeşidi

Bu çalışma, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümüne ait seralarda yürütülmüştür. Çalışmada bitki materyali olarak baş lahanada fideleri (Sarma F₁) kullanılmıştır. Fide yetiştirme amacıyla lahanada tohumları seradaki beton bençler üzerine yerleştirilen içerisine torf doldurulmuş 695×470×65 mm ölçülere sahip 216 gözlü viyollere 1 cm derinliğe ekilerek dikim büyüklüğüne gelmesi beklenmiştir. Sağlam ve kuvvetli 3-5 yapraklı fideler 21 Mayıs tarihinde, içinde eşit oranlarda kum, sıgır gübresi (%2.4 N, 1.8 K₂O ve 2.1 P₂O₅, EC 6.3 dS m⁻¹) ve tınlı bahçe toprağı (pH 7.38, EC 1.13 dS m⁻¹, 12.2 mg kg⁻¹ N, 14.50 mg kg⁻¹ P, 1.62 mg kg⁻¹ K) karışımı bulunan 70 cm uzunluğunda, 17 cm en ve derinlikteki saksılara dikilmiştir. Çalışma 4 tekerrürlü olarak yürütülmüş ve her tekerrürde 5 bitki kullanılmıştır. Fidelerin gelişim şartları boyunca (21 Mayıs - 1 Temmuz) seradaki ortalama sıcaklık değeri 31.6±3.8°C olarak belirlenirken, ortalama nispi nem % 69.4±4.9 olarak kaydedilmiştir. Sıcaklık ve nem değerleri günlük olarak sıcaklık ve nemölçer cihazı ile ölçülmüştür. Seraya yerleştirilen A-sınıfı buharlaşma kabı vasıtasıyla toplam evaporasyon değeri belirlenmiştir. Buharlaşma kabındaki günlük azalmalar kaydedilerek toplam evaporasyon değeri 93mm olarak hesaplanmıştır.

Çalışmada Kullanılan Bakteri İzolatları

Çalışmanın uygulama konularını; K: Kontrol, B1: “*Bacillus subtilis* TV-13B bakterisi”, B2: “*Bacillus pumilus* TV-67C bakterisi” ile B3: “*Bacillus megaterium* TV-6D + *Pantoea agglomerans* RK-92 + *Brevibacillus choshiensis* TV-53D bakteri kombinasyonu” oluşturmaktadır. Kontrol bitkilerine bakteri inokule edilmemiş olup sadece sıvı taşıyıcı kullanılmıştır. Bakteri izolatları, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü mikroorganizma kültür koleksiyonundan temin edilmiştir. Kullanılan bakterilerin azot fiksasyonu, fosfat çözünürlüğü ve bitki büyüme ajanı gibi özelliklere sahip oldukları daha önce yapılan çeşitli araştırmalarda belirlenmiştir (Kotan,

1997; 1998; 2002; Kotan ve Şahin, 2002; Kotan ve ark., 2009; Daşçı ve ark., 2012).

Biyoförmülasyonların Hazırlanması ve Uygulanması

Bakteri kültürleri dondurucudan çıkarılarak Nutrient Agar (NA) besi ortamı içeren petrilere ekilerek 27 °C’de 24 saat inkübasyona bırakılmıştır. Gelişen taze kültürlerin her birisinden ayrı ayrı öze ile alınarak 250 ml’lik Nutrient Broth (NB) içeren besi ortamına aktarılmış ve üzerine bakterilerin izolat numaraları yazılmıştır. Yatay çalkalayıcı inkübatörde ayrı ayrı 24 saat geliştirilen bu kültürler sıvı taşıyıcıya 1/100 oranında inokule edilmiştir. Yine yatay çalkalayıcı inkübatörde 27 °C’de 48 saat bekletilmiştir. Litreye 10 g olacak şekilde toz şeker ilave edilerek 1 gece aralıklarla karıştırılarak hazırlanan biyoförmülasyonlar 1/30 oranında klorsuz musluk suyu ile seyreltilmiştir. Fideler ertesi gün solüsyonların hazırlandığı kaplara daldırılarak 30 dak bekletildikten sonra saksılara dikimi yapılmıştır.

