

Seçilmiş Bakteri İzolatlarının Kadmiyum ile Zenginleştirilmiş Topraklarda Şeker Pancarının Gelişimi ve Besin Elementi Alımı Üzerine Etkisi

Ahmet DEMİRBAŞ¹, Ali COŞKAN², Amer Abdulhadi JAWAD²

¹Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Sivas

²Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Isparta

Sorumlu yazar: ademirbas@cumhuriyet.edu.tr

Geliş tarihi:24/11/2019, Yayına kabul tarihi:11/12/2019

Özet: Seçilen 6 bakterinin kadmiyum ile zenginleştirilmiş topraklarda yetiştirilen şeker pancarı bitkisinin gelişimi ve besin elementi alımına etkilerini belirlemek amacıyla, Sivas koşullarında saksı denemesi yürütülmüştür. Bakteriler daha önce Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Toprak Biyoloji Laboratuvarında izole edilmiş ve mısır üzerinde test edilmiştir. Çalışmada Adana (Ad), Antalya (An), Hatay (Ha), Isparta (Is), Ordu (Or) ve Sivas (Si) illerinin her birinden izole edilen 4 bakteriden, daha önceki performansları göz önüne alınarak en etkili olan birer taneleri seçilmiştir. Çalışmada, yukarıda sözü edilen bakterilerin 5 mg kg⁻¹ Cd ile zenginleştirilmiş toprakta yetiştirilen şeker pancarı performansı üzerindeki etkileri belirlenmiştir.

Sonuçlar Cd uygulamasının bitkinin biyokütle gelişimini önemli ölçüde ($p<0.05$) azaltırken, bakteri aşılamanın bitkinin kuru madde ağırlığını arttırdığını göstermiştir. Bununla birlikte, Cd ile zenginleştirilmiş durumda bakteri aşılması, bitki kuru ağırlığını daha da arttırmış, en yüksek değer 43.1 g bitki⁻¹ ile B1 ve 5 mg kg⁻¹ Cd uygulamasından elde edilmiştir. Tek başına bu sonuç bile belirli bakterilerin uygulanmasının kadmiyumun olumsuz etkilerini azaltabildiğini gösterir niteliktedir. B5 hariç olmak üzere kadmiyum uygulanan saksılardaki bakteri uygulamalarının hepsi bitkinin biyokütlesini artırmıştır. Kadmiyum ile çinko arasındaki antagonistik ilişkiye uygun olarak, kadmiyum uygulamaları çinko alımını azaltmıştır. Ancak bakteri uygulamaları kadmiyum uygulanan koşullarda bile çinko alımını artırmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bakteri izolatları, biyo-gübreler, kadmiyum, PGPR, şeker pancarının beslenmesi

Influence of Selected Bacteria Isolates on Sugar Beet Growth and Nutrient Uptake in Cadmium Enriched Soil

Abstract: A pot experiment was conducted in order to determine the effects of 6 selected potential PGPR on growth and nutrient uptake of sugar beet under Cd enriched soils at Sivas condition. Bacteria were previously isolated and tested on maize in Soil Biology Laboratory of Isparta University of Applied Sciences. In this study, the most effective isolates out of 4 from each province as Adana (Ad), Antalya (An), Hatay (Ha), Isparta (Is), Ordu (Or) and Sivas (Si) selected as potential PGPR considering their previously determined performance. In the study, the effects of above mentioned bacteria on sugar beet performance under 5 mg kg⁻¹ Cd enriched condition was determined.

Results revealed that Cd application significantly ($p<0.05$) reduced plant biomass development whereas bacteria inoculation increased plant dry matter weight. However, in the Cd enriched condition, bacteria inoculation further improved plant dry weight where the higher value was observed in dual application of B1 and 5 mg kg⁻¹ Cd application as 43.1 g plant⁻¹. This result alone indicates that certain bacterium application may reduce the negative effects of cadmium. Among the Cd applied pots, B5 is an exception, all bacteria application increased plant biomass development. Cadmium application also reduced zinc uptake of plant in accordance the antagonistic effect of cadmium on zinc uptake; yet, bacteria inoculation may help plant to uptake slightly more zinc even under cadmium contaminated soils.

