

Bitki Gelişimini Teşvik Eden Rizobakterilerin Tarımda Kullanımı

Ramazan ÇAKMAKÇI

Atatürk Üniversitesi İspir MYO/ Biyoteknoloji Uygulama ve Araş. Merkezi Erzurum (rcakmak@atauni.edu.tr)

Geliş Tarihi : 24.11.2004

ÖZET: Yoğun tarım, aşırı gübre kullanımını zorunlu kılmaktadır. Yüksek verim için fazla girdi kullanan tarım sistemleri çevresel problemlere ve doğal kaynakların tükenmesine yol açmaktadır. Gübre uygulamasını minimum, bitki gelişme ve beslenmesini maksimum düzeye çıkarmak amacıyla rizosferden seçilmiş farklı mikroorganizmalar kullanılmaktadır. Bitki gelişimini teşvik eden rizobakteriler (PGPR) bitki gelişimine faydalı etkileri nedeniyle biyolojik gübre (BG) olarak kullanılmaktadır. Biyogübreler sürdürülebilir tarım için büyük öneme sahiptir. Mikrobiyal türlerdeki geniş genetik varyasyon, farklı çevre koşullarına adapte olabilen yüksek potansiyele sahip mikroorganizmaların belirlenebileceğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle geniş deneme koşullarında seçilecek etkin türlere gereksinin vardır.

Anahtar kelimeler: Biyolojik gübre (BG), Bitki gelişme promotörü rizobakteriler (PGPR), biyolojik azot fiksasyonu (BNF), inokulasyon, biyolojik kontrol

Use of Plant Growth Promoting Rhizobacteria in Agriculture

ABSTRACT: Intensive agriculture entails the use of excessive fertilization. High- input farming practices achieving high yields have created environmental problems and degradation in natural resources. A biotechnological goal is to use different strains of selected rhizosphere microorganisms to minimize synthetic fertilizer application and to maximize plant growth and nutrition. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) are able to exert a beneficial effect upon plant growth. Therefore, they are used as biofertilizers in agriculture. Bio-fertilizers (BG) are of great importance in sustainable agriculture. The wide genetic variation within microbial species explains the high potential of the microorganisms to adapt to different environments. Therefore, there is a need to develop specific selected strains with higher effectiveness under a wide range of experimental conditions.

Key words: Biofertilizers (BG), Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR), biological N₂ fixation (BNF), inoculation, biocontrol

GİRİŞ

Bitkisel üretim ve zararlıların kontrolünde rasgele ve geliş güzel kimyasal gübre ve pestisit kullanımı sonuçta toprak sağlığının bozulması, çevre kirlenmesi, patojen ve zararlı popülasyonlarının ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Saber, 2001; Bøckman, 1997). Tarımsal kimyasalların ekosistemlerin kaldıramayacağı miktarda kullanımının devamı ile tarımda sürdürülebilirlik sağlanamamaktadır. Günümüzde tarımsal ekosistemlerde birçok toksik ve tehlikeli kimyasal madde bulunmaktadır. Bunlar bitki, toprak, yüzey ve yeraltı suları ve gıdaların içine karışmaktadır. Tüm dünyada yeterli miktar ve kalitede gıda temininin sömürücü ve kirlenici tarımla sağlanamayacağı endişesi yaygınlaşmaktadır. Kimyasal kullanımı ile tarımda ortaya çıkan hızlı üretim artışı artık azalmaktadır. Sömürücü ve uygunsuz tarım yöntemleri, tarım alanlarında su ve rüzgar erozyonu, besin elementi tükenmesi, toprak organik maddesinin kaybı gibi toprak verimliliğini azaltıcı özellikler taşımaktadır (Saber, 2001). Sağlıklı bir tarım sistemi kaçınılmaz olmakta ve kimyasal kullanılmaksızın temiz gıda üretimi zorunlu hale gelmektedir. Temiz tarım sistemi, organik artıkların geri dönüşümü, biyolojik gübrelerle (BG) toprak rizosferinin güçlendirilmesi, biyopestisit kullanımının yaygınlaştırılması ve tarımsal-ekosistemdeki kirlenmelerin biyolojik yollarla temizlenmesi gibi yaklaşımları esas almaktadır. Sürdürülebilir tarım için BG önemi ve kimyasal gübrelemenin maliyet ve çevresel zararları; gübre azotuna çevresel olarak kabul

edilebilir biyolojik alternatiflerin araştırılması, geliştirilmesi, adaptasyonu ve benimsenmesini gündeme getirmiş ve bu konuda araştırmalar ivme kazanmıştır.

Nitrojen dünyanın hemen hemen tamamında noksanlığı duyulan ve üretimi sınırlayan temel bitki besin maddesidir. Tüm canlı formlarının temeli olan protein ve nükleik asitlerin esas kısmını nitrojen oluşturur. Buna rağmen N₂ gelişme ve üreme için gerekli bileşiklerin oluşumunda biyolojik sistemler tarafından doğrudan kullanılmaz. Uygun bir bitkisel üretim düzeyinin sürdürülebilmesi için sürekli yenilenmesi gerekli olan azot, kimyasal ve biyolojik fiksasyonla toprak-bitki sistemine katılmaktadır. Kimyasal gübre üretimi yenilenemez kaynakların kullanımına bağlı olup, yüksek enerji gerektiren, sürdürülebilir olmayan bir süreçtir (Jensen ve Nielsen, 2003). Endüstriyel azot fiksasyonu ile azot üretimi fosil yakıt rezervlerini tükettiği gibi, N₂O, CO₂, CH₄ ve CFCS gibi sera gazlarının artmasına, yıkanma ile yeraltı sularının kirlenmesine, ekolojik dengenin ve nitrojen döngüsünün değişmesine yol açmaktadır. Ayrıca yoğun tarım aşırı gübre kullanımı riskini zorunlu kılmakta, özellikle fazla N kullanımı sonucu olarak N kayıplarını ve NO₃⁻ yıkanması ile HH₃, N₂O ve NO gazı emisyonunu problemlerini de beraberinde taşımaktadır.

Bazı mikroorganizma türleri tarafından biyolojik nitrojen fiksasyonu (BNF) ile bitkilerce kullanılmayan atmosferik nitrojen (N₂), nitrojenaze enzimi yardımı ile, kullanılabilir forma (NH₄) dönüştürülmektedir. Tarımda

BNF'nin bedeli kimyasal gübrelere kıyasla daha düşüktür ve enerji tasarrufu sağlamaktadır. Bitki gelişmesi, azot fiksasyonu, fosforun biyolojik olarak alınabilir hale gelmesi, siderofor yardımıyla bitkilerce demirin alınması, auksin, sitokinin ve gibberallin gibi bitkisel hormonların üretilmesi ve bitki etilen düzeyinin azaltılması gibi mekanizmalarla, bitki gelişmesini teşvik eden rizobakteriler (PGPR) tarafından düzenlenmektedir (Glick, 1995, Lucy vd., 2004).