Sulama Uygulamaları

Saksılarda yetiştirilen bitkiler ölçekli beherler yardımıyla düşük elektriksel iletkenliğe (0.285 dS m⁻¹) ve sodyum absorpsiyon oranına (0.47) sahip 7.42 pH aralığındaki musluk suyu ile sulanmıştır. Her bir sulamada uygulanacak sulama suyu miktarları 0.6 m çapında ve 0.25 m yükseklikteki A-sınıfı buharlaşma kabında buharlaşan su miktarı dikkate alınarak uygulanmıştır. Buharlaşma kabı serada 0.15 m yüksekliğinde bir ahşap platform üzerine yerleştirilmiştir. Buharlaşma kabındaki buharlaşan su miktarı dikkate alınarak 4 farklı sulama seviyesi (I1: %100, I2: %75, I3: %50 ve I4: %25) belirlenmiştir. Tam sulama konusu %100 olurken su kısıtı uygulanan saksılara tam sulanan saksılara verilen suyun %75, 50 ve 25’i verilmiştir. Sulama aralığı olarak “3 gün” belirlenmiştir. İlk sulama dikim ile birlikte yapılarak yalnızca ilk sulamada tüm saksıların dibinden su drene oluncaya kadar tamamen sulanmıştır. Sonraki sulamalarda, her sulamada uygulanan sulama suyu miktarı $I = Ep \times IR$ denklemi ile hesaplanmıştır. I : sulama suyu derinliği (mm), Ep : Pan’dan üç gün arayla buharlaşan su derinliği (mm) ve IR : sulama oranlarıdır. IR değerleri I1, I2, I3 ve I4 sulamaları için sırasıyla 1.0, 0.75, 0.50 ve 0.25 olarak hesaplanmıştır. Kısıtlı sulamaların yapılmaya başlanması ile birlikte toplamda 13 sulama yapılmış, I1, I2, I3 ve I4 sulamaları için verilen sulama suyu miktarları sırasıyla 82, 61.5, 41 ve 20.5 mm olarak hesaplanmıştır.

Saksılarda yetiştirilen lahanada fidelerinin mevsimsel gerçek evapotranspirasyon değeri toprak su dengesi eşitliği dikkate alınarak $ETa = I - D \pm \Delta S$ denklemine göre hesaplanmıştır (Allen ve ark., 1998). ETa : Mevsimsel gerçek evapotranspirasyon (mm), I : Sulama miktarı (mm), D : Saksı altından sızan su (mm) ve ΔS : Saksı nem içeriğinin değişimini (mm) göstermektedir. Sulama periyodu boyunca tam sulama konusunu (I1) oluşturan saksı altlarından toplam 12.9 mm su akışı

olmuş, fakat diğer sulama uygulamalarında bu akış gözlenmemiştir. Lahana fidelerinin mevsimsel gerçek evapotranspirasyon değerleri I1, I2, I3, ve I4 sulamaları için sırasıyla 76.9, 69.9, 53.6 ve 39.3 mm olarak hesaplanmıştır. Gerçek evapotranspirasyon değeri I2, I3 ve I4 sulamalarında I1 sulamasına göre % 9.1, 30.3 ve 48.9 daha düşük ölçülmüştür.

Gelişim Parametreleri

Bitkisel ölçüm parametreleri için hasat edilen bitkilerde toplam bitki yaş ve kuru ağırlığı, toplam kök yaş ve kuru ağırlığı, gövde çapı ve yaprak alanı ölçümleri yapılmıştır. Gövde çapı, bitkilerin kök boğazının hemen üzerinden kumpas ile ölçülerek mm olarak tespit edilmiştir. Toplam bitki yaş ağırlığı ve toplam kök yaş ağırlığı her bir uygulamada tekerrürü temsil eden bitkilerin ve köklerin toplam ağırlıkları alınarak g olarak tespit edilmiştir. Yaş ağırlıkları belirlenen bitki ve kökler daha sonra 65°C'de 48 saat süreyle kurutulmuştur. Bu işlemin ardından tartılarak kuru ağırlıkları g olarak hesaplanmıştır.

Klorofil Miktarı

Klorofil ölçümü, yapraktaki klorofil miktarını dolaylı olarak ölçen, taşınabilir klorofilmetre cihazı (SPAD-502, Konica Minolta Sensing, Inc., Japan) ile yapılmıştır.

Doku Elektriksel İletkenliği (EC₁/EC₂)

Doku elektriksel iletkenliği Demiral (2003)'de belirtilen metoda göre ölçülerek, hücre zarlarının geçirgenliği (zarar görme oranı) belirlenmiştir

Antioksidant Enzimlerin Ekstraksiyonu

Antioksidant enzimler Aristoy ve Toldra (1991) ve Antoine ve ark. (1999) tarafından belirtilen metoda göre ölçülmüştür. Çalışmada peroksidaz (PO), katalaz (CAT) ve süperoksit dismutaz (SOD) içerikleri hesaplanmıştır.

Hormon Analizi

Hormon içerikleri Kuraishi ve ark. (1991) ve Battal ve Tileklioğlu (2001)'tarafından açıklanan metoda göre ölçülmüş; absisik asit (ABA), salisilik asit (SA) ve gibberellik asit (GA) analizlerinin tayini yapılmıştır.

Aminoasit Analizi

Aminoasit değerleri Aristoy ve Toldra (1991), Antoine ve ark. (1999) ile Henderson ve ark. (1999) tarafından belirtilen metoda göre ölçülmüş olup, prolin, glisin ve asparajin içerikleri belirlenmiştir.

Mineral Madde Tayini

Bremner (1996) ve Mertens (2005a; 2005b)' in açıkladıkları metoda göre yapılan ölçümler ile azot (N), fosfor (P) ve potasyum (K) değerleri belirlenmiştir.

