

Farklı Bakteri Uygulamalarının Domates (*Solanum lycopersicum* L.) Bitki Gelişimi Üzerine Etkileri

Badel UYSAL ŞAHİN¹, Mesude Figen DÖNMEZ^{1*}

ÖZET: Bu çalışma, 2015 yılında İğdir ili volkanik, kumlu ve tuzlu topraklarından elde edilen 25 PGPR straininin domates (*Solanum lycopersicum* L.) bitkisinin gelişimine etkisini değerlendirmek amacıyla yürütülmüştür. İzole edilen bakterilerin tanısı Mikrobiyal Tanılama Sistemi (MIS) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Azot fikse etme ve fosfat çözme özellikleri belirlenen strainlerin domates gelişimine etkisi gübre ve kontrol uygulamaları ile kıyaslanmış, ortalama ana kök uzunluğu, ortalama yan kök uzunluğu, bitki yüksekliği, gövde çapı ve dal sayısı parametreleri incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda; *Bacillus atrophaeus*, *Bacillus gordonae*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus sphaericus*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus thuringiensis kurstakii*, *Bacillus viscosus*, *Brevibacillus centrosporus*, *Brevibacillus choshinensis*, *Chryseomonas luteola*, *Microbacterium lacticum*, *Micrococcus luteus*, *Micrococcus lylaei*, *Pseudomonas balearica*, *Pseudomonas pseudoalcaligenes*, *Pseudomonas putida*, *Sphingobacterium faecium*, *Sphingomonas paucimobilis*, *Staphylococcus cohnii cohnii*, *Staphylococcus gallinarum* ve *Virgibacillus pantothenicus* olmak üzere 14 tür tanımlanmıştır. Bakteri uygulamalarının ele alınan parametreleri gübre ve hiç uygulama yapılmayan kontrol bitkilere kıyasla önemli düzeyde arttırdığı ve en yüksek etkinin *Bacillus* spp. türlerinde olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: PGPR, domates, toprak, İğdir, *Solanum lycopersicum* L.

Effects of Different Bacteria Applications on Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Plant Growth

ABSTRACT: This study was conducted to determine the effects of the 25 PGPR strains, which were isolated from the salty, sandy and volcanic soils in İğdir province, together with fertilizers and control applications on tomato seedlings in the year 2015. Tested bacteria were identified on the basis of the fatty acid types and their percentages of the strains using Microbial Identification System (MIS) computer software program. The effects of the bacterial strains, whose nitrogen fixation and phosphate solubilization properties were determined, on the growth of tomato seedlings were examined by comparing with fertilizers and control applications. Plant yield components i.e. the average length of main root, average length of lateral roots, plant height, stem diameter, leaves numbers were examined. Bacteria isolated as a result of the study; they were identified as *Bacillus atrophaeus*, *Bacillus gordonae*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus sphaericus*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus thuringiensis kurstaki*, *Bacillus viscosus*, *Brevibacillus centrosporus*, *Brevibacillus choshinensis*, *Chryseomonas luteola*, *Microbacterium lacticum*, *Micrococcus luteus*, *Micrococcus lylaei*, *Pseudomonas balearica*, *Pseudomonas pseudoalcaligenes*, *Pseudomonas putida*, *Sphingobacterium faecium*, *Sphingomonas paucimobilis*, *Staphylococcus cohnii cohnii*, *Staphylococcus gallinarum*, *Virgibacillus pantothenicus*. It has been determined that bacteria applications significantly increase the examined parameters compared to fertilizer and control plants and the highest effect was in *Bacillus* spp.

Keywords: PGPR, tomato, soil, İğdir, *Solanum lycopersicum* L.

¹ Badel UYSAL ŞAHİN (Orcid ID: 0000-0003-4061-769X), Mesude Figen DÖNMEZ (Orcid ID: 0000-0002-7992-8252), İğdir Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, İğdir, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Mesude Figen DÖNMEZ, e-mail: mesude.figen.donmez@igdir.edu.tr

GİRİŞ

Sebzecilik, ülkemiz tarımsal üretimi içinde önemli bir yere sahiptir. *Solanaceae* familyasının *Lycopersicum* cinsine bağlı tek yıllık bir bitki olan domates dünyada olduğu gibi ülkemizde de en çok üretilip tüketilen sebzelerin başında gelmektedir. Ülkemizde 2018 yılı itibariyle yaklaşık 8 milyon (8 206 680) dekar alanda 30 032 827 ton sebze üretilmiştir. Türkiye’de toplam sebze üretim miktarının % 40’lık kısmını domates oluşturmaktadır (Anonim, 2018). Domates çeşitli mineral ve vitaminleri içermesi ile önemli bir besin maddesi kaynağıdır ve bu yönüyle gıda sanayiinde de çok çeşitli kullanım alanlarına sahiptir (Keskin ve Gül 2004).

Artan dünya nüfusu ile birlikte tarım alanlarını genişletme imkânlarının sınırlı olması, birim alandan elde edilen ürün miktarının artırılmasını gerekli kılmaktadır (Midmore, 1993). Bitkisel üretim sisteminde mevcut hastalık ve zararlılarla mücadele etmek ve verimi artırabilmek için bilinçsiz ve gelişmiş gübre ve pestisit kullanımı birçok çevresel riski beraberinde getirmektedir. Dünyanın pek çok bölgesinde, potansiyel kirleticiler olan endüstriyel gübre ve pestisit kullanımının azaltılması amacıyla alternatif, çevre dostu uygulama arayışlarına girilmiştir. Bu amaç doğrultusunda hem verim hem de kaliteyi arttırmak amacıyla bitki büyümesini teşvik eden rizobakterilerin biyolojik gübre olarak kullanımı yaygınlaşmıştır (Burdman ve ark., 2000). Bitki büyümesini teşvik eden rizobakteriler genellikle bitkilerin rizosferinde veya bitki dokularının çevresinde gelişen, bitki büyümesini teşvik eden PGPR’lar olarak adlandırılan bakteri türleridir (Almaghrabi ve ark., 2013). PGPR’ların bitkilere direkt etkileri, azot fiksasyonu, fosfat çözme, demirin bitkiler tarafından kullanılabilirliğinin artırılması (biyofertilizasyon) ve / veya indol-3-asetik asit (IAA), gibberellinler ve sitokininler gibi fitohormonların üretimi ile besin maddelerinin alımını artırması, indirekt etkileri ise temel olarak mikrobiyal antagonizm, rekabet veya uyarılmış sistemik direnci (ISR) arttırarak bitki hastalıklarının görülme sıklığını bastırmak, selüloz, kitinaz gibi litik enzimlerin sentezlenmesini teşvik ederek bitki patojenlerinin çoğalmasını engellemek, hidrosiyamik asit (HCN) üreterek bitki kök yüzeylerini kolonize eden ve bitki büyümesini baskılayabilen yabancı otların gelişimini baskılamak, bazen eser miktarda bulunan besin için bitki patojeni ile rekabet ederek patojenin gelişimini baskılamak şeklindedir (Verhagen ve ark., 2004; Podile ve Kishore, 2006; Glick ve ark., 2007; Zeller ve ark., 2007; McMillan, 2007; Sharma ve ark., 2009; Vaikuntapu, 2014; Kundan ve ark., 2015; Widnyana, 2018).