PGPR uygulamalarıyla çimlenme oranı, kök gelişmesi, verim, yaprak alanı, klorofil oranı, azot oranı, protein oranı, hidrolik aktivite, susuzluğa tolerans, kök ve gövde ağırlığı artmakta, yaprakların yaşlanması gecikmekte ve bazı hastalıklara dayanıklılık sağlanmaktadır. PGPR uygulamaları laboratuvar, sera ve tarla koşullarında yürütülmekte, ancak tarla denemelerinde beklenmeyen koşullar bazen uygun sonuçların alınmasını zorlaştırmaktadır. Topraktaki pH değişimleri, yüksek sıcaklık, düşük yağış, nem ve besin noksanlığı gibi uygun olmayan koşulların ortaya çıkması mikroorganizma kolonizasyonunu azaltmaktadır (Şahin vd., 2004; Dobbelaere vd., 2001). Çevre kirliliğinin önlenmesi ve tarımsal sürdürülebilirlik, kaynakların devamlılığının sağlanması, tarımsal maliyetin düşürülmesi, biyolojik azot fikseri ve fosfat çözücü bakteri kullanımını zorunlu kılmaktadır. PGPR tarım, bahçecilik, ormancılık ve çevrenin yenilenmesi amaçlarıyla kullanılmaktadır.

Biyolojik Gübrelerin Özellikleri

Tohum, bitki yüzeyi veya toprağa uygulandığında atmosferik azotu fiskeyen, organik ve inorganik kaynaklardan mineral elementlerin alınabilirliğini artırarak veya sekonder metabolit üretimiyle bitkisel gelişmeyi teşvik eden; rizosferde kolonize olabilen veya bitki dokularına girebilen, canlı mikroorganizmalardan meydana gelen materyale biyolojik gübre (BG) adı verilir. Biyolojik azot fiksasyonu (BNF) sürdürülebilir tarımın gelişmesi için alternatif gübre kaynağı olarak dikkate alınmakta, değişen insan gereksinimlerinin karşılanması, çevre kalitesinin artırılması, doğal kaynakların korunması ve toprak erozyonunun azaltılmasını sağlamaktadır. Son yıllarda bitkisel gelişmeyi teşvik edici ve artırıcı *Rhizobium*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Azospirillum*, *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Klebsiella* ve *Staphylococcus* gibi bakterilerin, bazı *Aspergillus* ve *Penicillium* funguslarının biyolojik gübre olarak kullanımını üzerine yoğun araştırmalar yapılmakta ve olumlu sonuçlar alınmaktadır (Kaiser, 1995; Srinivasan vd., 1996; Bashan ve Holguin, 1997; Sudhakar vd., 2000; Çakmakçı, 2002). Mikroorganizmaların BG olarak kullanımının birçok faydaları vardır. BG daha ucuz, bitkilere toksik etki göstermez, yeraltı sularını kirliletmez, toprak asitliğini artırmaz. Bu gübreler BNF etkisiyle birlikte, gelişimi teşvik edici ve hormonal maddeler de üreterek bitki gelişmesini artırmakta, hastalıkların kontrolünde

kullanılmakta ve toprak bitki besin elementlerinin alımını ve ekonomik kullanımını sağlamaktadır. Gübre üretiminde önemli miktarda fosil enerji kullanılmakta, oysa çevre dostu BG enerji gerçekte bedavadır. Serbest yaşayan ve fotosentetik olmayan bakteriler enerji kaynağı olarak toprak organik maddesine bağımlı iken fotosentetik mikroorganizmalar gıdalarını fotosentez ürünlerinden karşılamaktadır (Hubbel ve Kidder, 1998). BNF miktarı nem, oksijen ve organik kaynaklara bağımlı olarak değişmektedir.

Topraklarda bakteri, mantar, aktinomiset, protozoa ve alg olmak üzere yaygın birçok mikroorganizma grubu bulunmaktadır. Serbest yaşayan, bitkisel gelişimi teşvik eden, biyolojik savaş ajanı veya BG olarak kullanılan mikroorganizmalara bitki gelişimini teşvik eden rizobakteriler (PGPR) adı verilmektedir. Bu bakteriler daha çok *Acetobacter*, *Acinetobacter*, *Achromobacter*, *Aereobacter*, *Agrobacterium*, *Alcaligenes*, *Artrobacter*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Clostridium*, *Enterobacter*, *Erwinia*, *Flavobacterium*, *Klebsiella*, *Micrococcus*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Serratia* ve *Xanthomonas* cinslerine aittir. BNF özellikle dünyanın temel besinleri olan pirinç, buğday ve mısır için büyük önem taşımaktadır. Dünyanın bir çok bölgesinde, potansiyel kirleticiler olan endüstriyel gübre ve pestisit uygulamalarının azaltılması amacıyla, PGPR'in biyolojik gübre olarak kullanımı yaygınlaşmaktadır (Burdman vd., 2000).

Biyolojik gübrelerin bitki gelişmesi ile ilgili en belirgin özellikleri simbiyotik ve simbiyotik olmayan azot fiksasyonu, bitki besin elementlerini mobil hale getirilmesi, toprak kökenli hastalıkların biyolojik kontrolü ve bitki gelişimini uyarıcı maddelerin salgılanmasıdır (Lucy vd., 2004). Tarla ve bahçe bitkileri rizosferinden farklı bakteri türleri izole edilmekte, saflaştırılmakta, potansiyeli ortaya konulmakta ve BG olarak uygun mikroorganizma karışımları hazırlanmaktadır. Bu bakteriler arasında aktif olan türler etkinlik ve ortam koşullarına adapte olabilmeleri özellikleri dikkate alınarak seçilmekte, çoklu tür içeren BG'lerde kullanılmak üzere saklanmaktadır. BG üretiminde belli bir yoğunlukta ileri düzeyde gelişmiş ve istenen türlere turba yosunu gibi uygun ortamlar sağlanmaktadır. Yapıştırıcı olarak arap sakızı benzeri maddeler kullanılabilir. BG tohumlara kaplanmakta, kodlanmakta ve fide veya bitkilere uygulanabilmektedir. BG yapraklara püskürtülmesi durumunda nitrojen asimilasyon bölgelerine yakın olmakta ve bakteri birçok bitki patojenine antagonistik etki gösterebilmektedir. Ayrıca yaprak salgıları ve üst yaprak tabakası indirgenme ürünleriyle bakteri için gıda sağlanabilmekte ve fiksasyon bakterisi diğer mikroflora ile toprak veya tohum aşılamlarına kıyasla daha az rekabetle karşılaşmaktadır (Sudhakar vd., 2000).