Keywords: Bacteria isolates, bio-fertilizer, cadmium, PGPR, sugar beet nutrition

Giriş

Tarım alanları, artan insan baskısı nedeniyle giderek doğal verimliliğini kaybetmekte, bu alanlarda yetiştirilen bitkiler kuraklık başta olmak üzere çeşitli stres faktörleriyle yüz yüze kalmaktadır. Bu stres faktörlerini ve neden olduğu verimlilikteki azalmayı ortadan kaldırmak amacıyla dayanıklı türlerin geleneksel yöntemlerle elde edilmesi olası ise de bu yaklaşım uzun sürelere ihtiyaç duyan pahalı yöntemleri içerir (Zaidi et al., 2015). Güncel yaklaşımlardan olan, bitki gelişimini teşvik eden mikroorganizma aşılması pratik, ekonomik, çevreci ve kısa sürede etkisi görülen bir uygulamadır. Bu mikroorganizmaların kullanımına dair ilk çalışmalar 1978 yılına kadar uzamasına rağmen (Kloepper, 1978) halen her bitki, her toprak ve her iklim için bir bakteri bulunmuş değildir.

Geleneksel bitki ıslahı ve transgenik yaklaşımlarından ayrı olarak, bitki büyümesini teşvik eden rhizobakteri (PGPR) uygulaması, kültür bitkilerinde abiyotik stres toleransını artırmak için umut verici bir yaklaşımdır (Yaseen et al., 2019). Bu bakteriler daha çok mikrobiyal aktivitenin en üst düzeyde olduğu rizosfer (Vejan et al., 2016) bölgesinde bulunurlar. Rhizosfer bölgesinde hem besin elementlerinin hem de kök salgılarının fazlalığı nedenleriyle mikroorganizmalar rhizosfer uzağındaki toprağa göre 10 ila 100 kat daha fazla olmaktadır (Weller and Thomashow, 1994). Bitki kök sisteminde yaşayan milyonlarca bakteri, bitki ile ortak yaşam kurup çeşitli metabolik aktiviteler ile bitkinin büyümesini ve verimini artırıcı etki yapmaktadırlar (Berg, 2009). Karmaşık mikrobiyal topluluğa sahip topraklarda yetiştirilen bitkiler karmaşık olmayanlara göre daha fazla klorofil içermekte ve çiçek açmaktadır (Lau and Lennon, 2011). PGPR olarak adlandırılan bakterilerin etki mekanizmaları azot fiksasyonu, bitkisel hormonların üretimi, fosfor ve demir gibi besin elementlerinin yararlı duruma geçmesini sağlama gibi doğrudan olabileceği gibi (Zhang et al., 2014; Meena et al., 2014; Richard et al., 2018; Dar et al., 2018; Khosravi et al., 2018; Patel et al., 2018), patojenleri baskılama (Kundan et al.,

2015) gibi dolaylı da olabilmektedir. Bakteriler ürettikleri ekzopolisakkaritler (Samancıoğlu ve Yıldırım, 2015) ile ağır metalleri tutarak veya doğrudan bünyelerine alarak (Grover et al., 2011) bitkileri ağır metal kirliliğinden koruyabilecekleri düşünülmektedir. Nitekim Dell'Amico et al. (2008) ve Belimov et al. (2005) bazı bakterilerin Cd stresine toleranslı olduğunu ve bu bakterilerin muhtemelen indol asetik asit, siderofor ve 1-aminosiklopropan-1-karboksilat deaminaz salgılayarak (Dell'Amico et al., 2008) ağır metal stresi koşullarında bitkinin gelişimini teşvik ettiklerini bildirmişlerdir. Artan Cd dozları bitkinin besin elementi alımı üzerine de etki yapmakta ancak bu etki elemente ve bitkinin çeşidine göre değişmektedir (Liu et al., 2006). Bu çalışmada, şekerpancari yetiştirilen topraklar 5 mg Cd kg⁻¹ ile zenginleştirilmiş ve bu durumda bitkinin gelişimi ve besin elementi alımında meydana gelen değişimler ile bakteri izolatlarının bu değişim üzerine etkileri belirlenmiştir.

Materyal ve Yöntem

Bakteriler Karadeniz'in kuzeyinden Ordu (B1), Akdeniz Bölgesi'nin güneyinden Hatay (B2), İç Anadolu'nun doğusundan Sivas (B3), yine Akdeniz Bölgesi'nden Adana (B4), Akdeniz Bölgesi'nin güney batısından Isparta (B5) ve Antalya (B6) illerinden getirilen bakterilerden izole edilmiştir. Ayrıca kontrol grubu olan bakterisiz (B0) bir uygulama bulunmaktadır. Topraklar % 0.85 NaCl çözeltisi kullanılarak seyreltilmiş ve TSB içerisinde (Tryptic Soy Broth) katı besiyerine aşılanmıştır (Ottow, 1984). Her ilden 4'er adet, en hızlı gelişen koloniler saflaştırılmış ve bu bakterilerin mısır bitkisine etkileri ön deneme ile belirlenmiştir. Bu denemeden elde edilen sonuçlara dayanarak, her il için izole edilen 4 bakteriden en iyisi seçilmiş, her ili temsil etmek üzere, o ile ait en iyi izolat TSB sıvı besiyerinde çoğaltılmıştır. Süspansiyondaki bakteri sayısı (kob) en az 10⁶ adete ulaştığında ekilen şeker pancarı bitkisinin etrafına 1 ml bakteri süspansiyonu uygulanmıştır. Sera koşullarında 10 kg kapasiteli topraklarda 3