Birçok pazarlanabilir biyo+gübre, temel olarak bitki gelişimine yararlı etki gösteren bitki gelişimini teşvik edici rizobakterilere dayanmaktadır ve bu genellikle konukçu bitkinin besin kullanılabilirliğinin artırılması ile ilgilidir (Vessey, 2003; Almaghrabi ve ark., 2013). PGPR’ların bitki büyümesini ve gelişimini iyileştirmedeki etkisiyle ve aynı zamanda biyotik ve abiyotik stres faktörlerine karşı bitki toleransını artırması göz önüne alındığında, sentetik gübrelere alternatif PGPR kullanımı sürdürülebilir tarım için çevre dostu uygulamaların geliştirilmesine yardımcı olacaktır.

Bu çalışmada, Iğdır ilindeki volkanik, kumlu ve tuzlu topraklardan elde edilen 25 potansiyel PGPR straininin, ülkemizde sofralarımızdan eksik olmayan ve ekonomik açıdan önemli bir paya sahip en önemli sebze türü olan domates bitkisi üzerindeki gelişim parametrelerine etkisi değerlendirilmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Antalya Agrotek Tohum firmasından temin edilen M-7111 domates (*Solanum lycopersicum* L.) çeşidi, NPK (Kompoze Gübre (Toros Tarım)) ve Iğdır ili volkanik, kumlu ve tuzlu topraklardan izole edilen bakteriyel strainler çalışmanın materyalini oluşturmaktadır.

Yöntem

Bakteri İzolasyonu ve Tanısı

PGPR strainlerin izolasyonu Iğdır iline ait farklı lokasyonlardan alınan volkanik, kumlu ve tuzlu topraklardan elde edilen örneklerden gerçekleştirilmiştir. Örnekleme toprak örneği alınan alanı temsil edecek şekilde yapılmış olup, örnekler laboratuvara getirilene kadar soğuk ortamda tutulmuştur. Laboratuvar koşullarında toprak örnekleri kurutularak 0.1 mm'lik toprak eleğinden geçirilmiştir. Elenmiş toprak örneklerinden 5 gr alınarak içerisinde 20 ml steril saf su bulunan test tüplerine aktarılmış ve oda sıcaklığında 30 dakika çalkalanmıştır. Çalkalama işleminden sonra süspansiyondan 1 ml alınarak içerisinde 9 ml steril saf su bulunan tüplerde dilüsyonlar hazırlanmıştır. 10^4 ve 10^5 dilüsyonlardan 80 µl alınarak 3 tekerrürlü olarak Nutrient Agar (NA) besiyerlerine ekimleri yapılmıştır. 26 °C'de 7 gün süre ile petrilerdeki koloni gelişimleri incelenerek saflaştırma yapılmıştır (de Freitas ve ark., 1997). Saf bakteri strainlerine ait 24 h'lik kültürlerden bir öze dolusu alınmış, içerisinde 500 µl % 30'luk gliserol ve 500 µl LB bulunan steril eppendorf tüplere aktararak homojenizasyonu sağlanmış ve stok kültürleri oluşturularak denemede kullanılmak üzere -80 °C'de muhafaza edilmiştir. Saflaştırılan bakteriyel strainlerden yağ asit metil ester ekstraksiyonu (FAME), izolasyonu, saflaştırılması ve tanısı bilgisayar kontrollü gaz kromatografi sisteminin standart protokolü kullanılarak yapılmıştır (Paisley, 1995). Referans kültür olarak MFD 149 *Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola* (MIS tanılama yüzdesi 91) kullanılmıştır.

PGPR'ların Azot Fiksasyon ve Fosfat Çözme Özelliklerinin Belirlenmesi

Bakterilerin azot fiksasyon özellikleri, 24-48 saatlik bakteri kültürlerinin N-Free Solid Malate-Sucrose besiyerine ekimleri yapıldıktan sonra 26 °C'de 7 günlük inkübasyon sonrası gelişimine göre pozitif, negatif, kuvvetli pozitif ve zayıf pozitif olarak değerlendirilmiştir.

Bakterilerin fosfatı indirgeme özellikleri tüplerde hazırlanan NBRIP (National Botanical Research Institute's phosphate growth medium) sıvı besi yeri kullanılarak belirlenmiştir. Besiyerindeki renk değişimi 15 gün boyunca gözlemlenmiş ve renk açılması temel alınarak strainler pozitif, negatif, kuvvetli pozitif ve zayıf pozitif olarak değerlendirilmiştir (de Freitas ve ark., 1997).

Bitki Materyali Büyüme Koşulları ve İnokulasyon

Azot fiksasyon ve fosfat çözme yetenekleri olduğu tespit edilen ve -80 °C'de muhafaza edilen bakteri strainleri NA besi ortamına ekilerek 26 °C'de 24 h inkübe edilmiştir. Gelişen bakteri kültüründen 1 öze dolusu alınarak içerisinde Nutrient Broth olan erlen mayerlere transfer edilmiştir. Kontamine edilen besiyerleri 26 °C'de 140 rpm'de çalkalayıcıda 1 gece gelişmeye bırakılmıştır. Hazırlanan bakteri solüsyonlarının konsantrasyonu steril saf su ile 10^8 cfu/ml'ye ayarlanmıştır. Dezenfekte edilen domates tohumları bakteri inokulumu içerisinde 2 h süreyle bekletilmiştir. Bakterilerin tohuma yapışması için sukroz kullanılmıştır. Her bir bakteri straini ile inokule edilen domates tohumları viyollere ekilerek bitki büyüme kabininde çimlenmeye bırakılmıştır. Bakteri uygulamalarının yapılmış olduğu domates tohumları çimlenme sonrası içerisinde steril torf, toprak ve kum (1:1:1) karışımı olan 47 x 39 cm çaplı saksılara şaşırtılmıştır.

Ayrıca sadece NPK gübre uygulaması ve hiç uygulama yapılmayan kontrol bitki grupları oluşturulmuştur.

Gübre Uygulaması

Gübre uygulaması Toros Gübre'den temin edilen NPK 15.15.15 saksı başına 4 gr olacak şekilde bitkilerin saksılara şaşırtılması sırasında uygulanmıştır.