Biyolojik Fiksasyonla Sağlanan Azot Miktarı ve Oranı

Global karasal N₂ fiksasyonu yılda 100-290 milyon ton arasında değişmekte (Cleveland vd., 1999), bunun 40-48 milyon tonu tarla bitkileri tarafından tespit edilmektedir (Galloway vd., 1995; Jenkinson, 2001). Yılda yaklaşık olarak 83 milyon ton azot ise endüstriyel gübre olarak fiksedilmektedir (Jenkinson, 2001). BNF yenilenebilir bir kaynak olarak bitki üretimi için azotun sürdürülebilir bir kaynağı durumundadır (Bohlool vd., 1992). Gübre azotu üretiminde önemli miktarda fosil enerji kullanılmasına karşın, BNF'nin gerektirdiği enerji fotosentez yoluyla sağlanmakta ve maliyeti bulunmamaktadır. Bu nedenle BNF çevre dostu yaklaşımlardan biri durumundadır. Genel olarak yılda serbest yaşayan bakteriler hektara 15-200 kg, asosiyatif bakteriler 10-80 kg, siyanobakteriler 7-80 kg, *Azolla/Anabaena* birlikleri 45-450 kg, *Frankia* 2-362 kg ve *Rhizobium*-baklagil oraklığı ise 24-584 kg nitrojen katkısı sağlamaktadır (Döbereiner vd., 1993, Shantharam ve Mattoo, 1997, Rao vd., 1998; Jensen ve Nielsen, 2003). Çeltik üretiminde kullanılan fikse azotun büyük bir kısmının serbest yaşayan organizmalarca sağlandığı (Watanabe ve Liu, 1992) ve alglerin serbest fiksasyon yoluyla hektara yılda 70 kg' dan fazla azot fiksettiği (Norman vd., 1995) hesaplanmıştır. Serbest yaşayan diazotropların şeker kamışında, enerji kaynağı olarak sükrozu kullanarak, nitrojen fiksettiği ortaya konulmuş; Brezilya'da azotun % 60'ını BNF'den alan şeker kamışı varyeteleri tanımlanmış, bu varyetelerin yılda hektara 200 kg düzeyine varan azotu BNF' den sağladığı belirlenmiştir (Döbereiner vd., 1993 a; Urquiaga vd., 1992).

Tarımda PGPR Uygulamalarının Pratik Sonuçları

İlk olarak 1893 yılında heterotropik aneorobik *Clostridium pasteurianum* ve daha sonra 1901 yılında aerobik nitrojen fikseri *Azotobacter* spp. (Tchan, 1993), yakın zamanlarda ise *Azoarcus*, *Gluconacetobacter diazotrophicus* ve *Herbaspirillum* spp türleri izole edilmiştir (Döbereiner vd., 1993a). Baklagil olmayan bitkilerde BNF'nin önemi ilk olarak Döbereiner ve arkadaşları tarafından 1970 yıllarında yarı katı azotsuz ortamın keşfedilmesinin açıklanmasıyla başlanmış ve şeker kamışında birçok endofitik bakteri izole edilmiştir (Oliveira vd., 2002). Temiz ve organik tarımın esaslarından biri organik ve biyolojik gübrelerle zenginleştirilmesidir. Biyolojik gübreleme sonuçları her bir BG bileşiminde bulunan mikroorganizmaların etkinliği ve tiplerine bağlı olarak değişmektedir. BG organik formdaki besin maddelerinin mineralizasyonu, besin alımının teşviki ve BNF ile çeltik ve buğday gibi tahıllarda önemli üretim artışına

neden olmaktadır. *Artrobacter*, *Azoarcus*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Pseudomonas*, *Serratia* ve *Rhizobia* familyalarına dahil türler önemli kültür bitkilerinde gelişme ve verimi artırmaktadır (Burdman vd., 2000). Özellikle *Azotobacter* ve *Azospirillum* türlerinin önemli üretim artışlarına neden olduğu belirlenmiştir. İnokulant özelliklerine ve kullanılan tahıl türüne bağlı olarak serbest azot fikserlerinin % 20-50 oranında verim artışı sağladığı ifade edilmiştir (Jagnow, 1987). Biyolojik gübreleme ile kontrole göre buğdayda % 259, mısırdan %112, arpada %234, balkabağında % 112 ve domateste % 119 kuru madde artışı elde edilmiştir (Saber, 2001). BG ile pirinç, buğday, ayçiçeği, gibi bitkilerde ümit verici sonuçlar alınabilmiştir. BG ve mineral gübrelerin birlikte kullanılması ile ayçiçeğinde bitki boyu, tabla çapı, tohum verimi, yağ ve mineral içeriği artmış, organik gübrenin kimyasal gübrelerin etkinliğini artırdığı görülmüştür (Keshta ve El-Khouly, 2000). *Comamonas acidovorans*, *Agrobacterium* sp., *Alcaligenes piechaudii* inokulasyonu marulda kök uzamasını sırası ile % 15, 30 ve 44 oranında artırmıştır (Barazani ve Friedman, 1999). Bir çok toprakta yaygın olarak bulunan nitrojen fikseri *Azospirillum* bakterilerinin tarla denemelerinde verimi % 5-30 oranında artırdığı ifade edilmiştir (Bashan ve Holguin, 1997). *Azospirillum* aşılmasının buğdayda dane verimini %23-63 arasında değişen oranlarda artırdığı belirlenmiştir (Caballero-Mellado vd., 1992). Farklı pirinç varyetesi fidelerine fototrofik *R. capsulatus* aşılması ile, gövde ağırlığı %52-75, toprak üstü aksamı kuru ağırlığı % 47-100, toprak üstü aksamı N konsantrasyonu %45-78 ve kök N içeriği %50-62 oranında artmış, kök uzunluğu ise %9-37 oranında azalmıştır (Elbadry ve Elbanna, 1999).

Son yıllarda PGPR şeker pancarı, şeker kamışı, Çeltik, mısır ve buğday gibi bitkilerde kullanılmaya başlanmıştır (Döbereiner, 1997; Schilling vd., 1998; Hecht-Buchholz, 1998). *Bacillus* suşları ile yürütülen araştırmalarda, konifer türleri (Bent vd.,2002), çeltik (Khan vd., 2003; Sudha vd., 1999; Tiwari vd., 1989), arpa (Belimov vd., 1995; Çakmakçı vd., 1999, 2001, Şahin vd., 2004), buğday (Caceres vd.,1996; De Freitas, 2000; Öztürk vd., 2003) ve mısır (Pal, 1999) veriminde önemli artışlar belirlenmiştir. *Rhodobacter* türlerinin N₂ fiksettiği (Drepper vd., 2002) ve çeltik fidelerinin azot oranını artırdığı (Elbadry ve Elbanna, 1999) bilinmektedir. *Pseudomonas* inokulasyonu yazlık buğdayda kök kuru ağırlığını (Walley ve Germida 1997), şeker pancarı verimini (Çakmakçı vd., 2001, Şahin vd., 2004) ve ispanak gelişmesini (Urashima ve Hori 2003) artırmıştır. PGPR uygulamalarında alınan bazı sonuçlar Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. Farklı Bitkilerde Test Edilen Bitki Gelişmesini Teşvik Edici Bakteriler