Sonuçların Değerlendirilmesi

Çalışmada elde edilen bütün veriler SAS istatistik paket programı (SAS Inst., 1997) kullanılarak analiz

edilmiştir. Elde edilen veriler, PGPR uygulamaları ve sulama seviyelerinin etkilerini karşılaştırmak için varyans analizine (ANOVA) tabi tutulmuştur. Uygulamalar arasındaki farklılıkların belirlenmesinde asgari önemli fark (LSD, $p \leq 0.05$) testi kullanılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Farklı sulama seviyelerinde yetiştirilen lahana bitkilerine uygulanan PGPR'in bitki gelişim parametreleri üzerine etkileri Çizelge 1'de verilmiştir. Tam sulama konularında yetiştirilen fidelerde hasar belirtisi görülmezken, PGPR uygulanmayan %75, 50 ve 25 sulama konularında yaprak kıvrılmaları, sararma ve nekrotik yaralanmaların başladığı yani stresten su kısıtlamalarının şiddetine göre olumsuz etkilendikleri görülmüştür. Fakat önceden yapılan PGPR uygulamaları ile kısıtlı sulanan saksılarda görsel hasarın azaldığı ve bu durumun fide gelişim parametrelerini olumlu yönde etkilediğini göstermiştir. Hasat edilen bitkilerde en fazla yaş ve kuru ağırlık, gövde çapı ve yaprak alanı artışının TV-13B bakteri uygulamasında gerçekleştiği fakat klorofil değerinde ise TV-67C uygulamasındaki artış dikkat çekmektedir.

PGPR uygulamalarının prolin, glisin, ve asparajin içeriği üzerine etkisi Şekil 1a, 1b ve 1c'dedir. Sulama kısıtlamaları ile birlikte prolin, glisin ve asparajin aminoasitlerinde belirgin artış görüldüğü, özellikle prolin birikimi %25 sulanan TV-67C uygulanmış bitkilerde %100 sulanmış kontrol bitkilerine göre 4 kat arttığı görülmüştür. Tam sulama konusunda bakteri uygulanmamış kontrol bitkilerine göre prolin birikimi TV-13B uygulanan bitkilerde 2 kat arttığı belirlenmiştir.

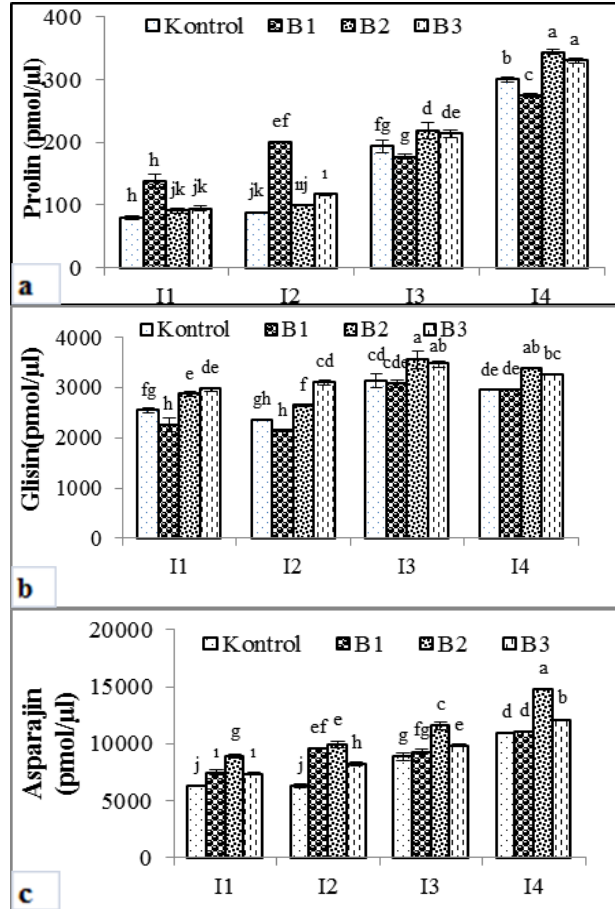
Benzer şekilde Şekil 2a, 2b ve 2c'de gösterilen CAT, PO ve SOD antioksidant enzim mekanizmasında bakteri uygulanmamış % 100 sulamalar ile karşılaştırıldığında % 25 sulanan bitkilerde en fazla artış görülmüş, özellikle CAT aktivitesinin TV-67C bakteri uygulaması ile 2 katına, PO aktivitesinin ise 2.38 katına çıktığı belirlenmiştir. Tam sulama konularına göre kısıtlı sulamalarda TV-67C uygulamasının CAT, PO ve SOD enzim mekanizmasını daha fazla arttırdığı özellikle CAT ve PO aktivitesindeki yaklaşık iki katlık artışların strese karşı geliştirilen tolerans mekanizmasında önemli etkileri olduğunu göstermiştir.