Bitki Gelişim Parametrelerinin İncelenmesi

Fideler yaklaşık olarak 45 günlük döneme geldiğinde her bir bakteri, gübre uygulaması ve hiç uygulama yapılmayan kontrol grupları üzerinde ana kök uzunluğu, yan kök uzunluğu, bitki yüksekliği, gövde çapı ve yaprak sayısı parametreleri ile ilgili ölçümler yapılmıştır.

İstatistiksel Analiz

Çalışma, tesadüf parselleri deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Üzerinde durulan özellikler bakımından tanıtıcı istatistikler ortalama ve standart hata olarak ifade edilmiştir. Bu özellikler bakımından uygulamaları (bakteriyel strainler, gübre, kontrol) karşılaştırmada tek yönlü varyans analizi (One way ANOVA) kullanılmıştır. Varyans analizini takiben önemli farklılıkların belirlenmesinde Tukey çoklu karşılaştırma testi yapılmıştır. Hesaplamalarda istatistik önemlilik düzeyi % 5 olarak alınmış ve hesaplamalar için MINITAB (ver:19) istatistiki paket programı kullanılmıştır (Düzgüneş ve ark., 1987).

BULGULAR VE TARTIŞMA

İğdir ili volkanik, tuzlu ve kumlu topraklardan izole edilen ve saflaştırılan 25 farklı bakteri straini, yağ asit metil esterleri profillerine göre Microbial Identification System (MIS) kullanılarak 9 farklı cinse (*Bacillus*, *Brevibacillus*, *Chryseomonas Kocuria*, *Pseudomonas Microbacterium Micrococcus*, *Sphingomonas Staphylococcus*, ve sp.) ait 14 potansiyel PGPR strain (*Bacillus atrophaeus*, *Bacillus gordonae*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus-thuringiensis kurstakii*, *Bacillus subtilis*, *Brevibacillus hoshinensis*, *Chryseomonas uteola*, *Kocuria osea*, *Microbacterium lacticum*, *Micrococcus lylae*, *Micrococcus luteus*, *Pseudomonas putida*, *Staphylococcus gallinarum*, *Sphingomonas paucimobilis*) tanılanmıştır. Tanılanan bakterilerin azot fiksetme ve fosfat çözme yetenekleri test edilmiştir. Test sonuçlarına göre HK23 nolu strain dışında tüm strainlerin azot fiksetme, 16 adet strainin de fosfat çözme yeteneklerinin bulunduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 1. Denemede kullanılan strainlerin tanı sonuçları ve bazı özellikleri

| Strain No* | Bakterilerin MIS (Mikrobiyal Tanı Sistemi) Tanı Sonuçları | Benzerlik İndeksi | Azot Fikse Etme | Fosfat Çözme |
|------------|---|-------------------|-----------------|--------------|
| 1 | HV1 <i>Micrococcus luteus</i> | 0.75 | K (+)** | K (+) |
| 2 | HV5 <i>Staphylococcus gallinarum</i> | 0.72 | K (+) | K (+) |
| 3 | HV6 <i>Kocuria osea</i> | 0.40 | K (+) | (-) |
| 4 | HV7 <i>Bacillus atrophaeus</i> | 0.59 | K (+) | (-) |
| 5 | HV8 <i>Bacillus atrophaeus</i> | 0.59 | K (+) | (-) |
| 6 | HV10 <i>Bacillus megaterium</i> | 0.67 | K (+) | (-) |
| 7 | HV11 <i>Bacillus atrophaeus</i> | 0.67 | K (+) | Z (+)** |
| 8 | HV13 <i>Bacillus spp.</i> | 0.53 | K (+) | K (+) |
| 9 | HV15 <i>Bacillus subtilis</i> | 0.77 | K (+) | (-) |
| 10 | HV19 <i>Sphingomonas paucimobilis</i> | 0.76 | K (+) | (+) |
| 11 | HV21 <i>Bacillus thuringiensis kurstakii</i> | 0.70 | K (+) | Z (+) |
| 12 | HV22 <i>Micrococcus lylae</i> | 0.73 | K (+) | (-) |
| 13 | HV24 <i>Pseudomonas putida</i> | 0.52 | K (+) | (+) |
| 14 | HV26 <i>Bacillus-thuringiensis kurstakii</i> | 0.61 | (+) | (+) |
| 15 | HK5 <i>Bacillus megaterium</i> | 0.83 | K (+) | K (+) |
| 16 | HK10 <i>Bacillus gordonae</i> | 0.37 | K (+) | (-) |
| 17 | HK12 <i>Bacillus megaterium</i> | 0.93 | K (+) | K (+) |
| 18 | HK23 <i>Bacillus gordonae</i> | 0.39 | (-) | (+) |
| 19 | HK26 <i>Bacillus thuringiensis kurstakii</i> | 0.83 | K (+) | K (+) |
| 20 | HK29 <i>Bacillus atrophaeus</i> | 0.86 | K (+) | K (+) |
| 21 | HK34 <i>Bacillus spp.</i> | 0.80 | K (+) | Z (+) |
| 22 | HT4 <i>Bacillus atrophaeus</i> | 0.79 | K (+) | K (+) |
| 23 | HT7 <i>Brevibacillus hoshinensis</i> | 0.65 | K (+) | (-) |
| 24 | HT8 <i>Chryseomonas uteola</i> | 0.40 | K (+) | K (+) |
| 25 | HT14 <i>Microbacterium lacticum</i> | 0.53 | (+) | Z (+) |

* HT; tuzlu, HV; volkanik, HK; kumlu topraklardan izole edilen strainler

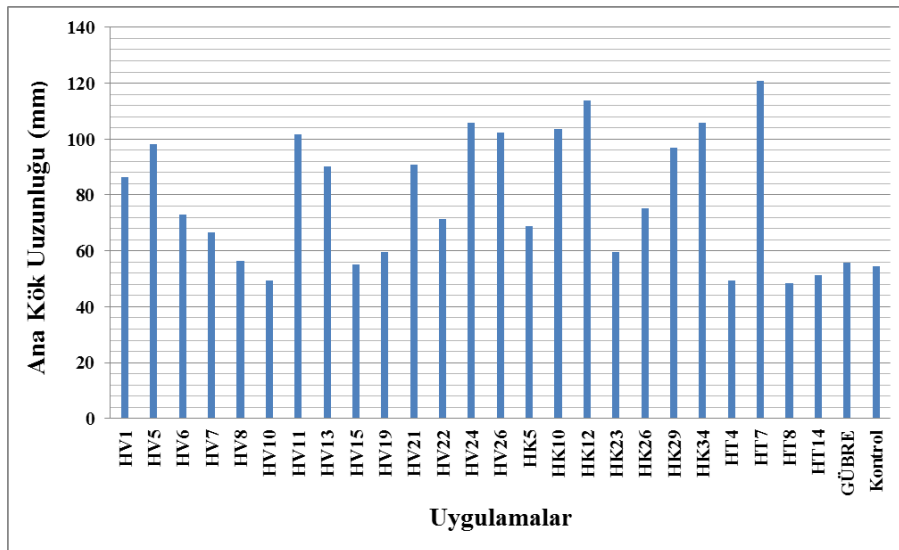
** K(+); kuvvetli pozitif, Z(+); Zayıf pozitif

PGPR strainlerinin tanı sonuçları ve azot fikse etme ve fosfat çözme özellikleri Çizelge 1'de verilmektedir.