tekerrürlü olarak yetiştirilen şeker pancarı bitkisi başlangıçta her saksıya 3 adet ekilmiş, çıkış işlemi gerçekleştirildikten sonra her saksıda 1 adet kalacak şekilde seyreltme yapılmıştır. Temel gübreleme olarak her saksıya 250 mg/kg N ($\text{CaNO}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ olarak), 100 mg/kg P ve 125 mg/kg K (KH_2PO_4 olarak), 2.5 mg/kg Zn ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ olarak) ve 2.5 mg/kg Fe (Fe-EDTA olarak) uygulanmıştır. Araştırmada 2 farklı Cd dozu; 0 mg/kg ve 5 mg/kg olacak şekilde CdSO_4 formunda uygulanmıştır. Şekerpancarı bitkisinden alınan yaprak örnekleri yaş yakmaya tabi tutulmuştur. P kolorimetrik olarak 882 nm' despektrofotometrede (Murphy and Riley, 1962)'e göre, Cd, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn ve Cu konsantrasyonları ise Atomik Absorpsiyon Spektrofotometre ile belirlenmiştir. N konsantrasyonları ise Kjeldahl destilasyon yöntemine göre (Bremner, 1965) belirlenmiştir.

Verilerin Değerlendirilmesi: Araştırmadan elde edilen veriler Minitab istatistik programı yardımıyla tesadüf parselleri deneme deseninde varyans analizine tabi tutulmuş, Tukey testi ile $p=0.05$ düzeyinde gruplandırılmıştır.

Bulgular ve Tartışma

Deneme sonunda toprağın hemen üzerinden kesilen bitkiler kurutulduktan sonra tartılarak kuru ağırlık değerleri belirlenmiş, ilgili sonuçlar Çizelge 1'de verilmiştir. Ortalama değerler itibariyle bakteri uygulamaları incelendiğinde, tüm bakterilerin bitkinin kuru ağırlığını artırdığı, en etkili bakteri izolasyonunun B1 olduğu belirlenmiştir.

Yine ortalama değerler itibariyle Cd dozları karşılaştırıldığında ise Cd uygulamasının bitki kuru ağırlığını belirgin biçimde ($p<0.05$) azalttığı görülmüştür. Belirlenen en yüksek kuru ağırlık değeri 43.1 g bitki⁻¹ ile Cd5 dozu ile B1 bakterisi interaksyonundan elde edilmiştir. Bu değer Cd0 koşullarında B1 uygulamasından elde edilen 40.5 değerinden % 6, bakteri uygulanmayan Cd0 dozunda belirlenen 27.1 g bitki⁻¹ değerinden ise % 59 daha yüksektir. Cd0 uygulamasındaki tüm bakteriler B0 uygulamasına göre bitki kuru

ağırlığını artırmış, Cd0'dan Cd5'e geçildiğinde ise B1 dışındaki tüm bakterilerden elde edilen artış miktarı azalmıştır. B1'de ise Cd5 uygulaması Cd0 uygulamasına göre daha fazla bitki kuru ağırlığı sağlamıştır. Bakterilerin Cd uygulamasına farklı etkileri, bazı bakterilerin Cd toleransının diğerlerinden daha yüksek olmasından (Belimov et al., 2005) kaynaklanmaktadır. B1 bakterisinden elde edilen veriler oldukça ilginçtir. Zira denizde yaşayan diatomlarda Zn yerine geçebilse de, Cd organizmalar için ihtiyaç duyulan bir element değildir (Price and Morel, 1990). Bu durumun Cd nedeniyle bakterinin daha fazla indol asetik asit, siderefor ve l-aminosiklopropan- 1-karboksilat deaminaz gibi (Dell'Amico et al., 2008) çeşitli salgılarının uyarılması sonucu ortaya çıkmış olması ihtimaller arasındadır. In-vitro denemelerinde düşük dozda Cd uygulamasının bitkinin biyomas oluşumunu artırdığını, yüksek dozların ise azalttığını göstermiş, ancak bu durum su kültürü denemelerinde ortaya çıkmamış, Cd uygulamaları etkisiz bulunmuştur (Gonçalves et al., 2009). Bu çalışma sonuçlarına dayanarak kullanılan 5 mg kg⁻¹ Cd dozunun düşük doz olarak kabul edilebileceği, bu doza kadar kirlenmiş alanlarda bakteri uygulaması ile verimin artabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Çizelge 1. Yeşil aksam kuru ağırlığı
Table 1. Shoot dry weight