Benzer şekilde EC verilerinde de TV-13B uygulamasının en düşük değerler gösterdiği kaydedilmiştir (Çizelge 1). Hücre membran yapısındaki fosfolipit tabakasında meydana gelen zararlanmaların MDA ve EC değerlerindeki artışla ilişkilendirildiği ve bu değerlerin en fazla TV-13B uygulaması ile azaltılabildiği gözlemlenmiştir.

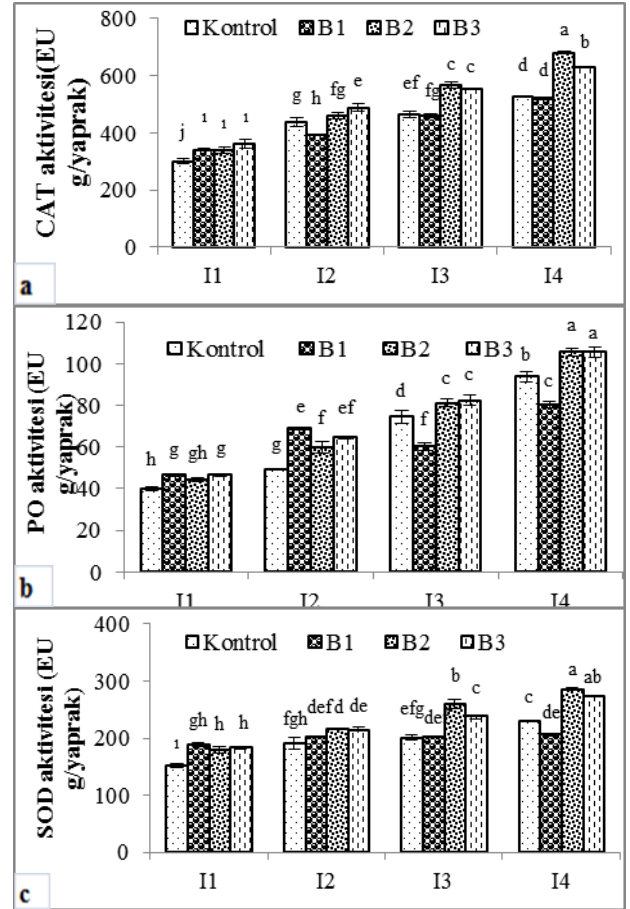
Farklı sulama seviyelerinde yetiştirilen lahana fidelerine uygulanan PGPR'in içsel GA, ABA, IAA ve SA değerleri üzerine etkileri Şekil 4a, 4b, 4c ve 4d'de verilmiştir. Tam sulama konusundaki bitkilerle %75, 50 ve 25 sulanmış bitkiler karşılaştırıldığında GA, IAA ve SA hormonlarının sulama kısıtlamaları ile orantılı bir şekilde azaldığı görülmüştür. Bu azalışın PGPR uygulamaları ile attığı, özellikle TV-67C uygulaması ile

Çizelge 1. Farklı su seviyelerinde yetiştirilen lahanaya bitkilerine uygulanan PGPR'in bitki gelişimi üzerine etkileri

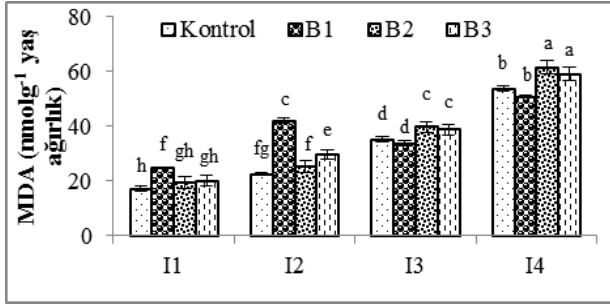
	Bitki yaş ağırlık (mg/bitki)	Kök yaş ağırlık (mg/bitki)	Bitki kuru ağırlık (mg/bitki)	Kök kuru ağırlık (mg/bitki)	Gövde çapı (mm)	Yaprak alanı (cm ²)	EC ₁ /EC ₂ (%)	Klorofil değeri	
K	I1	100.11b	8.13a	8.75b	0.8a	10.34b	89.4bc	36.44cde	58a-e
	I2	62.81de	5.45b	8.56b	0.74ab	7.45ef	58.39ef	36.46cde	57.9a-e
	I3	36.32f	3.09def	4.5d	0.49cd	6.56fg	54.62ef	38.38bcd	57.62b-e
	I4	9.7g	2.35ef	1.55e	0.27fg	4.45j	16.9i	43.86a	55.36de
	Ort.	52.23B	4.76B	5.84B	0.58A	7.20C	54.83B	38.79A	57.22B
B1	I1	124.32a	8.88a	11.18a	0.79a	9.61bc	105.88a	34.76e	55.7de
	I2	81.35c	5.36bc	9.01b	0.59bc	9.47bc	79.09cd	35.08de	54.86e
	I3	33.55f	4.85bc	4.92d	0.71ab	7.65e	44.91fg	37.22b-e	54.65e
	I4	16.83g	3.36de	2.33e	0.48cde	6.42gh	32.53gh	38.92bc	47.32f
	Ort.	64.01A	5.61A	6.86A	0.64A	8.29A	65.60A	36.49B	53.13C
B2	I1	82.46c	5.42bc	6.47c	0.42cdef	11.34a	115.44a	36.76b-e	60ab
	I2	58.26e	4.17cd	5.5cd	0.4def	7.64e	79.44cd	36.99b-e	61.4a
	I3	32.96f	2.17ef	2.26e	0.22g	6.38gh	47.13fg	38.98bc	59.07a-d
	I4	10.09g	1.86f	1.79e	0.32efg	5.25ij	20.49hi	39.89b	59.66abc
	Ort.	45.94C	3.40C	4.00C	0.34B	7.6BC	65.60A	38.15AB	60.03A
B3	I1	126.5a	8.4a	12.07a	0.8a	9.91b	103.8ab	36.19cde	59.5abc
	I2	73.86cd	5.91b	8.36b	0.68ab	8.05de	69.01de	36.72b-e	59.01a-d
	I3	42.89f	5.89b	4.97d	0.66ab	8.82cd	54.88ef	38.05b-e	56.24cde
	I4	7.31g	1.92f	1.23e	0.34defg	5.59hi	12.83i	39.23bc	55e
	Ort.	62.64A	5.53A	6.66A	0.62A	8.0AB	60.1AB	37.55AB	57.44B