2015 yılında yürütülen bu çalışmada bakteri etkinliği ele alınan parametrelere göre değişiklik göstermiştir. Bakteri uygulamalarının domates fidelerinde bitki gelişimiyle ilgili bazı parametrelere etkisi Çizelge 2 ve Şekil 1, Şekil 2, Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5'de verilmektedir.

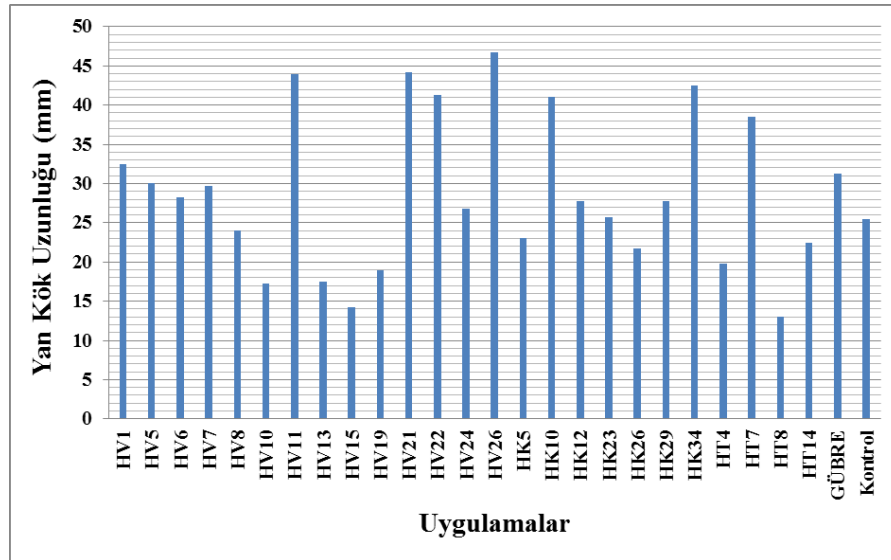
Çizelge 2. Bakteri uygulamalarının domates fidelerinde bitki gelişimiyle ilgili bazı parametrelere etkisi

| Strain No | Ana Kök Uzunluğu (mm) | Yan Kök Uzunluğu (mm) | Gövde Uzunluğu (cm) | Gövde Kalınlığı (mm) | Dal Sayısı (adet) | |
|-----------|-----------------------|-----------------------|---------------------|----------------------|-------------------|----------------|
| 1 | HV1 | 86.3 ± 19.2 ab | 32.50 ± 2.50 ag | 24.00 ± 2.48 ab | 4.20 ± 0.39 ac | 6.50 ± 0.29 ac |
| 2 | HV5 | 98.1 ± 20.4 ab | 30.00 ± 7.74 ag | 28.25 ± 3.20 ab | 4.93 ± 0.56 ac | 6.00 ± 0.41 ad |
| 3 | HV6 | 73.1 ± 21.3 ab | 28.25 ± 6.56 ag | 18.50 ± 2.60 ac | 4.31 ± 0.39 ac | 5.50 ± 0.29 ad |
| 4 | HV7 | 66.6 ± 10.6 ab | 29.75 ± 3.79 ag | 21.50 ± 1.89 ab | 4.60 ± 0.21 ac | 6.50 ± 0.29 ac |
| 5 | HV8 | 56.4 ± 16.4 ab | 24.00 ± 1.83 ah | 28.25 ± 1.60 ab | 4.44 ± 0.30 ac | 6.50 ± 0.29 ac |
| 6 | HV10 | 49.30 ± 9.26 ab | 17.25 ± 3.68 eh | 29.25 ± 5.56 ab | 4.15 ± 0.35 ac | 4.75 ± 0.63 ce |
| 7 | HV11 | 101.7 ± 16.1 ab | 44.00 ± 5.52 ac | 21.00 ± 5.40 ac | 4.75 ± 0.54 ac | 5.75 ± 0.48 ad |
| 8 | HV13 | 90.32 ± 8.36 ab | 17.50 ± 1.44 eh | 29.50 ± 0.87 ab | 4.94 ± 0.27 ac | 5.50 ± 0.29 ad |
| 9 | HV15 | 55.0 ± 21.2 ab | 14.25 ± 2.95 fh | 18.50 ± 3.28 ac | 3.58 ± 0.80 bc | 5.00 ± 0.41 be |
| 10 | HV19 | 59.7 ± 10.4 ab | 19.00 ± 5.02 dh | 20.00 ± 3.87 ac | 4.10 ± 0.07 ac | 4.50 ± 0.65 de |
| 11 | HV21 | 90.97 ± 7.05 ab | 44.25 ± 6.24 ab | 27.00 ± 2.12 ab | 4.95 ± 0.25 ac | 7.00 ± 0.00 a |
| 12 | HV22 | 71.5 ± 12.7 ab | 41.25 ± 3.12 ac | 16.00 ± 4.14 bc | 4.12 ± 0.30 ac | 5.75 ± 0.48 ad |
| 13 | HV24 | 105.7 ± 22.4 ab | 26.75 ± 1.18 ah | 31.00 ± 2.12 ab | 5.12 ± 0.32 ac | 6.00 ± 0.41 ad |
| 14 | HV26 | 102.3 ± 27.8 ab | 46.75 ± 9.00 a | 25.50 ± 1.55 ab | 4.51 ± 0.23 ac | 6.00 ± 0.00 ad |
| 15 | HK5 | 68.86 ± 6.19 ab | 23.00 ± 4.26 ah | 33.00 ± 1.22 a | 5.77 ± 0.20 a | 6.50 ± 0.29 ac |
| 16 | HK10 | 103.8 ± 20.4 ab | 41.00 ± 7.70 ac | 25.00 ± 2.20 ab | 4.59 ± 0.34 ac | 6.50 ± 0.29 ac |
| 17 | HK12 | 113.9 ± 43.2 ab | 27.75 ± 2.63 ag | 33.50 ± 1.94 a | 5.75 ± 0.22 a | 5.75 ± 0.25 ad |
| 18 | HK23 | 59.68 ± 6.41 ab | 25.75 ± 2.39 ah | 21.50 ± 2.96 ab | 4.84 ± 0.43 ac | 5.50 ± 0.29 ad |
| 19 | HK26 | 75.2 ± 18.9 ab | 21.75 ± 4.09 bh | 23.25 ± 2.25 ab | 4.24 ± 0.32 ac | 6.25 ± 0.25 ad |
| 20 | HK29 | 96.9 ± 21.8 ab | 27.75 ± 3.57 ag | 24.25 ± 1.65 ab | 5.08 ± 0.57 ac | 6.25 ± 0.25 ad |
| 21 | HK34 | 105.7 ± 12.2 ab | 42.50 ± 2.06 ad | 27.25 ± 2.14 ab | 5.46 ± 0.14 ab | 6.75 ± 0.25 ab |
| 22 | HT4 | 49.5 ± 10.7 ab | 19.75 ± 3.68 ch | 21.50 ± 4.77 ab | 4.38 ± 0.36 ac | 4.75 ± 0.63 ce |
| 23 | HT7 | 120.7 ± 18.9 a | 38.50 ± 4.52 af | 31.25 ± 1.11 a | 4.97 ± 0.19 ac | 7.00 ± 0.00 a |
| 24 | HT8 | 48.5 ± 15.0 ab | 13.00 ± 3.46 gh | 20.75 ± 3.64 ac | 4.43 ± 0.56 ac | 4.75 ± 0.25 ce |
| 25 | HT14 | 51.18 ± 5.75 ab | 22.50 ± 4.27 ah | 24.75 ± 1.25 ab | 5.18 ± 0.48 ab | 5.25 ± 0.25 ae |
| 26 | GÜBRE | 55.75 ± 3.21 ab | 31.25 ± 2.17 ag | 27.00 ± 1.35 ab | 4.45 ± 0.16 ac | 4.75 ± 0.25 ce |
| 27 | KONTROL | 54.62 ± 4.19 ab | 25.50 ± 5.39 ah | 28.52 ± 0.65 ab | 4.49 ± 0.28 ac | 4.75 ± 0.25 ce |