Bakteri	Bitki	Ortam	Sonuçlar/ artış	Referans
<i>Azospirillum brasilense</i>	Sorgum	S	Kurumadde, yaprak alanı, kök sayısı ve uzunluk %33-40, hidrolik geçirgenlik %25-40 artış	Sarig vd. 1992 ,1998
<i>Azospirillum spp.</i>	Sorgum	T	% 12-18.5 verim artışı	
<i>A. brasilense</i>	Fasulye	BBK	Kök ve gövde ağırlığı artışı	Vedder-Weiss vd. 1999
<i>A. brasilense</i> <i>A. brasilense</i> Cd <i>A. brasilense</i> Cd 245	Sorgum, buğday, arpa, mısır, yulaf, sorgum	T T S, T	%25 verim artışı, hafif toprak ve orta gübre uygun, kök sayısı, uzunluğu, kök ve gövde ağırlığı artışı	Dobbelaere ve ak. 2001
<i>A. brasilense</i> Cd	Sorgum, sudanotu	T	%11-24 verim artışı	Smit vd. 1984
<i>A. brasilense</i> Cd <i>A. lipoferum</i> Br-17 <i>A. brasilense</i> Sp111 <i>Azospirillum spp.</i>	Mısır Buğday Mısır	T T T	%35-40 mineral gübreyi karşılama, verim artışı iklime bağlı, hafif toprak ve orta N verim artışı	Okon ve L-Gonzalez, 1994
<i>A. brasilense</i> Cd	Nohut, bakla	S, T	Kök, gövde, verim artışı,	Hamaoui vd. 2001
<i>A. brasilense</i> Cd <i>A. lipoferum</i> Az-30	Darı	T	%21-30 verim artışı	Di Ciocco ve R.-Caceres,1994
<i>A. brasilense</i> Cd <i>B. polymyxa</i>	Buğday	T	Verim artışı	Caceres vd., 1996
<i>A. brasilense</i> NO40	Pirinç	T	%15-20 verim artışı	Omar vd. 1989
<i>A. lipoferum</i> <i>X. maltophla</i>	Ayçiçeği Ayçiçeği	S L,S	Gelişme ve çimlenme teşviki Çimlenme oranı artışı	Fages ve Arsac, 1991
<i>A. lipoferum</i> CRTI	Mısır	T	N oranı artış, geniş kök sistemi	Jacoud vd. 1998
<i>Azospirillum spp.</i>	Buğday	T	%- 15.8-31 verim değişimi	Baldani vd. 1987
<i>Azospirillum spp.</i>	Darı Hardal Çeltik	T T T	%-12.1-31.7 verim değişim, %16-128 verim artışı %4.9-15.5 verim artışı	Klopper vd. 1989
<i>Azospirillum spp.</i>	Mısır	T	%11-14 verim artışı	Fallik ve Okon, 1996
<i>Azospirillum spp.</i>	Mısır	T	Kuru madde ve Mg artış	Hernandez vd.1997
<i>Azospirillum spp.</i>	Mısır	S	Glutamat sentez ve dehidrojenaz aktivite, kök ve yaprak N artış	Ribaudou vd. 2001
<i>Azospirillum spp.</i>	Buğday	S	Biomass, dane, protein ve N artış	Saubidet vd. 2002
<i>Azotobacter</i> , <i>Enterobacter spp.</i> <i>Xanthobacter spp</i>	Çeltik	T	Kuru madde, dane, N akımı % 6-24 artış, YAI, klorofil oranı artış	Alam vd. 2001
<i>B. amyliquefaciens</i> <i>B. pumilis</i> , <i>B. subtilis</i> <i>B. cereus</i>	Domates, biber	T	Bitki gelişmesi, yaprak alanı, kök-gövde ağırlığı, meyve verimi artışı, nematot azalması	Kokalis-Burelle vd. 2002
<i>B. polymyxa</i> <i>B. megaterium</i>	Şeker pancarı, arpa	S, T	%7.5-16.5 şeker pancarı kök, %8.4-18.2 arpa dane verim artışı	Çakmakçı vd. 1999
<i>B. polymyxa</i> , <i>Burkholderia spp.</i> , <i>Pseudomonas spp.</i>	Şeker pancarı	T	%6.1-13.0 kök, %7.8 şeker verim artışı	Çakmakçı vd. 2001
<i>Bacillus sp.</i>	Sorgum	T	%15.3-33 verim artış	Broadbent vd. 1977
<i>B. subtilis</i> A-13	Yerfıstığı	T	%37 verim, su, besin sıcaklık stresi ile rişpons artar,	Turner ve Backman, 1991
<i>B. subtilis</i> B2	Soğan	BBK	%12-94 gövde kuru ağırlığı, %13-100 kök kuru ağırlığı artışı	Reddy ve Rahe, 1989
<i>Beijerinckia mobilis</i> <i>Clostridium spp</i>	Pancar, Arpa, Buğday, turp	L, S	Çimlenme, uzunluk ve ağırlığı artışı	Polyanskaya vd. 2000
<i>Burk. vietnamiensis</i>	Çeltik	T, S	% 33 gövde uzunluğu, % 53 kök ağırlığı, % 13-22 dane verimi artışı	Tran Van vd. 2000
<i>Bacillus spp.</i>	Şekerpancarı, arpa	T	İkili aşılama pancar %11.9-12.4, arpa % 7.4-9.3 verim artışı	Şahin vd., 2004
<i>E. cloacea</i> CAL3	Domates, biber,	S	Fide gelişimini teşvik	Mayak vd. 2001
<i>P. cepacia</i> R85, <i>P. fluorescens</i> R104 <i>P. putida</i> R111	Kışlık buğday	BBK,T	% 46-75 dane verim artışı	De Freitas ve Germida, 1992a,b
<i>P. chlororaphis</i>	Yazlık buğday	T, L.	%6-8 çimlenme artışı, <i>Fusarium culmorum</i> kontrolü,	Kropp vd. 1996
<i>P. corrugata</i> <i>A. chroococcum</i>	Horozibiği, raği		Gelişme ve N artışı, doğal bakteri gelişiminin teşviki	Pandey vd. 1999
<i>P. fluorescens</i>	Domates	S	%5.6-9.4 verim artış	Gagne vd., 1993
<i>P. fluorescens</i> <i>P. corrugata</i> <i>S. plymthica</i>	Hiyar	T	%12 meyve sayısı,%18 meyve ağırlığı artışı, <i>Pythium</i> enfekte edilen toprakta % 18 verim artışı	McCullough vd. 1996
<i>P. fluorescens</i> , <i>B. pumilis</i>	Yaban yasemini		Yaprak alanı ve gövde çapı artışı	De Silva vd. 2000

Tablo 1'in Devamı

<i>P. putida, B. subtilis</i> <i>B. cereus, E. aerogenes</i> <i>E. agglomerans</i>	Hıyar	BBK, S	B.subtilis ile Kok uzunluğu, % 29 bitki ağ., % 14 meyve verimi %50 meyve sayısı artışı	Uthede vd. 1999
<i>P. putida</i> GR12-2	Kanola, marul, domates, arpa, buğday, yulaf	BBK	Dikotiledon bitki kök gelişimi artışı	Hall vd. 1996
<i>Pseudomonas spp.</i> <i>Variovovax spp.</i> <i>Phyllobacterium spp.</i>	Kanola	BBK	%11-52 kök kuru ağ. Artışı,	Bertrand vd. 2001
<i>Pseudomonas</i> sp.	Patates	S, T	Serada bitki ağ., tarlada yumru verimi artışı	Frommel vd. 1993
<i>Pseudomonas</i> spp.	Şeker pancarı	S, T	Sera fide ağırlığı, tarla verim artışı, hastalıklara antagonizm	Suslow ve Schroth, 1982
<i>Pseudomonas</i> spp	Patates, Pirinç	T	% -14 ile 33 verim değişimi, % 3-160 verim artışı	Kloeppe vd. 1989
<i>Pseudomonas</i> spp	Mısır, arpa, buğday	T	%15-25 verim artışı	Iswandi vd. 1987
<i>P. syringae</i> pv.	Fasulye	S	Protein artışı, patojen kontrolü	Alstrom 1995
<i>Pseudomonas</i> W34 <i>B. cereus</i> S18	Marul, domates	S	Fide biomass artışı, % 9 verim artışı	Hoffmann-Hergarten vd. 1998
<i>S. Liqfaciens, Bacillus</i> spp., <i>Pseudomonas</i> spp.	Mısır	S	%8-14 verim artışı,	Lalande vd. 1989