Bakteri <i>Bacteria</i>	Kadmium dozları <i>Cadmium doses</i>		Ortalama <i>Average</i>
	Cd0	Cd5	
B0	32.7 ef	27.1 g	29.9 E
B1	40.5 ab	43.1 a	41.8 A
B2	36.7 cd	33.7 def	35.2 BC
B3	38.8 bc	30.6 f	34.7 C
B4	39.6 bc	34.2 de	36.9 BC
B5	38.0 bc	26.2 g	32.1 D
B6	39.7 bc	32.0 ef	35.9 BC
Ortalama <i>Average</i>	38.0 A	32.4 B	

Bitki örneklerinde belirlenen Cd konsantrasyonları (Çizelge 2), 5 mg kg⁻¹ Cd uygulamasından oldukça belirgin biçimde etkilenmiş ($p<0.05$), ortalamalar bu

uygulama bitkinin Cd içeriğinde %124 artışa neden olmuştur. Cd5 dozu bakteriler ile birlikte incelendiğinde B6 bakterisi dışındaki tüm bakterilerin Cd alımını azalttığı, Cd alımını azaltma etkisinin en belirgin olduğu izolatın ise B3 olduğu görülmüştür. Bakterilerin Cd alımını azaltmasının ürettikleri ekzopolisakkaritler (Grover et al., 2011) ile Cd tutarak bitki alımını engellemesi ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 2. Bitkinin Cd konsantrasyonu

Table 2. Cd concentration of the plant

Bakteri <i>Bacteria</i>	Kadmiyum dozları <i>Cadmium doses</i>		Ortalama <i>Average</i>
	Cd0	Cd5	
B0	6.62 fg	19.42 a	13.02 B
B1	7.27 efg	16.54 b	11.90 CD
B2	8.17 def	14.30 c	11.23 D
B3	5.76 g	16.83 b	11.29 D
B4	9.01 d	16.05 b	12.53 BC
B5	8.19 def	17.26 b	12.72 BC
B6	8.63 de	19.53 a	14.08 A
Ortalama <i>Average</i>	7.66 B	17.13 A	

Diğer yandan Cd0 konularında herhangi bir Cd uygulaması yapılmamasına rağmen, B3 dışındaki tüm bakteriler Cd alımını artırmıştır. Bu durum bakterilerin metal iyonlarının çözünürlüğünü artırması (Khan et al., 2017) ile açıklanabilir. Ancak topraktaki Cd5 uygulaması ile bakterilerin Cd alımını engelleyen stratejileri ön plana çıkmıştır. Bu bulgudan hareketle kadmiyumun bakteriler üzerinde strese neden olabileceği, bu nedenle bakterilerin savunma mekanizmalarını işletmeye başladıkları söylenebilir. Bitkinin kuru ağırlığı ile (Çizelge 1.) kadmiyum konsantrasyonları karşılaştırıldığında, B1 Cd5'te belirlenen Cd içeriğindeki azalışın, Cd alımındaki azalma ile ilişkilendirilemeyeceği görülmüştür. Zira 5 mg kg⁻¹ Cd uygulamasının alımını azaltan etkili izolat B1 değil B2 olmuştur. B2 izolatu aynı zamanda Cd uygulanmayan bitkilerin azot konsantrasyonunu (Çizelge 3.) en fazla artıran bakteri olmuş, bu durum ortalama değerlere de yansımıştır. B1, B4 ve B6 bakterileri Cd uygulamasına rağmen bitkinin azot konsantrasyonunu artırmıştır. B4 ve B6 bakterilerinin bitkinin kuru ağırlığını (Çizelge 1.) azaltması nedeniyle azotta

konsantrasyon etkisi yaratması bu durumun kaynağı gibi gözükmektedir. Ancak B1 izolatında Cd uygulamasının hem verimi hem de azot konsantrasyonunu artırmış olması araştırılması gereken bir husustur.