Şekil 1. Uygulamaların domates bitkisi ana kök uzunluğuna etkisi

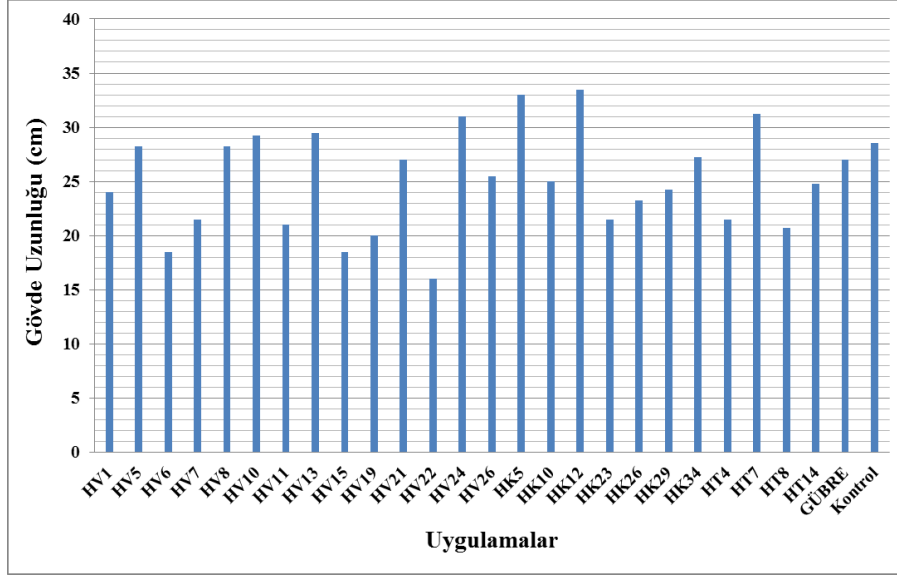
Çizelge 2 ve Şekil 1 incelendiğinde HV1, HV6, HV7, HV11, HV13, HV21, HV22, HV24, HV26, HK5, HK10, HK12, HK26, HK29, HK34 nolu strainler istatistiksel olarak gübre ve kontrol uygulamaları ile aynı grupta yer almalarına karşın gübre ve kontrol uygulamalarına göre daha yüksek ana kök uzunluğu oluşumu sağladıkları tespit edilmiştir. HT7 nolu strainin gübre ve kontrol uygulamalarına kıyasla domates fide ana kök uzunluğunu istatistiksel olarak önemli düzeyde arttırdığı tespit edilmiştir. Ana kök uzunluğunda artış olmasını sağlayan bakterilerin tamamının azot fiksetme kabiliyetleri bulunmaktadır. Gübre ve kontrol uygulamalarında ana kök uzunluğu sırasıyla 55.75 ve 54.62 mm olarak belirlenmiştir. En yüksek ana kök uzunluğu 120.7 mm ile *Brevibacillus hoshinensis* (HT7) ile muamele edilen bitkilerde saptanmıştır. *Brevibacillus hoshinensis* bakterisinin fosfat çözme yeteneği bulunmazken azot fiksetme kabiliyeti kuvvetli pozitif olarak belirlenmiştir. Kök gelişiminde fosfor önemli olmasına rağmen tek unsur olarak rol oynamamaktadır. Nitekim Garcia ve ark. (2004) PGPR'lar tarafından üretilen fitohormonların, köklerde büyümeyi teşvik ettiğini bildirmişlerdir. Ashrafuzzaman ve ark. (2009) ise çeltik bitkisinde PGPR strainlerinin fide kök boyunu önemli ölçüde arttırdığını bildirmişlerdir. Walia ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada çeşitli *Bacillus* türlerinin (*B. subtilis*, *B. vallismortis*, *B. amyloliquefaciens*) domates fidesi üzerine etkisi incelenmiş *B. subtilis* CKT1 straininin kök uzunluğunu % 21.12 arttırdığı tespit edilmiştir. Ahirwar ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışmada *P. fluorescens* SS5 strainin domateste kök uzunluğunu arttıran en iyi bakteri olduğu bulunmuştur. *P. fluorescens*'in fosfatı çözdüğü, IAA, HCN ve siderofor ürettiği belirlenmiştir. Ayrıca *P. fluorescens* SS5 straininin rizosferdeki doğal bakteri popoulasyonunu olumsuz yönde etkilemediği tespit edilmiştir. Vaikuntapu ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada domatesten izole edilen *Aeromonas*, *Pseudomonas*, *Bacillus* ve *Enterobacter* cinslerine ait bakterilerin IAA, siderofor ürettiği ve ACC deaminaz aktivitesine sahip olduğu ve domates tohumlarının bakterizasyonu ile bitki gelişimini arttırdığı belirlenmiştir.