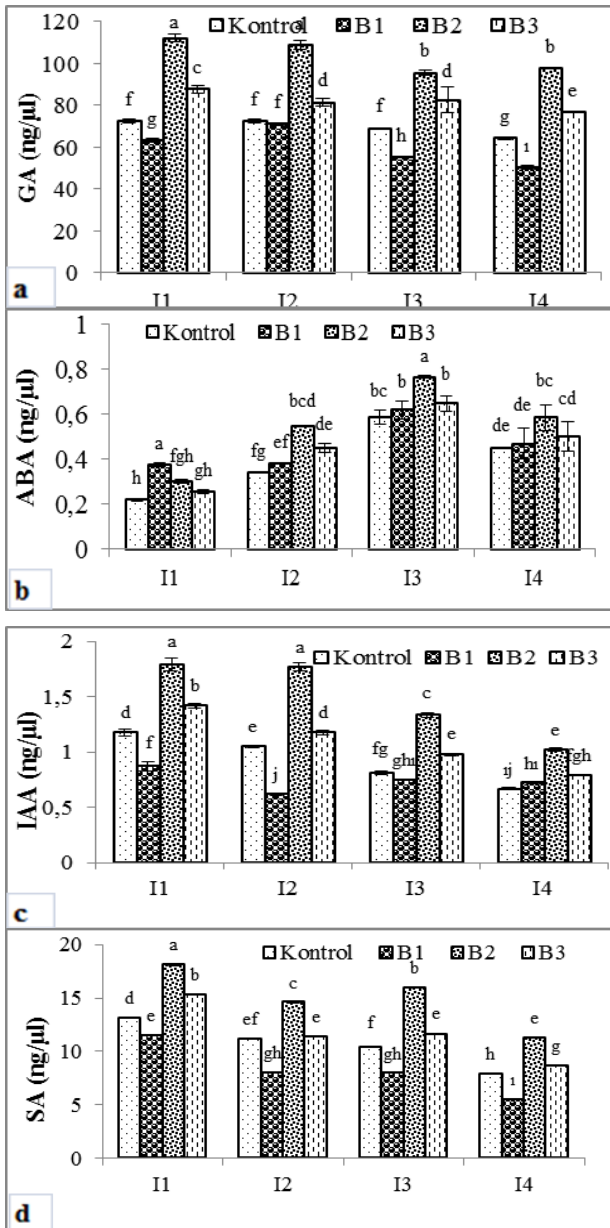
Şekil 1. Farklı sulama seviyelerinde yetiştirilen lahanaya bitkilerine uygulanan PGPR'in prolin (a) ve glisin (b), asparajin (c) değerleri üzerine etkileri