Çizelge 3. Bitkinin azot konsantrasyonu

Table 3. Nitrogen concentration of the plant

Bakteri <i>Bacteria</i>	Kadmiyum dozları <i>Cadmium doses</i>		Ortalama <i>Average</i>
	Cd0	Cd5	
B0	3.47 def	3.12 f	3.29 D
B1	3.39 def	3.67 c-f	3.53 CD
B2	5.79 a	3.42 def	4.61 A
B3	3.95 b-e	3.33 ef	3.64 CD
B4	4.04 b-e	4.34 bc	4.19 AB
B5	4.51 b	3.75 b-f	4.13 AB
B6	3.89 b-f	4.12 bcd	4.00 BC
Ortalama <i>Average</i>	4.15 A	3.68 B	

Şeker pancarı bitkisinin yeşil aksam fosfor konsantrasyonuna ilişkin ortalama değerler (Çizelge 4.) incelendiğinde, uygulanan bakterilerden B2 en fazla olmak üzere, B1, B4 ve B6 bakterileri fosfor alımını artırmıştır. Bakterilerin, bitkilerin fosforla beslenmesine yardım ettikleri bilinmektedir (Khosravi et al., 2018; Zhang et al., 2014; Singh and Gera, 2018; Weber et al., 2018). Ancak Cd uygulaması ile bitkinin fosfor alımının artmasının nedeni belirli değildir.

Çizelge 4. Bitkinin fosfor konsantrasyonu

Table 4. Phosphorus concentration of the plant

Bakteri <i>Bacteria</i>	Kadmiyum dozları <i>Cadmium doses</i>		Ortalama <i>Average</i>
	Cd0	Cd5	
B0	0.725 cd	0.428 g	0.576 C
B1	0.730 cd	0.723 cd	0.727 B
B2	0.670 cde	0.982 a	0.826 A
B3	0.538 fg	0.714 cd	0.626 C
B4	0.766 bc	0.755 c	0.760 AB
B5	0.639 def	0.570 ef	0.604 C
B6	0.711 cd	0.873 ab	0.792 AB
Ortalama <i>Average</i>	0.683 B	0.721 A	

Diğer yandan yürütülen bir çalışmada PGPR uygulamasının kök uzunluğunu % 28, kök ağırlığını % 33 (Setyowati et al., 2017) artırdığı, başka çalışmada taze kök

ağırlığında % 188 artış kaydedildiği (Youseif, 2018), bir başka çalışmada ise kök siteminde % 40 artış olduğu (Marasco et al., 2013) bildirilmiştir. Bu çalışmada kılcal kök gelişimi incelenmemiş olmasına rağmen, PGPR aşılması ile artan kök gelişiminin, Cd tarafından oluşturulan stres nedeniyle daha fazla teşvik edilmesi ve bunun daha fazla fosfor alımı ile sonuçlanmış olması muhtemeldir.

Potasyum alımına ilişkin ortalama değerler bakteri uygulamalarının potasyum alımını artırdığını göstermektedir (Çizelge 5.). Cd uygulaması yine ortalama değerler itibariyle potasyum içeriğini artırmış, ancak bu artış istatistiki olarak önemli bulunmamıştır. Potasyum alımındaki bu artışın fosfor alımına benzer şekilde daha fazla kök oluşumu ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir (Setyowati et al., 2017; Youseif, 2018; Marasco et al., 2013). B2 ve B3 bakterileri dışındaki bakterilerden elde edilen potasyum konsantrasyonu değerleri 5 mg kg⁻¹ Cd uygulaması ile belirgin biçimde artmıştır.

ve Mg alımını artırmıştır. Ca konsantrasyonları arasında bakteri izolatlarının etkileri birbirinden farklı olurken Mg konsantrasyonunda tüm bakteri izolatları Mg konsantrasyonunu kontrole oranla artırmış, ancak izolatlar arasında fark görülmemiştir. En yüksek Ca ve Mg değerleri Cd uygulanmayan B3 izolatından elde

edilmiştir. *In-vitro* denemeler Cd uygulamasının bitkinin makro ve mikro besin elementi alımını azalttığını göstermiş, ancak bu bulgu su kültürü denemelerinde ortaya çıkmamıştır (Gonçalves et al., 2009). Çizelge 6 incelendiğinde, B0'da Cd uygulaması Ca içeriğini azaltırken, Mg içeriğini artırmıştır.

Çizelge 5. Bitkinin potasyum konsantrasyonu
Table 5. Potassium concentration of the plant

Bakteri <i>Bacteria</i>	Kadmiyum dozları <i>Cadmium doses</i>		Ortalama <i>Average</i>
	Cd0	Cd5	
B0	3.96 bcd	4.06 abc	4.01 AB
B1	3.51 f	3.80 c-f	3.65 C
B2	3.77 c-f	3.73 def	3.75 C
B3	4.36 a	3.57 ef	3.96 AB
B4	3.75 c-f	3.89 b-e	3.82 BC
B5	3.95 bcd	4.15 ab	4.05 A
B6	3.84 b-e	4.30 a	4.07 A
Ortalama <i>Average</i>	3.87 A	3.93 A	

Çizelge 6.'da uygulamaların şeker pancarı bitkisinin kalsiyum ve magnezyum konsantrasyonlarına etkisine ilişkin değerler yer almaktadır. Ortalama değerler itibariyle tüm uygulamalar kontrole kıyasla bitkinin Ca Uygulamaların bitkinin mikro element içeriğine etkilerini belirlemek amacıyla Fe, Zn, Mn ve Cu analizleri yapılmış, elde edilen sonuçlar Çizelge 7. ve 8.'de sunulmuştur.