Şekil 2. Uygulamaların domates bitkisi yan kök uzunluğuna etkisi

Çizelge 2 ve Şekil 2 incelendiğinde hiç uygulama yapılmayan kontrol bitkilerine kıyasla HV1, HV5, HV7 nolu strainlerin, gübre ve hiç uygulama yapılmayan kontrol bitkilerine kıyasla HV11, HV21, HV22, HV26, HK10, HK34 ve HT7 nolu strainlerin yan kök uzunluğunu önemli düzeyde arttırdığı belirlenmiştir. HV26 nolu strainin 46.75 mm ile gübre ve kontrol uygulamalarına kıyasla en yüksek yan kök uzunluğunu sağladığı tespit edilmiştir. HV26 nolu straini takiben en yüksek yan kök uzunluğu 44.25 mm ile HV21 ve 44.00 mm ile HV11 nolu strainin uygulanması sonucunda tespit edilmiştir. Tanı

sonuçlarına göre HV26 ve HV21 *Bacillus-thuringiensis kurstakii* HV11 nolu strainin ise *Bacillus atrophaeus* olduğu tespit edilmiştir. Fide şaşırtıldıktan sonra kazık kök gelişimi durmakta ve yan kökler gelişmeye başlamaktadır. Domates bitkisinde yan kök gelişimi bitki besin alımı açısından avantaj sağlamaktadır. Fideler şaşırtıldıktan sonra kazık kök gelişimi durmakta ve yan kökler gelişmeye başlamaktadır. Yan kök gelişimi ise bitki besin alımının artmasını sağlamaktadır. Bu yönüyle bakteri uygulamaları bitki için elverişli besin miktarı alımını yükseltecek ve bitki gelişimini arttıracaktır.

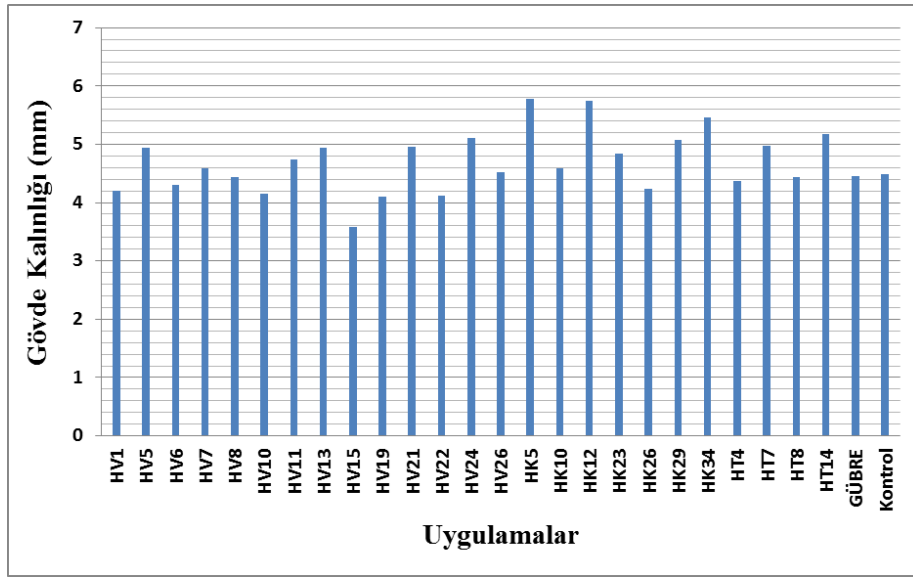


Şekil 3. Uygulamaların domates gövde uzunluğuna etkisi

Çizelge 2 ve Şekil 3 incelendiğinde gübre uygulamalarına kıyasla HV5, HV8, HV10, HV13, HV24, HK5, HK12 ve HT7 nolu strainlerin, hiç uygulama yapılmayan kontrol grupları ve gübre uygulamalarına kıyasla HV10, HV13, HV24, HK5, HK12 ve HT7 nolu strainlerin gövde uzunluğunu önemli düzeyde arttırdığı tespit edilmiştir. HK5 ve HK12 nolu strainler *Bacillus megaterium* olarak tanımlanmıştır ve % 22'lik bir artışla gövde uzunluğuna en iyi etkiyi gösteren bakteri strainleri olarak belirlenmiştir. Aynı zamanda her iki straininde azot fiksetme ve fosfat çözme yeteneklerinin K(+) olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada da 45 günlük domates bitkilerinde en yüksek bitki boyu HK5 ve HK12 uygulamaları sonrasında sırasıyla 33.00 ve 33.50 cm olarak tespit edilmiştir. Ortíz-Castro ve ark. (2008) *Bacillus megaterium* olarak tanıladıkları bir strainin *A. thaliana* ve *P. vulgaris* fidelerinin büyümesini desteklediğini bildirmişlerdir. Gholami ve ark. 2009 yılında yapmış oldukları çalışmada PGPR strainlerinin mısır bitki boyunu arttırdığını bildirmişlerdir. Abdel-Monaim ve ark. 2012 tarafından yapılan çalışmada domates bitkisine *Bacillus cereus* (BCM8), *B. megaterium* (BMM5) uygulamaları sonucu kontrol bitkilere kıyasla bitki boyunda artış olduğunu bildirmişlerdir. Almaghrabi ve ark. (2013) tarafından yapılan çalışmada *P. putida*, *P. fluorescens*, *Serratia marcescens*, *B. amyloliquefaciens*, *B. subtilis* ve *B. cereus* olmak üzere 6 PGPR strainin domates gelişimine etkisi araştırılmıştır. Bitki boyu *S. marcescens* inokulasyonu sonrası 52.66 cm, *P. fluorescens* uygulaması sonrasında 50.66 cm olarak belirlenmiştir. *P. putida* ve *P. amyloliquefaciens* uygulamaları sonucunda ise bitki boyu 48 cm olarak tespit edilmiştir.