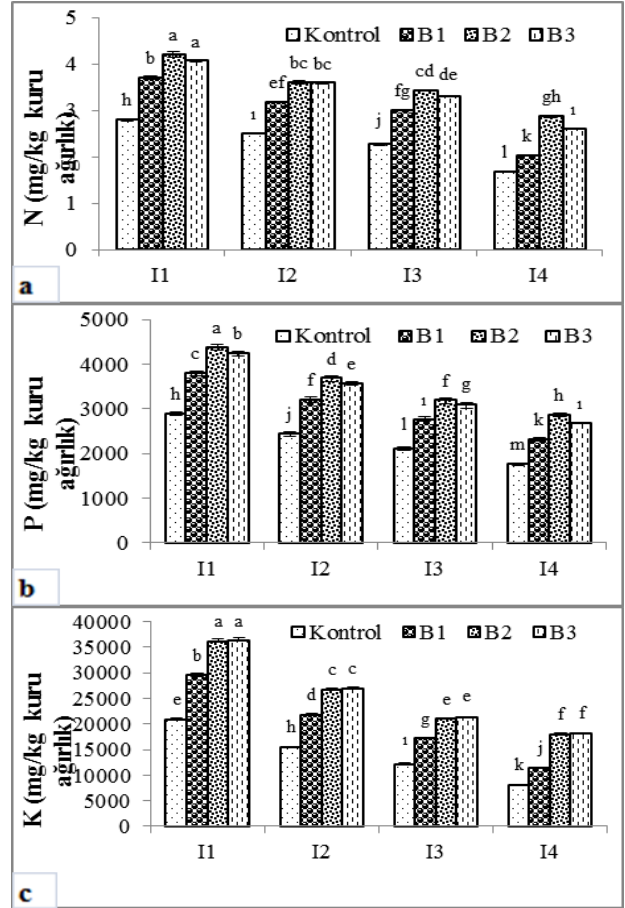
Şekil 2. Farklı sulama seviyelerinde yetiştirilen lahanaya bitkilerine uygulanan PGPR'in CAT (a), PO (b) ve SOD (c) değerleri üzerine etkileri



Şekil 3. Farklı sulama seviyelerinde yetiştirilen lahanaya bitkilerine uygulanan PGPR'in MDA değeri üzerine etkisi



Şekil 4. Farklı sulama seviyelerinde yetiştirilen lahanaya bitkilerine uygulanan PGPR'in GA (a), ABA (b), IAA (c) ve SA (d) değerleri üzerine etkileri



Şekil 5. Farklı sulama seviyelerinde yetiştirilen lahanaya bitkilerine uygulanan PGPR'in N (a), P (b) ve K (c) değerleri üzerine etkileri

PGPR uygulanmamış %25 sulamalarda 1.5 kat arttığı ve bu değerlerin istatistiksel olarak dikkate değer olduğu belirlenmiştir. Fakat %100 sulanmış bitkiler ile karşılaştırıldığında ABA seviyesinin %75, 50 ve 25 sulamalarda arttığı, en fazla artışın 2.5 katlık bir değerle %50 sulanmış TV-67C uygulamasında görüldüğü belirlenmiştir.

Sulama seviyeleri ve PGPR uygulamaları arasındaki ilişkinin belirlenmesinde önemli sayılan bitki besin elementi değerleri Şekil 5a, 5b ve 5c'de verilmiştir. Tam sulanan bitkilerde en fazla N, P ve K değerleri gözlemlenirken, bu değerlerin TV-67C uygulamasında PGPR uygulanmayan kontrol bitkilerine kıyasla 1.5 kat artış ile en fazla olduğunu göstermiştir. Fakat %25 sulanmış PGPR uygulanmamış bitkilerinde dahil olduğu diğer kısıtlı sulamalarda belirgin besin elementi eksikliğinin olduğu bu eksikliğin önceden uygulanan TV-67C bakterisi N değerinde 1.72, P değerinde 1.62 ve K değerinde en fazla olmak üzere 2.21 kat artış sağlanmıştır.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, bitki gelişimi üzerine olumlu etkileri bilinen PGPR uygulamalarının kuraklık stresine maruz kalan lahanaya fidelerinde bitki gelişimi, hormon,

antioksidant enzim aktivitesi, aminoasit ve besin elementi içeriğindeki değişimler incelenmiştir. Kuraklık stresinin bitkide oluşturduğu hasarın en belirgin ve yaygın olanı büyüme ve gelişimdeki gerilemelerdir. Bu çalışmada artan sulama kısıtlamalarına bağlı olarak fide gelişim parametrelerinde ve besin elementi içeriğinde azalmalar görülmüş, fakat PGPR uygulamaları ile birlikte bu değerlerdeki artışın TV-67C uygulamasında en yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca kuraklık stresi ile birlikte yapraklardaki stoma hareketlerinde yaşanan değişim bitki metabolizmasındaki içsel fitohormon ve ACC diaminaz enzim aktivitesindeki artışların bir belirtisi olarak görülmektedir. Bu artışların özellikle TV-67C bakterisinde dikkate değer olduğu gözlemlenmiştir. Bununla ilişkili olarak bitkide reaktif oksijen türlerinin üretimi artmakta ve bu bileşikler dokularda birikip hücre membran yapısına zarar vererek membran geçirgenliğini zedelemektedir. Reaktif oksijen türlerinin bitkide oluşturduğu zararı azaltmak için antioksidan sistemin harekete geçirilmesinde PGPR uygulamalarının etkisi olduğu bilinmekte (Saravanakumar ve ark., 2011) ve önceden yapılan PGPR uygulamaları ile bu hasarın önüne geçilebilmektedir. Bu çalışmada antioksidant enzim mekanizması kontrol uygulaması ile karşılaştırıldığında TV-67C ve TV-6D+RK-92+TV-53D bakterilerinde artmış ve bu artış istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Ayrıca kuraklık stresine maruz kalan bitki dokularında doymamış yağ asitlerinin peroksidasyonu sonucu oluşan ve son bozulma ürünü (Mittler, 2002) olarak bilenen MDA birikimi artmaktadır. Bu çalışmada uygulanan PGPR ile MDA birikiminin azalması TV-13B bakterisinin etkili olduğu görülmüştür.