A.: *Azospirillum*, B.: *Bacillus*, Burk.: *Burkholderia*, P.: *Pseudomonas*, S.: *Serratia*, X.: *Xanthomonas*; T: Tarla, S:Sera, BBK: Bitki büyüme kabini, L: Laboratuvar

Bitkisel Üretimde Fosil Enerji Kullanımının Azaltılması

İster kimyasal ister biyolojik olsun azotun indirgenmesi, yüksek oranda enerji gerektirir. Kimyasal gübre üretimi için enerji kaynağı olarak yakıt kullanılır. Bu materyaller tekrar yerine konulamaz ve tükenir özelliktedir. Amonyumun Haber-Bosch yöntemi ile elde edilmesi için yüksek sıcaklık (1200 °C ve üstü) ve basınç (100-300 bar) gereklidir. Bir kg amonyum, amonyum nitrat ve üre azotu imali sırasıyla yaklaşık olarak 55, 73 ve 80 MJ enerji gerektirmektedir (Mudahar ve Higgnet, 1987). Endüstriyel proseste 1 ton NH₃ üretimi için 1.3 ton petrol veya buna eş değer enerji gerekmekte, gübrelerin depo, taşınma ve uygulama işlemlerinde de önemli miktarda enerji kullanılmaktadır. Petrolün ve doğal gaz rezervlerinin gelecek 50 yıl içinde tükenebileceği ve yeni enerji kaynaklarının keşfedilememesi durumunda tarımın mevcut koşullarda devamının mümkün olmayacağı, fiyatların aşırı yükseleceği ve gübre üretimi yetersizliği yüzünden gıda kıtlığının meydana geleceği tahmin edilmektedir (Böckman, 1997). Doğal gaz başta olmak üzere, fosil yakıt teminindeki daralmalar ve fiyatlardaki artışlar dikkatleri BNF araştırmalarına odaklandırmıştır.

BNF için gerekli enerji yeşil bitkilerin fotosentetik aktiviteyle oluşturduğu karbonhidratların oksidasyonundan sağlanır. Bu anlamda BNF için enerji evrensel olarak kullanılabilir ve bitmeyen kaynaktan dolaylı olarak karşılanmaktadır. Her nerede fotosentetik organizmaların gelişmesi mümkün olursa BNF için enerjinin doğrudan kaynağı vardır. BNF için enerji ihtiyacı geniş olmakla birlikte, genellikle bitkilerce sentezlenen karbonhidrat benzeri yenilenebilir kaynakların kullanımı, endüstriyel azot fiksasyonunda kullanılan tükenebilir kaynakların kullanımından daha uygundur. Toprak azotu tükendiğinde *Azotobacter ssp*

ve *Azospirillum ssp.* gibi nitrojen fikserleri enerji kaynağı bulduklarında fonksiyonlarını artırmaktadır. Son yıllarda *Azotobacter diazotrophicus* ve *Herbaspirillum ssp.* şeker kamışı vasküler dokusunda endofit olarak bulunmuş, enerji kaynağı olarak sükrozu kullanarak, nitrojen fiksettiği ortaya konulmuştur (Döbereiner vd., 1993b).

Azot Fikserleri ve Hastalık ve Zararlılarla Mücadele

PGPR bitki gelişmesini doğrudan ve dolaylı olarak etkilemektedir. Doğrudan bazı besin elementlerinin alınımı teşvik eden PGPR, dolaylı olarak fitopatogenik organizmaları engellemektedir. Hastalıklara karşı biyolojik ajanların çalışma mekanizmaları antagonizm, hiperparatizm, rekabet ve dayanıklılıktır. Mikroorganizmalar antibiyosis, rekabet, parazitizm, detoksifikasyon ve inhibisyon gibi mekanizmalarla toprak mikrobiyolojik dengesine yardımcı olmakta ve bitkisel gelişmeyi dolaylı olarak etkilemektedir. Hastalıklardan korunma mekanizmalarından biri PGPR tarafından oluşturulabilen bitkinin fiziksel ve biyokimyasal etkilenmesine dayalı sistemik dayanıklılıktır (Van Loon vd., 1998). PGPR yüksek oranda siderofor üreterek patojenlerin çoğalmasını engellemektedir. Biyopestisitler doğrudan antagonizmin kullanımı veya dolaylı olarak patojenlerin stres ortamında bırakılması veya öldürücü maddelerin ortaya çıkmasının temini ve patojenin bastırılması amaçlarıyla kullanılmaktadır. *Mycorrhizae*, *Streptomyces*, *Enerobacter*, *Verticillium*, *Pseudomonas*, *Agrobacterium*, *Bacillus*, *Aspergillus* ve *Trichoderma* cinslerine ait farklı türler toprak patojenlerinin kontrolünde etkin olarak kullanılabilir. En yaygın kullanılan bakteri kaynaklı biyoinsektisit *B. thuringiensis* veya böcekleri zehirleyen *Bt* proteini

üreticisi bakterilerdir. Araştırmalarla 500-600 tür veya *B. thuringiensis* tipi tanımlanmıştır. *Bt* çok seçicidir ve sadece belli zararlı böceklere karşı etkilidir. İnsan, kuş, balık ve faydalı böceklere zarar vermemektedir. *B. thuringiensis*'in sebzelerde biyokontrol yemi olarak kullanılması, kimyasal ilaçlamalar kadar etkin olmaktadır. *Trichoderma harzianum*, patates, çavdar, pamuk ve ayçiçeği hastalıklarında etkin kontrol sağlamıştır (Saber, 2001). Antagonistik *Bacillus* MSU-127 izolatu inokulasyonu şeker pancarında önemli zarar yapan *Rhizoctonia solani* fungusunun neden olduğu kök çürüklüğü hastalığını önemli oranda azaltmıştır (Kiewnik vd., 2001). *Rhizoctonia solani*, *Phytophthora capsici* ve *Pythium aphanidermatum* gibi hastalık etmenlerinin, antagonistik biyo ajanlar *B. subtilis*, *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma kningii*, *Penicillium citrinum* ve *Penicillium oxalicum* izolatları tarafından kontrol altına alınabildiği ifade edilmiştir (Saber, 2001, Kotan, 2002). *Aspergillus niger* ve *Fusarium udum* yol açtığı kök çürüklüğü *B. subtilis* inokulasyonu ile kontrol edilebilmektedir (Podile ve Prakash, 1996).