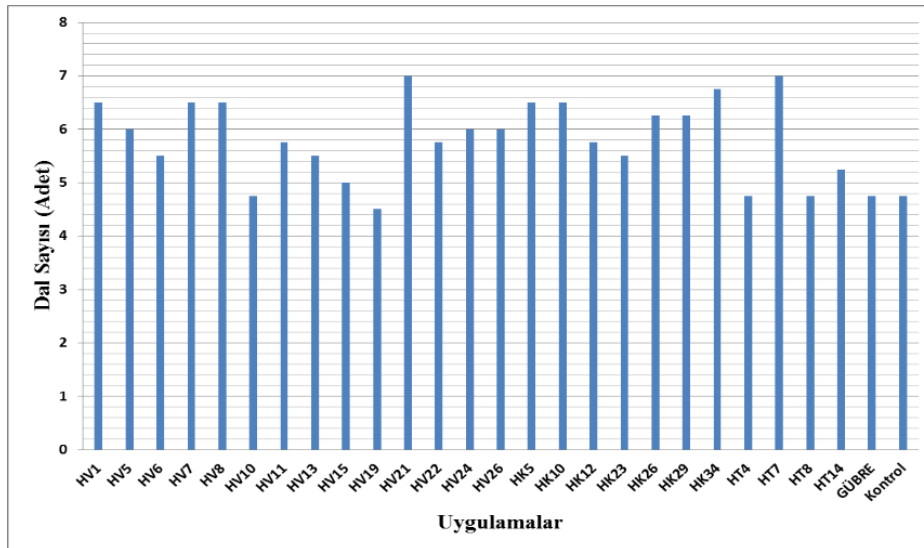
Yapılan bütün uygulamaların kontrol grubundaki bitkilere kıyasla olumlu yönde belirgin farklılıklar oluşturduğu görülmüştür. Maina ve ark. (2013) tarafından yapılan çalışmada *B. subtilis*, *P. fluorescens*, *B. megaterium* ve *Azotobacter chroococcum* strainlerinin kombinasyonlarının kontrole göre bitki boyunu, yaprak-dal-meyve sayısını arttırdığı belirlenmiştir. Kumar ve ark. 2014 tarafından yapılan çalışmada tek başına *B. megaterium* uygulamasının kontrol bitkilere kıyasla buğday bitki boyunu % 12.3

oranında arttırdığını bildirmişlerdir. Walia ve ark. (2014) tarafından *B. subtilis* CKT1 strainin bitki boyunu % 5. 222 oranında arttırdığı tespit edilmiştir.



Şekil 4. Uygulamaların domates bitkisi gövde kalınlığına etkisi

Çizelge 2 ve Şekil 4 incelendiğinde HK5, HK12, HK34 ve HT7 nolu strainlerin domates bitkisi gövde kalınlığını istatistiksel olarak önemli düzeyde arttırmıştır. HV5, HV13, HV21, HV24, HK23, HK29, ve HT14 nolu strainlerin gübre ve hiç uygulama yapılmayan kontrol bitkileri ile aynı istatistiksel grupta bulunduğu ancak sayısal olarak gövde kalınlığını arttırdığı saptanmıştır. Moustaine ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmaya göre *Bacillus* cinsine ait bakterilerin, domates bitkisi gövde kalınlığı üzerinde gelişimi uyarıcı etkisini ortaya koymuşlardır. Bu çalışmada da HK5, HK12, HK34 ve HK7 nolu strainler sırasıyla *Bacillus megaterium*, *Bacillus* spp., *Brevibacillus hoshinensis* olarak tanımlanmıştır.



Şekil 5. Uygulamaların domates bitkisi dal sayısına etkisi

Çizelge 2 ve Şekil 5 incelendiğinde HV1, HV5, HV6, HV7, HV8, HV11, HV13, HV21, HV22, HV24, HV26, HK5, HK10, HK12, HK23, HK26, HK29, HK34, HT8 ve HT14 nolu strainlerin domates bitkisinin dal sayısını önemli düzeyde arttırdığı bulunmuştur. Kloepper ve ark. (1993) PGPR'nin fitohormonu sentezleyerek, çeşitli aşamalarda bitki büyümesini teşvik ettiğini bildirmişlerdir. Mena-

Violante ve ark. (2007)'na göre bitki büyümesini destekleyen PGPR *Bacillus subtilis* BEB-1Sbs (BS13) uygulamalarının domatesta verimi hiç uygulama yapılmayan kontrol gruplarına göre arttırdığı bildirilmiştir. Vaikuntapu ve ark. (2014) domates bitkisinin farklı kısımlarından ve toprak alanlarından izole edilen 74 farklı bakteri straini içinden *Aeromonas*, *Pseudomonas*, *Bacillus* ve *Enterobacter* olarak tanımlanan bakterilerin domates büyüme ve gelişimini olumlu yönde etkilediğini bildirmişlerdir. Yapılan bu çalışmada da buna paralel olarak domates fide ana kök uzunluğu, yan kök uzunluğu, gövde kalınlığı ve dal sayısı verim unsurlarını olumlu etkileyen PGPR bakterilerin çoğunluğu *Bacillus* türleri olarak tanımlanmış olup, etki ele alınan parametrelere göre değişmekle birlikte en yüksek değerler *Bacillus* cinsine ait türlerde tespit edilmiştir. *Bacillus*, *Pseudomonas* ve *Enterobacter* rizobakteri strainlerinin majör kök kolonizeleri olduğu ve bitki gelişimini arttırdıkları çeşitli çalışmalarla ortaya konulmuştur. Bu bakteri strainlerinin antibiyotik, siderofor ve indol asetik asit üretimi, yer ve besin için rekabet, proteaz gibi patojene ait enzimlerin inaktivasyonu, kök gelişimini arttırması ve dayanıklılık teşviki gibi mekanizmalarla bitki gelişiminde rol aldıkları belirlenmiştir. PGPR kullanımı bakterilerin sahip olduğu çeşitli mekanizmalar yoluyla bitki büyümesini ve gelişimini teşvik etmektedir. PGPR'ların fitohormonların üretimi, zararlı organizmaların baskılanması, fosfat çözünürlüğünün aktivasyonu ve mineral besin alımının teşvik edilmesi gibi birkaç mekanizma ile teşvik ettiği düşünülmektedir (Almaghrabi ve ark., 2013).

SONUÇ

Iğdır ili volkanik, tuzlu ve kumlu topraklardan izole edilen ve saflaştırılan 25 bakteri straini *Micrococcus luteus*, *Staphylococcus gallinarum*, *Kocuria osea*, *Bacillus atrophaeus*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus subtilis*, *Sphingomonas paucimobilis*, *Micrococcus lylae*, *Pseudomonas putida*, *Bacillus-thuringiensis kurstakii*, *Bacillus gordonae*, *Bacillus gordonae*, *Brevibacillus hoshinensis*, *Chryseomonas uteola*, *Microbacterium lacticum* olarak tanımlanmıştır.

Tanımlanan bakterilerin domates tohumlarına inokulasyonu sonrası gelişen bitkilerde ana kök uzunluğu, yan kök uzunluğu, gövde uzunluğu, gövde kalınlığı ve dal sayısı gibi verim unsurlarını önemli düzeyde arttığı tespit edilmiştir.