Bitkiler farklı tipteki ozmotik koruyucuları bünyelerinde biriktirerek kuraklığa karşı oluşturulan tepkide önemli etki oluşturmakta ve bu durum pH'nın düzenlenmesinde ve ozmotik ayarlamada koruyucu görev üstlenmektedir (Kaya ve ark., 2003). Özellikle stres sırasında aktivite artan prolin, asparajin ve glisin gibi aminoasitler reaktif oksijen türlerinin detoksifikasyonunda görev yapmaktadırlar. Bu çalışmada en dikkat çekici aminoasit artışının TV-67C bakterisinde olduğu görülmüştür. Yapılan analizler dikkate alındığında genel itibarıyla tam sulama konusundaki bitkilerde meydana gelen belirgin etkinin kısıtlı sulananlara göre daha az olduğu gözlemlenmiştir. Çünkü kuraklık stresi koşullarında yapılan PGPR uygulamalarının daha fazla sayıda fiziksel, fizyolojik ve biyokimyasal parametreyi olumlu yönde etkilediği bulunmuştur.

Araştırma sonucunda farklı su kısıtları ile oluşturulan kuraklık stresinin lahanada bitkilerinin gelişimini kısıt miktarlarının artması ile olumsuz yönde etkilediği, fakat önceden yapılan PGPR uygulamaları ile stresin olumsuz etkilerine karşı toleransın artırılmasında kullanılabileceği ortaya çıkmıştır. Ayrıca, bu çalışmanın seradaki kontrollü şartlarda gerçekleştirilmesinden dolayı denemelerin arazi

koşullarında da tekrar edilmesi, sonuçların pratikte de kullanılabilir olması açısından öneme sahiptir.

KAYNAKLAR

- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No: 56. FAO, Rome.
- Angelini, R., Federico, R. 1989. Histochemical Evidence of Polyamine Oxidation and Generation of Hydrogen- Peroxide in the Cell Wall. J. Plant Physiol.,135: 212-217.
- Angelini, R., Manes, F., Federico, R. 1990. Spatial and Functional Correlation between Diamine-Oxidase and Peroxidase Activities and their Dependence upon De-Etiolation and Wounding In Chick-Pea Stems. Planta, 182: 89-96.
- Antoine, F.R., Wei, C.I, Littell, R.C., Marshall, M.R. 1999. HPLC Method for Analysis of Free Amino Acids in Fish Using O-Phthaldialdehyde Precolumn Derivatization. J. Agr. Food Chem, 47: 5100-5107.
- Aristoy, M.C., Toldra, F. 1991. Deproteinization Techniques for HPLC Amino Acid Analysis in Fresh Pork Muscle and Dry-Cured Ham. J. Agr. Food Chem, 39: 1792-1795.
- Battal, P., Tileklioğlu, B. 2001. The Effects of Different Mineral Nutrients on the Levels of Cytokinins in Maize (*Zea mays* L.). Turk J. Bot., 25: 123-130.
- Bremner, J.M. 1996. Nitrogen Total. In: Sparks DL, editor. Methods of Soil Analysis. Part III. Chemical Methods, 2nd ed., Madison,WI, USA: Soil Science Society of America, pp. 1085-1122.
- Daşcı, E., Evren, S., Adigüzel, M. C., Çakmakçı, R., Kotan, R., Kızıloğlu, F. M. Erat, M. 2012. Bitki Büyümesini Teşvik Eden Bakteriler Kullanılarak Şeker Pancarında (*Beta vulgaris* L.) Su Stresine Dayanıklılığın Artırılması. I. Uluslararası Anadolu Şeker Pancarı Sempozyumu, 20-22 Eylül, Kayseri, 203-208.
- Demiral, T. 2003. Genç Pirinç Fidelerine Dışarıdan Glisinbetain Uygulanmasıyla, Tuza (NaCl) Toleransinin Arttırılmasında Antioksidant Enzim Aktivitesinin Rolünün Araştırılması. Ege Üniv., FBE, Biyoloji ABD, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 75s.
- Glick, B.R., Todorovic, B., Czarny, J., Cheng, Z.Y., Duan, J., McConkey, B. 2007. Promotion of Plant Growth by Bacterial ACC Deaminase. Critical Reviews in Plant Sciences, 26: 227-242.
- Grichko, V.P, Glick, B.R. 2001. Amelioration of Flooding Stress by ACC Deaminase-Containing Plant Growth-Promoting Bacteria. Plant Physiol. and Biochem., 39: 11-17.
- Henderson, J.W., Ricker, R.D., Bidlingmeyer, B.A., Woodward, C. 1999. Amino Acid Analysis Using Zorbax Eclipse-AAA Columns and the Agilent 1200 HPLC.
- Karakurt, H., Kotan, R. 2011. Effects of Plant Growth Promoting Rhizobacteria on Fruit Set, Pomological and Chemical Characteristics, Color Values, and