Çizelge 6. Bitkinin kalsiyum (solda) ve magnezyum (sağda) konsantrasyonu
Table 6. Calcium (left) and magnesium (right) concentration of the plant

Bakteri <i>Bacteria</i>	Kadmiyum dozları <i>Cadmium doses</i>		Ortalama <i>Average</i>	Kadmiyum dozları <i>Cadmium doses</i>		Ortalama <i>Average</i>
	Cd0	Cd5		Cd0	Cd5	
B0	3.31 de	2.34 f	2.82 C	0.760 d	0.825 cd	0.793 B
B1	3.61 cd	3.84 cd	3.72 AB	0.885 abc	0.870 bc	0.878 A
B2	3.74 cd	3.36 de	3.55 B	0.925 ab	0.895 abc	0.910 A
B3	4.59 a	3.45 cde	4.02 A	0.955 a	0.860 bc	0.908 A
B4	3.80 cd	3.74 cd	3.77 AB	0.890 abc	0.900 abc	0.895 A
B5	3.05 e	3.97 bc	3.51 B	0.920 ab	0.910 ab	0.915 A
B6	4.49 ab	3.56 cde	4.02 A	0.875 bc	0.865 bc	0.870 A
Ortalama <i>Average</i>	3.80 A	3.46 B		0.887 A	0.875 A	

Çizelge 7. Bitkinin demir (solda) ve çinko (sağda) konsantrasyonu
Table 7. Iron (left) and zinc (right) concentration of the plant

Bakteri <i>Bacteria</i>	Kadmiyum dozları <i>Cadmium doses</i>		Ortalama <i>Average</i>	Kadmiyum dozları <i>Cadmium doses</i>		Ortalama <i>Average</i>
	Cd0	Cd5		Cd0	Cd5	
B0	172 f	344 a	258 AB	14.1 c-f	11.4 ef	12.8 C
B1	214 c-f	255 bcd	235 BC	14.9 cde	14.5 c-f	14.7 ABC
B2	203 def	200 def	201 CD	17.7 bc	14.3 c-f	16.0 AB
B3	296 ab	269 bc	283 A	22.4 a	10.7 f	16.5 A
B4	247 b-e	186 ef	216 CD	16.0 bcd	11.0 ef	13.5 BC
B5	189 ef	224 c-f	206 CD	15.9 bcd	12.5 def	14.2 ABC
B6	221 c-f	159 f	190 D	11.4 ef	19.2 ab	15.3 ABC
Ortalama <i>Average</i>	220 A	234 A		16.0 A	13.4 B	

Çizelge 8. Bitkinin mangan (solda) ve bakır (sağda) konsantrasyonu
Table 8. Manganese (left) and copper (right) concentration of the plant

Bakteri <i>Bacteria</i>	Kadmiyum dozları <i>Cadmium doses</i>		Ortalama <i>Average</i>	Kadmiyum dozları <i>Cadmium doses</i>		Ortalama <i>Average</i>
	Cd0	Cd5		Cd0	Cd5	
B0	33.6 b	23.5 c	28.5 B	12.8 ef	14.4 bcd	13.6 B
B1	64.4 a	24.0 c	44.2 A	10.6 g	10.3 g	10.4 D
B2	33.6 b	23.1 c	28.3 B	14.0 cde	13.6 de	13.8 B
B3	26.5 c	23.2 c	24.8 C	12.5 ef	11.8 fg	12.2 C
B4	24.3 c	24.2 c	24.2 C	12.5 ef	14.4 bcd	13.5 B
B5	24.3 c	25.9 c	25.1 C	15.9 ab	15.5 abc	15.7 A
B6	24.5 c	25.1 c	24.8 C	13.8 de	17.0 a	15.4 A
Ortalama <i>Average</i>	33.0 A	24.1 B		13.1 B	13.9 A	