P. putida siderofor üreterek domatestede *Fusarium* patojenini kontrol etmiş (Glick, 1995) ve *P. aeruginosa* domatestede *Pythium* zararını engellemiştir (Buysens vd., 1994). PGPR patojen gelişmesini önleyici en etkin mekanizma bakteri tarafından antibiyotik sentezlenmesidir (Glick, 1995). PGPR tarafından üretilen siderofor ve antibiyotik gibi maddeler fungal bitki patojenlerine karşı antibiyotik etkisi göstermektedir (Walley ve Germida, 1997). Kışlık buğdaylar üzerine bitki büyütme kabini ve tarla koşullarında *P. cepacia*, *P. fluorescens* ve *P. putida* ile yürütülen araştırmalarda *Rhizoctonia solani* ve *Leptosphaera maculans* biyokontrolü nedeniyle %27 verim artışı meydana geldiği ortaya konulmuştur (De Freitas ve Germida, 1990). Benzer bir çalışmada *P. cepacia* R55, *P. putida* R104 bakterilerinin biyolojik kontrol amacıyla kışlık buğdayda kullanımı durumunda *Rhizoctonia solani*'ye karşı antagonizm belirlenmiş % 62-78 bitki kuru ağırlık, %92-128 kök, % 28-48 gövde kuru ağırlık artışı meydana gelmiştir (De Freitas ve Germida, 1991). Tarla koşullarında *P. putida* W4P63 inokulasyonu patatestede *Erwinia carotovora* zararlısını kontrol etmiş ve % 10.2-11.7 verim artışı sağlamıştır (Xu ve Gross, 1986). Bakterilerin antifungal maddeler, siderofor ve antibiyotik sentezi dışında patojen gelişmesini engelleyici diğer bazı mekanizmalara daha sahip olduğu bilinmektedir. Bunlar:

1. *Pseudomonas* benzeri bazı bakterilerin hidrojen siyanit sentezlemeleri ve bu yolla mantar gelişimini engellemektedir.
2. *Cladosporium werneckii*, *P. cepacia* gibi türlerin *Fusarium* enfeksiyonunda bitkiye zarar veren fusarik asit bileşiklerini hidrolize ederek, farklı fungusların neden olduğu bitki hastalıklarını önleyebilmektedir.

3. Birçok bitki mantar patojenlerinin hidrolize edebildiği sentezlenen enzimler tarafından etkilenmekte, bazı bakteriler fungus gelişimini önleyici enzim salgılayabilmektedir.
4. *P. cepacia* da olduğu gibi, bazı bakteriler mantar misellerine zarar verebilmekte *Rhizoctonia*, *Sclerotium* ve *Pythium* patojenlerinin zararını azaltmaktadır.
5. PGPR kök yüzeyinde besin elementleri bakımından rekabete girerek bitkileri patojenlerden korumaktadır.
6. Bitki ve tohumların PGPR ile aşılama uzun dönemde hastalıklara neden olan funguslara karşı geniş etkili bir sistemik dayanıklılığa neden olmaktadır.
7. İnokule edilen *Pseudomonas* benzeri bakterilerle hedef doğal mikroflora arasındaki antibiyosis ve rekabete dayalı antagonistik interaksyon ortaya çıkmaktadır.

Saf ve karışık Kültürler ve Kombine Biyolojik Gübre Uygulamaları

Bakteri, fungus ve nematod gibi patojenlerin zararlı etkilerinin önlenmesi ve bitkisel gelişimin teşvik edebilmesi için faydalı mikroorganizmaların kullanımı önem kazanmıştır. Ancak mikroorganizmaların saf kültürleri birçok sebepten dolayı başarısız olmaktadır. Örneğin, her bir faydalı mikroorganizmanın besin ve çevre gereksinimleriyle bireysel gelişme ve canlılığını devam ettirmesi özelliklerine ilave olarak diğer mikroorganizmalarla ekolojik ilişki ve interaksyonları tam olarak bilinmemektedir. Ayrıca saf kültür inokulasyonları genellikle gelişme, canlı kalma ve toprak ortamına adaptasyon bakımından uygun yüksek inokulum yoğunluğuna ulaşmamaktadır. Doğal mikroorganizmaların karışımı olan farklı organik düzelticiler toprak düzeltici ve BG olarak uygulandığında, bazı türler diğerlerinden daha fazla canlı kalmaktadır. Bunlar topraktaki kullanılabilir karbon kaynaklarından daha iyi yararlanmakta gelişme ve aktiviteleri yüksek olmaktadır. PGPR bitki gelişmesinin başlangıçtaki ilk üç ve dört haftası süresince etkin olarak gelişmeyi teşvik etmekte ve koruma sağlamaktadır. Bu periyot genç fide dönemi olup, bitki çevresel streslere hassastır. Bu nedenle bitki yüksek gelişme göstermekte ve sağlıklı olmakta ve stres faktörlerini ile kolaylıkla atlatabilmektedir. Nitekim *Azospirillum* bakterilerinin N₂ fiksetme yeteneğine ilave olarak, erken fide gelişmesi üzerine auzsin ve sitokinin hormon üretimi yoluyla etkin olduğu belirlenmiştir (Shantharam ve Mattoo, 1997).

Bakteri aşılamaında önemli bir alternatif yaklaşım farklı mikroorganizmaların karışık kültürüdür. BNF sürecine bağlı olarak bitkisel üretimin artırılması için en iyi strateji farklı mikroorganizmaların karışık inokulasyonu olmaktadır. Özellikle *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus* ve *Mycorrhizae* karışımları bitki gelişimi üzerine büyük oranda etki göstermektedir. BG

etkinliği bazen tesadüfi olarak ortaya çıkabilmekte ve bazı kombinasyonlar bazı bitkilerde mükemmel sonuçlar vermektedir. Araştırmalar *Azotobacter*'in fosfat çözücü bakteriler ile birlikte inokulasyonunun bitki verimi ile birlikte N ve P alımını da artırdığını ortaya koymuştur (Kundu ve Gaur, 1984; Monib vd., 1984). Azot bakterisi *A. lipoferum*'un fosfat çözücü *Agrobacterium radiobacter*' ile birlikte inokulasyonu arpa dane verimini tekli aşılamalara göre önemli düzeyde artırmıştır (Belimov vd., 1995). Kombine uygulamaların tekli aşılamalara kıyasla sorgumda dane ve kuru madde verimini (Alagawadi ve Gaur, 1992), arpa ve şeker pancarı verimini (Çakmakçı vd., 1999, 2001), bitki gelişimi ve P alımını artırdığı (Whitelaw vd., 1997) belirlenmiştir.

Karışık inokulasyon bakteri etkinliğini artırabilmektedir. İki veya daha fazla bakteri karışımının tekli uygulamalara göre bitkisel üretimi daha fazla artırmıştır (Rojas vd., 2001). N₂ bakterisinin fosfat çözücü bakterilerle ikili karışımlarında şeker pancarı verimi % 11.9-12.4, arpa verimi ise % 7.4-9.3 artarken, üçlü aşılamalarda şeker pancarı ve arpa verimi % 12.7 ve 9.3 artmıştır (Şahin ve ark., 2004). Tek başına N gübresinin olumsuz etkilediği pancar kalitesi bakteri aşılamalarında daha dengeli bulunmuş, bu durum bakterilerin diğer elementlerin daha dengeli alınmasına yol açmasından kaynaklanmıştır (Çakmakçı vd., 2003). Azot fikserlerinin fosfat çözücülerle karışım halinde biyolojik gübre olarak kullanılması ile, bitki besin dengesinin sağlanabildiği (Belimov vd., 1995), toprak patojenlerinin daha iyi kontrol edilebildiği (Fukui vd., 1994 b) bildirilmiştir. *A. diazotrophicus* bakterilerince fiksedilen azot diğer organizmalara transfer edilebilmektedir. *A. diazotrophicus* ve *L. kononenkoae* mayası karışık kültürleri ile yapılan araştırmalarda bakteri tarafından fiksedilen azotun % 40 dan fazlasının mayaya transfer edildiği belirlenmiştir (Cojho vd., 1993).