- Vegetative Growth of Sour Cherry (*Prunus cerasus* cv. Kütahya). Turk J. Biol., 35: 283–291.
- Kaya, C., Ak, B. E., Higss, D. 2003. Response of Salt-Stressed Strawberry Plants to Supplementary Calcium Nitrate and/or Potassium Nitrate. Journal of Plant Nutrition, 26: 543-560.
- Kotan, R. 1997. Biber ve Domatesteki Bakteriye Hastalığı (*Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* (Doidge) Dye.)'nın Biyolojik ve Kimyasal Kontrolü. Atatürk Üniv., FBE, Bitki Koruma ABD, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum, 47s.
- Kotan, R. 2002. Doğu Anadolu Bölgesi'nde Yetiştirilen Yumuşak Çekirdekli Meyve Ağaçlarından İzole Edilen Patojen ve Saprotik Bakteriye Organizmaların Klasik ve Moleküler Metotlar ile Tanısı ve Biyolojik Mücadele İmkânlarının Araştırılması. Atatürk Üniv., FBE, Bitki Koruma ABD, Doktora Tezi, 217s.
- Kotan, R., Kant, C., Karagöz, K., Dadaşoğlu, F., Çakmakçı, R., Fayetörbay, D., Şahin, F. Çomaklı, B. 2009. Bazı Bakteri İnokülasyonlarının Kontrollü Şartlar Altında Yonca Bitkisinin (*Medicago sativa* L.) Büyümesi ve Kimyasal Kompozisyonu Üzerine Etkisi, 16. Ulusal Biyoteknoloji Kongresi, 13-16 Aralık, Antalya, 14s.
- Kotan, R., Şahin, F. 2002. Bitki Hastalıkları ile Biyolojik Mücadelede Bakteriye Organizmaların Kullanılması. Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Der., 33(1): 111-119.
- Kuraishi, S., Tasaki, K., Sakurai, N., Sadatoku, K. 1991. Changes in Levels of Cytokinins in Etiolated Squash Seedlings after Illumination. Plant Cell Physiol, 32: 585–591.
- Lim, J.-H., Kim, S.-D., 2013. Induction of Drought Stress Resistance by Multi-Functional PGPR *Bacillus licheniformis* K11 in Pepper. Plant Pathology Journal, 29: 201-208.
- Liu, F., Xing, S., Ma, H., Du, Z., Ma, B. 2013. Cytokinin-Producing, Plant Growth-Promoting Rhizobacteria that Confer Resistance to Drought Stress in *Platycladus Orientalis* Container Seedlings. Applied Microbiology and Biotechnology, 97:9155-9164.
- Mayak, S., Tirosh, T., Glick, B.R. 2004. Plant Growth-Promoting Bacteria that Confer Resistance to Water Stress in Tomatoes and Pepper. Plant Science, 166: 525-530.
- Mertens, D. 2005a. AOAC Official Method 922.02. Plants Preparation of Laboratory Sample. Official Methods of Analysis, 18th edn. Horwitz, W., and G.W. Latimer, (Eds). Chapter 3, pp1-2, AOAC-International Suite 500, 481. North Frederick Avenue, Gaithersburg, Maryland 20877-2417, USA.
- Mertens, D. 2005b. AOAC Official Method 975.03. Metal in Plants and Pet Foods. Official Methods of Analysis, 18th edn. Horwitz, W., and G.W. Latimer, (Eds). Chapter 3, pp 3-4, AOAC-International Suite 500, 481. North Frederick Avenue, Gaithersburg, Maryland 20877-2417, USA.
- Mittler, R. 2002. Oxidative Stress, Antioxidants and Stress Tolerance. Trends in Plant Sci, 7: 405–410.
- Saravanakumar, D., Kavino, M., Raguchander, T., Subbian, P., Samiyappan, R., 2011. Plant Growth Promoting Bacteria Enhance Water Stress Resistance in Green Gram Plants. Acta Physiologiae Plantarum, 33: 203-209.
- Sarma, R.K., Saikia, R. 2014. Alleviation of Drought Stress in Mung Bean by Strain *Pseudomonas aeruginosa* GGRJ21. Plant Soil, 377:111-126.
- Sudhakar, P., Chattopadhyay, G.N., Gangwar, S.K., Ghosh, J.K. 2000. Effect of foliar application of *Azotobacter*, *Azospirillum* and *Beijerinckia* on leaf yield and quality of mulberry (*Morus alba*). J. Agric. Sci., 134:227-234.
- Yasmin, H., Bano, A., Samiullah. 2013. Screening of PGPR Isolates From Semi-Arid Region and their Implication to Alleviate Drought Stress. Pak. J. Bot., 45:51-58.