Ortalama değerler itibariyle bakteri izolatları arasında belirlenen en yüksek Fe ve Zn konsantrasyonları B3 bakterisinden elde edilmiştir. Bu bakteri Mn ve Cu üzerinde bu derece etkili olmamış, Mn alımı B1 bakterisinden, Cu alımı ise B5 ve B6 bakterilerinden en olumlu etkilenmiştir. Cu içeriğinde en yüksek değeri veren izolatlarından olan B5, bitki kuru ağırlığının en düşük olduğu uygulamadır. Bu nedenle bu uygulamada belirlenen yüksek Cu içeriği konsantrasyon etkisinden kaynaklanmış olabilir. Ancak B5 bakterisinde belirlenen kuru ağırlık değerleri için aynı açıklamayı yapmak zordur. Yine ortalama değerler itibariyle Cd dozlarının etkilerine bakıldığında demir yönünden fark olmadığı, çinko ve mangan yönünden C uygulamasının azaltıcı etki yaptığı, bakır yönünden ise Cd

uygulamasının bakır konsantrasyonunu artırdığı görülmüştür. Mikro elementlerin tümü için önerilebilecek bir izolat bulunamamıştır.

Sonuç

Denemeden elde edilen sonuçlar incelendiğinde bakteri uygulamalarının şeker pancarının verimi ve besin elementi alımı üzerinde önemli etkilerinin olduğu, yayım çalışmaları yapılarak şeker pancarı tarımında PGPR uygulamalarının kullanımının yaygınlaştırılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Araştırma kurgulanırken, Cd uygulamaları ile azalacak verim ve besin elementi alımının olumsuz etkisinin PGPR tarafından ne kadar hafifleteceği sorusu aranırken, beklenilen aksine ilginç biçimde

Cd uygulaması bakteri varlığında hem bitki gelişimi hem de bazı besin elementlerinin alımı üzerine, Cd uygulanmamış topraklardan dahi daha iyi sonuç vermiştir. Literatürde Cd elementinin organizmalar için gerekli bir element olmadığı bildirilmesine rağmen bu deneme sonuçları Cd uygulamasının direk veya dolaylı olarak bakteriyi, bitkiyi veya her ikisini olumlu yönde etkilediğini göstermiştir. Bakterilerin genel olarak bitkinin Cd alımını azaltması da umut vaat eden bir sonuçtur. Zira Cd ile kirlenmiş alanlarda yetiştirilen bitkilere geçen Cd, bir ağır metal olması nedeniyle, insan sağlığı üzerine olumsuz etkiye sahiptir. Bu çalışmanın devamı niteliğinde olmak üzere B1 bakterisinin farklı dozlarının, doğal olarak Cd ile kirlenmiş kullanılması gereklidir. Bu yolla hem ekonomik hem de ekolojik yarar sağlanacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

- Belimov, A.A., Hontzeas, N., Safronova V.I., Demchinskaya, S.V., Piluzza, G., Bullitta, S., Glick, B.R., 2005. Cadmium-tolerant plant growth-promoting bacteria associated with the roots of Indian mustard (*Brassica juncea* L. Czern.). *Soil Biology and Biochemistry*, 37(2):241-250.
- Berg, G., 2009. Plant microbe interactions promoting plant growth and health: perspectives for controlled use of microorganisms in agriculture. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 84, 11–18.
- Bremner, J.M., 1965. Total nitrogen. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties.* 1149-1178.
- Dar, Z.M., Masood, A., Mughal, A.H., Asif, M., Malik, M.A., 2018. Review on drought tolerance in plants induced by plant growth promoting rhizobacteria. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* ISSN: 2319-7706 Volume 7 Number 05.
- Dell'Amico, E., Cavalca, L., Andreoni, V., 2008. Improvement of *Brassica napus* growth under cadmium stress by cadmium-resistant rhizobacteria. *Soil Biology and Biochemistry.* 40(1):74-84.
- Gonçalves, J.F., Antes, F.G., Maldaner, J., Pereira, L.B., Tabaldi, L.A., Rauber, R., Rossato, L.V., Bisognin, D.A., Dressler, V.L., Flores, E.M.M., Nicoloso, F.T., 2009. Cadmium and mineral nutrient accumulation in potato plantlets grown under cadmium stress in two different experimental culture conditions, *Plant Physiology and Biochemistry*, 47(9): 814-821.
- Grover, M., Ali, S.Z., Sandhya, V., Rasul, A., Venkateswarlu, B., 2011. Role of microorganisms in adaptation of agriculture crops to abiotic stresses. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 27 (5), pp.1231-1240.
- Khan, N., Batool, R., Jamil, N., 2017. Organic anions production by *Bacillus* Sp. to enhance maize and millet growth. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 27(6), pp.2035-2044.
- Khosravi, A., Zarei, M., Ronaghi, A., 2018. Effect of PGPR, Phosphate sources and vermicompost on growth and nutrients uptake by lettuce in a calcareous soil. *Journal of Plant Nutrition*, 41(1), pp.80-89.
- Kloepper, J.W., 1978. Plant growth-promoting rhizobacteria on radishes. In *Proc. of the 4th Internat. Conf. on Plant Pathogenic Bacter.* Station de Pathologie Vegetale et Phytobacteriologie, INRA, Angers, France, 1978 (Vol. 2, pp. 879-882).
- Kundan, R., Pant, G., Jadon, N., Agrawal, P.K., 2015. Plant growth promoting rhizobacteria: mechanism and current prospective. *J Fertil Pestic*, 6(2), p.9.
- Lau, J.A. and Lennon, J.T., 2011. Evolutionary ecology of plant-microbe interactions: soil microbial structure alters selection on plant traits. *New Phytologist*, 192(1), pp.215-224.