Azospirillum diğer organizmalarla karışım halinde kullanıldığında bitki verimi üzerine etkisi artmaktadır. *A. brasilense*, *E. cloacae* veya *A. brasilense* ve *A. giacomelloi* karışık kültürleri, tekli aşılamalara kıyasla N₂ fiksasyonunda daha etkin olmuştur (Kaiser, 1995, Lippi vd., 1992). *A. brasilense*, *A. lipoferum* ve *K. pneumonia* üçlü biyolojik gübresi ile saksı denemelerinde pirinçte kök uzunluğu, kök yüzey alanı, mineral içeriği artmıştır (El-Khawas vd., 2000). Saksı denemelerinde *Azotobacter*, *Azospirillum* ve *Mycorrhhyzae* çoklu biyolojik gübresi normal kimyasal gübrenin dörtte biri kadar bir gübreleme ile kontrole kıyasla domates kuru ağırlığını % 245 oranında artırmıştır (Saber, 2001). *Azospirillum* bakterilerinin *Glomus* sp. fungusları birlikte uygulaması sorgumda P, N, Zn, Cu ve Fe alımını (Veeraswamy vd., 1992), buğdayda kök ve gövde ağırlığını (Gori ve Favili, 1995) artırmıştır. *Azospirillum* bakterilerinin funguslarla birlikte inokulasyonu çilekte özellikle kök morfolojisini değiştirmiştir (Bellone ve Bellone, 1995).

Bitki geliştirici mikroorganizmaların kombinasyonu halinde uygulanan BG azot ve fosfor dışındaki elementlerin de alımını artırabilmekte ve bitki gelişim ve morfolojisi üzerine olumlu etki göstermektedir. Rizosferde mikroorganizmaların birbirini etkilemesi nedeniyle BG'in rizosfere iyice yerleşip çoğalabilmesi ve gelişmeyi teşvik etmesi gereklidir. Bu konuda kapsamlı araştırmalara gereksinim vardır. Genellikle BG toprak verimliliğini artırmakta ve biyolojik aktiviteyi düzenlemektedir. Tekli ve çoklu BG etkisi farklı toprak ve bitkiler için ortaya konulmalıdır. Bitki kuru ağırlığı ve besin elementi alımı dikkate alınarak uygun BG kombinasyonları farklı ekoloji ve ürünler için belirlenmelidir.

PGPR'nin Simbiyotik Rhizobium Bakterileri ile Birlikte Uygulamaları

Rhizobium-baklagil birlikteliği, oluşan nitrojen fiksasyonunun önemi nedeniyle, en iyi bilinen bakteri-bitki ilişkisidir. Toprak bakterilerinin bitki gelişimini dolaylı olarak etkileme mekanizmalarından biri, belli baklagil türlerinin tarımsal üretimine yardımcı olmalarıdır. PGPR bitki simbiyosis ilişkilerini de etkilemektedir. Baklagil-rizobia ilişkisi, nodül oluşumu, sayısı, fiksasyon oranı ile kök ve gövde gelişmesi PGPR tarafından etkilenmektedir (Cattelan vd., 1999, Vessey ve Buss, 2002). Serbest yaşayan mikroorganizmalar fiksasyon sürecinde hidrojen gazı üretebilmekte *Rhizobium* bakterileri ise bu hidrojeni kullanabilmektedir. Serbest yaşayan mikroorganizmaların fiksasyon sürecinde ürettiği hidrojen, *Rhizobium* ve konukçu bitkinin gelişimini teşvik edebilmektedir (Dong ve Layzell, 2001; McLearn ve Dong, 2002). Serbest yaşayan bakterilerin rizobia-baklagil birlikteliğini teşvik edici özelliklerine dayanılarak tanımlanıp karakterize edilebileceği ileri sürülmüştür (Andrade vd., 1998). Diğer bitki gelişme teşvik edici bakterilerle *Rhizobium*'ların birlikte inokulasyonu, tek başına *Rhizobium* aşılamalarına kıyasla daha fazla verim artışı sağlamaktadır. *Rhizobium*'larla birlikte inoule edilen mikroorganizmalar genellikle *Azospirillum* (Yahalom vd., 1987), *Azotobacter* (Burns vd., 1981), *Bacillus* (Srinivasen vd., 1996; Bai vd., 2002), *Pseudomonas* (Chanway vd., 1989), *Serratia* (Zhang vd., 1997) ve *Streptomyces* rizobakterileridir.

Sonuç ve Gelecekteki Beklentiler

Yeraltı sularının kirlenmesi, göllerdeki alglerin zarar görmesi, global nitrojen döngüsünün değişmesi ve küresel sera gazlarındaki artış en önemli problemlerdir. Çevresel faktörler, kimyasal azot gübresi imali ve kullanımına alternatiflerin araştırılmasını zorunlu kılmaktadır. BNF yaygınlaştıkça ve fonksiyonu artıkça, gübre azotu ihtiyacı ve çevreye olumsuz etkileri azalacaktır. PGPR kimyasalların kullanımına bir alternatif olarak tarım ve bahçe kültürlerinde bitkisel

gelişmeyi ve verimi artırıcı önemli bir role sahiptir. Bu mikroorganizmalar ormancılık ve çevre restorasyon çalışmalarında da kullanılmakta ancak bu konudaki araştırmalar yetersizdir. Uygun çevre ve bitki seçilmesi durumunda PGPR gerçek ve olumlu etkiler göstermektedir. Gelecekte farklı çevre koşulları ve bitkilerde hangi bakteriyel özelliklerin kullanılacağı ve optimum etkin bakterilerin seçim ve formülasyonu açıklıkla tanımlanmalıdır.

Bakteriyel bitki hormonu üretimi ve BNF bitki gelişiminde iki önemli potansiyel süreç olmakla birlikte, bunların bitki gelişiminde temel rol oynadığını söyleyebilmek için hala bazı engeller ve çözülmesi gereken sorunlar bulunmaktadır. Örneğin bakterilerce hormon üretildiği bilinmekle birlikte, bunun rizosferde ne ölçüde meydana geldiği ve bu sürecin nasıl düzenlendiği tam olarak bilinmemektedir. Serbest yaşayan bakteriler tarafından fiks edilen azot katkısının önündeki asıl engel, bitkiye fiks edilmiş azotun transferinin olmayışı veya yetersiz oluşudur. Gelecekte bakterilerin birlikte uygulamaları, ağaç türlerinde uygulamaların yaygınlaştırılması, bitki yüzeyleri ve bakteri ilişkileri, bakterilerle bitki genotipi arasındaki ilişkiler, çevresel uyumluluk ve etkin türlerin izolasyonu üzerinde kapsamlı araştırmalara gereksinim vardır. Bazı karışık bakteri kombinasyonlarında bitki ve yüksek endofitik diazotrop sayısı arasındaki besin rekabeti bitki gelişimini olumsuz etkilediğinden, gerekli olan bakteri popülasyonu dengesini esas alacak şekilde inokulasyon teknolojisinin geliştirilmesi ve optimize edilmesi gerekmektedir. Tarım alanlarında uygun olmayan koşullar meydana gelebilmekte ve iklim değişimleri PGPR etkinliğini değiştirebilmektedir. Tarla koşullarında büyük varyasyonlar olsa bile, kontrollü ortamlarda etkin bulunan mikroorganizmaların tarla koşullarında taşınması ve adapte edilebilmesi çalışmalarına devam edilmelidir.