Bu sonuçlar; test edilen bakterilerin domates bitkisi verim unsurları üzerinde olumlu etkileri olduğunu, domates verim unsurlarını arttırabileceğini, organik tarımda sentetik gübrelere alternatif olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktadır. Böylece başarılı bulunan mikroorganizmaların kullanımı ile besin elementlerinin doğal döngü içerisinde tekrar toprağa ve daha sonrasında ise bitkilere kazandırılması sağlanacak ve tarımsal kimyasallara daha az bağımlı kalınacaktır.

KAYNAKLAR

- Abdel-Monaim MF, Abdel-Gaid MA, El-Morsy MEMA, 2012. Efficacy of rhizobacteria and humic acid for controlling Fusarium wilt disease and improvement of plant growth, quantitative and qualitative parameters in tomato. *International Journal of Phytopathology*, 1(1), 39-48.
- Ahirwar NK, Gupta G, Singh V, Rawley RK, Ramana S, 2015. Influence on growth and fruit yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) plants by inoculation with *Pseudomonas fluorescense* (SS5): Possible role of plant growth promotion. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci*, 4(2), 720-730.
- Anonim, 2018. TÜİK-Türkiye İstatistik Kurumu. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr> (Erişim Tarihi: 15.08.2019).
- Almaghrabi OA, Massoud SI, Abdelmoneim TS, 2013. Influence of inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on tomato plant growth and nematode reproduction under greenhouse conditions. *Saudi journal of biological sciences*, 20(1), 57-61.

- Ashrafuzzaman M, Hossen FA, Ismail MR, Hoque A, Islam MZ, Shahidullah SM, Meon S, 2009. Efficiency of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) for the enhancement of rice growth. *African Journal of Biotechnology*, 8(7).
- Burdman S, Jurkevitch E, Okon Y, 2000. Recent advances in the use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in agriculture. *Microbial interactions in agriculture and forestry (Volume II)*, 229-250.
- De Freitas JR, Banerjee MR, Germida JJ, 1997. Phosphate-solubilizing rhizobacteria enhance the growth and yield but not phosphorus uptake of canola (*Brassica napus* L). *Biol Fertil Soils*, 24, 358-364.
- Düzgüneş O, Kesici T, Kavuncu O, Gürbüz, F, 1987. Araştırma ve deneme metodları (İstatistik Metodları-II), Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 1021, 295.
- Garcia JAL, Probanza A, Ramos B, Palomino M, Mañero FJG, 2004. Effect of inoculation of *Bacillus licheniformis* on tomato and pepper. *Agronomie*, 24, 169–176.
- Glick BR, Cheng Z, Czarny J, Duan J, 2007. Promotion of plant growth by ACC deaminase-producing soil bacteria. In *New perspectives and approaches in plant growth-promoting Rhizobacteria research*. Springer, 329-339.
- Gholami A, Shahsavani S, Nezarat S, 2009. The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on germination, seedling growth and yield of maize. *Int J Biol Life Sci*, 1(1), 35-40.
- Keskin G, Gül U, 2004. Domates. *Tarımsal Ekonomi Araştırma Enstitüsü Bakış Dergisi*, Say: 5.
- Kloepper, J.W. (1993). Plant growth-promoting rhizobacteria as biological control agents, *Applications in Agricultural and Environmental Management*. F. B. Metting, Jr., ed. Marcel Dekker Inc., New York, USA. *Soil Microbial Ecology*, 255-274.
- Kundan R, Pant G, Jadon N, Agrawal PK, 2015. Plant growth promoting rhizobacteria: mechanism and current prospective. *J Fertil Pestic*, 6(2), 9.
- Kumar A, Maurya BR, Raghuwanshi R, 2014. Isolation and characterization of PGPR and their effect on growth, yield and nutrient content in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 3(4), 121-128.
- Maina CC, Shivaprakash MK, Devi TS, 2013. Establishment of Tomato Seedlings Raised in the Substrate Enriched Consortia of Biocontrol Agents and PGPRs. *Editorial Committee*, 47(1), 6-10.
- Mena-Violante HG, Olalde-Portugal V, 2007. Alteration of tomato fruit quality by root inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): *Bacillus subtilis* BEB-13bs. *Scientia Horticulturae*, 113(1), 103-106.
- McMillan S, 2007. Promoting growth with PGPR. *The Canadian Organic Grower*. Soil Foodweb Canada Ltd. Soil Biology Lab. & Learning Centre, 3-34.
- Midmore DJ, 1993. Agronomic modification of resource use and intercrop productivity. *Field Crops Research*, 34(3-4), 357-380.
- Moustaine M, Elkahkahi R, Benbouazza A, Benkirane R, Achbani EH, 2017. Effect of plant growth promoting rhizobacterial (PGPR) inoculation on growth in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and characterization for direct PGP abilities in Morocco. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 2(2).
- Ortiz-Castro R, Valencia-Cantero E, López-Bucio J, 2008. Plant growth promotion by *Bacillus megaterium* involves cytokinin signaling. *Plant signaling & behavior*, 3(4), 263-265.
- Paisley R, 1995. MIS whole cell fatty acid analysis by gas chromatography. MIDI, Inc., Newark, DE, 5.
- Podile AR, Kishore GK, 2006. Plant-associated bacteria. In: Gnanamanickam SS (ed) *Plant growth promoting rhizobacteria*. Springer, Amsterdam, pp 195-230.

- Sharma MVRK, Saharan K, Prakash A, 2009. Application of fluorescent pseudomonads inoculant formulation on *Vigna mungo* through field trials. *Int J Bio Life Sci*, 1, 1-4.
- Vaikuntapu PR, Dutta S, Samudrala RB, Rao VR, Kalam S, Podile AR, 2014. Preferential promotion of *Lycopersicon esculentum* (Tomato) growth by plant growth promoting bacteria associated with tomato. *Indian Journal of Microbiology*, 54(4), 403-412.
- Vessey JK, 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant Soil*, 255, 571-586.
- Verhagen BW, Glazebrook J, Zhu T, Chang HS, Van Loon LC, Pieterse CM, 2004. The transcriptome of rhizobacteria-induced systemic resistance in *Arabidopsis*. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 17(8), 895-908.
- Walia A., Mehta P, Chauhan A, Shirkot CK, 2014. Effect of *Bacillus subtilis* strain CKT1 as inoculum on growth of tomato seedlings under net house conditions. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, 84(1), 145-155.
- Widnyana IK, 2018. PGPR (Plant Growth Promoting Rizobacteria) Benefits in Spurring Germination, Growth and Increase the Yield of Tomato Plants. In *Recent Advances in Tomato Breeding and Production*, IntechOpen, 17-25.
- Zeller SL, Brandl H, Schmid B, 2007. Host-plant selectivity of rhizobacteria in a crop/weed model system. *PLoS One*, 2(9), 846.