- Liu, D., Wang, M., Zou, J.H., Jiang, W.S., 2006. Uptake and accumulation of cadmium and some nutrient ions by roots and shoots of maize (*Zea mays* L.). *Pakistan Journal of Botany* 38(3):701-709.
- Meena, V.S., Maurya, B.R., Verma, J.P., 2014. Does a rhizospheric microorganism enhance K⁺ availability in agricultural soils. *Microbiological research*, 169(5-6), pp.337-347.
- Murphy, J. and Riley, J.P., 1962. A modified single solution for the determination of phosphate in natural waters. *Analitica Chemica Acta*, 27, 31-36.
- Ottow, J.C.G., 1984. *Bodenmikrobiologisch-biochemisches-Pratikum*. S. 1-2.
- Patel, P., Trivedi, G., Saraf, M., 2018. Iron biofortification in mungbean using siderophore producing plant growth promoting bacteria. *Environmental Sustainability*, 1(4), pp.357-365.
- Price, N.M. and Morel F.M.M., 1990. Cadmium and cobalt substitution for zinc in a marine diatom. *Nature* Vol:344, pp. 658–660.
- Richard, P.O., Adekanmbi, A.O., Ogunjobi, A.A., 2018. Screening of bacteria isolated from the rhizosphere of maize plant (*Zea mays* L.) for ammonia production and nitrogen fixation. *African Journal of Microbiology Research*, Vol. 12(34), pp. 829-834.
- Samancıoğlu, A. ve Yıldırım, E., 2015. Bitki gelişimini teşvik eden bakteri uygulamalarının bitkilerde kuraklığa toleransı artırmadaki etkileri. *Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20(1), pp.72-79.
- Setyowati, M., Susilowati, D.N., Suryadi, Y., 2017. Rhizosphere microbial genetic resources as PGPR potential isolated from maize inbred populations Var. Bisma. In *Proceedings. The 1st SATREPS Conference* (Vol. 1).
- Singh, K. and Gera, R., 2018. Assessing phosphate solubilization ability of *Sesbania grandiflora* rhizobia isolated from root nodules using diverse agroecological zones of Indian soils for biofertilizer production. *International Journal of Chemical Studies*, 6(4), pp.398-402.
- Vejan, P., Abdullah, R., Khadiran, T., Ismail, S., Nasrulhaq Boyce, A., 2016. Role of plant growth promoting rhizobacteria in agricultural sustainability -a review. *Molecules*, 21(5), p.573.
- Weber, N.F., Herrmann, I., Hochholdinger, F., Ludewig, U., Neumann, G., 2018. PGPR-induced growth stimulation and nutrient acquisition in maize: Do root hairs matter?. *Scientia Agriculturae Bohemica*, 49(3), pp.164-172.
- Weller, D.M. and Thomashow, L.S., 1994. Current challenges in introducing beneficial microorganisms into the rhizosphere. *Molecular ecology of rhizosphere microorganisms. Biotechnology and the release of GMOs*, pp.1-18.
- Yaseen, R., Zafar-ul-Hye, M., Hussain, M., 2019. Integrated application of ACC-deaminase containing plant growth promoting rhizobacteria and biogas slurry improves the growth and productivity of wheat under drought stress. *International journal of agriculture and biology*, 21(4), pp.869-878.
- Youseif, S.H., 2018. Genetic diversity of plant growth promoting rhizobacteria and their effects on the growth of maize plants under greenhouse conditions. *Annals of Agricultural Sciences*.
- Zaidi, A., Ahmad, E., Khan, M.S., Saif, S., Rizvi, A., 2015. Role of plant growth promoting rhizobacteria in sustainable production of vegetables: current perspective. *Scientia Horticulturae*, 193, pp.231-239.
- Zhang, L., Fan, J., Ding, X., He, X., Zhang, F., Feng, G., 2014. Hyphosphere interactions between an arbuscular mycorrhizal fungus and a phosphate solubilizing bacterium promote phytate mineralization in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 74, pp.177-183.