KAYNAKLAR

Alagawadi, A.R., Gaur, A.C., 1992. Inoculation of *Azospirillum brasilense* and phosphate-solubilizing bacteria on yield of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) in dry land. *Trop. Agric.* 69, 347-350.

Alam, M.S., Cui, Z.J., Yamagishi, T., Ishii, R., 2001. Grain yield and related physiological characteristics of rice plants (*Oryza sativa* L.) inoculated with free-living rhizobacteria. *Plant. Prod. Sci.* 4, 126-130.

Alstrom, S., 1995. Evidence of disease resistance induced by rhizosphere Pseudomonad against *Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola*. *J Gen Appl Microbiol.* 41, 315-325.

Andrade, G., De Leij, F.A.A.M., Lynch, J.M., 1998. Plant mediated interactions between *Pseudomonas fluorescens*, *Rhizobium leguminosarum* and arbuscular mycorrhizae on pea. *Lett. App. Microbiol.*, 26, 311-316.

Bai, Y., D'Aoust, F., Smith, D.L., Driscoll, B.T., 2002. Isolation of plant-growth-promoting *Bacillus* strains from soybean root nodules. *Can. J. Microbiol.*, 48, 230-238.

Baldani, V.L.D., Baldani, J.I., Döbereiner, J., 1987. Inoculation on field-grown wheat (*Triticum aestivum*) with *Azospirillum* spp. in Brazil. *Biol Fert Soils* 4, 37-40.

Barazani, O., Fridman, J., 1999. Effect of exogenously applied L-tryptophan on alelochemical activity of plant-growth-promoting rhizobacteria (PGPR). *J. Chem. Ecol.* 26, 343-349.

Bashan, Y., Holguin, G., 1997. *Azospirillum*-plant relationships: Environmental and physiological advances (1990-1996). *Can. J. Microbiol.* 43, 103-121.

Belimov, A.A., Kojemiakov, P.A., Chuvarliyeva, C.V., 1995. Interaction between barley and mixed cultures of nitrogen fixing and phosphate-solubilizing bacteria. *Plant Soil* 173, 29-37.

Bellone, C.H., Bellone, S.C., 1995. Morphogenesis strawberry roots infected by *Azospirillum brasilense* and V.A. mycorrhiza. *NATO ASI Ser. Ser G.* 37, 251-255.

Bent, E., Breuil, C., Enebak, S., Chanway, C.P., 2002. Surface colonization of lodgepole pine (*Pinus contorta* var. *latifolia* [Dougl. Engelm.]) roots by *Pseudomonas fluorescens* and *Paenibacillus polymyxa* under gnotobiotic conditions. *Plant Soil* 241, 187-196.

Bertrand, H., Nalin, R., Bally, R., Cleyet-Marel, J.C., 2001. Isolation and identification of the most efficient plant growth-promoting bacteria associated with canola (*Brassica napus*). *Biol Fert Soil* 33, 152-156.

Böckman, O.C., 1997. Fertilizers and biological nitrogen fixation as sources of plant nutrients: Perspectives for future agriculture. *Plant Soil*, 194, 11-14.

Bohlool, B.B., Ladha, J.K., Garrity, D.P., George, T., 1992. Biological nitrogen fixation for sustainable agriculture. A perspective. *Plant Soil*, 141, 1-11.

Broadbent, P., Baker, K.F., Franks, N., Holland, J., 1977. Effect of *Bacillus* spp on increased growth of seedlings in steamed and in nontreated soil. *Phytopathology*. 67, 1027-1034.

Burdman, S., Jurkevitch, E., Okon, Y., 2000. Recent advances the use of plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) in agriculture. In *Microbiol Interactions in Agriculture and Forestry*. Subba, R.N., Dommergues, Y.R.(eds). Vol II Chp. 10, 29-250. Pub. Inc. UK.

Burns, T.A., Jr., Bishop, P.E., Israel, D.V., 1981. Enhanced nodulation of leguminous plant roots by mixed cultures of *Azotobacter vinelandii* and damping-off tomato by *Pseudomonas aeruginosa* 7NSK2. *Appl. Environ. Microbiol.* 62, 865-871.

Buysens, S., Poppe, J., Höfte, M., 1994. Role of siderophores in plant growth stimulation and antagonism by *Pseudomonas aeruginosa* 7NSK2. In *improving plant productivity with rhizosphere bacteria*. Ryder M.H et al (ed.). Adelaide, Australia, 139-141.

Caballero-Mellado, J., Carcano-Montiel, M.G., Mascanua-Esparza, M.A., 1992. Field inoculation of wheat (*Triticum aestivum*) with *Azospirillum brasilense* under temperate climate. *Symbiosis.* 13, 243-253.

Caceres, E.A.R., Anta, G.G., Lopez, J.R., DiCiocco, C.A., Basurco, J.P., Parade, J.L., 1996. Response of field-grown wheat to inoculation with *Azospirillum brasilense* and *Bacillus polymyxa* in the semiarid region of Argentina. *Arid Soil Res Rehabil.* 10, 13-20.

Cattelan, A.J., Hartel, P.G., Fuhrmann, J.J., 1999. Screening for plant growth-promoting rhizobacteria to promote early soybean growth. *Soil Sci Soc Am J*, 63, 1670-1680.

Chanway, C.P., Hynes, R.K., Nelson, L.M., 1989. Plant growth promoting rhizobacteria: effects on growth and nitrogen fixation of lentil (*Lens esculenta* Moench) and pea (*Pisum sativum* L.) *Soil Biol. Biochem.* 21, 511-517.

Cleveland, C.C., Townsend, A.R., Schimel, D.S., Fisher, H., Howarth, R.W., Edein, L.O., Perakis, S.S., Latty, E.F., Von Fischer, J.C., Elseroad, A., Watson, M.F., 1999. Global patterns of terrestrial biological nitrogen (N₂) fixation in natural ecosystems. *Global Biogeochem. Cycles.* 13, 623-645.

Cojho, E.H., Reis, V.M., Schenberg, A.C.G., Döbereiner J., 1993. Interactions of *Acetobacter diazotrophicus* with an amylolytic yeast in nitrogen-free batch culture. *FEMS Microbiol. Lett.* 106, 341-346.

Çakmakçı, R., 2002. Azot fiksasyonu ve fosfat çözücü bakteri aşılamalarının şeker pancarı verim ve kalitesine etkisi. II. Şeker Pancarı Üret. Semp., Verim, Kalit. Yük., 257-270.

- Çakmakçı, R., Kantar, F., Algur, Ö.F., 1999. Sugar beet and barley yield in relation to *Bacillus polymyxa* and *Bacillus megaterium* var. *phosphaticum* inoculation. J. Plant Nutr. Soil Sci. 162, 437-442.
- Çakmakçı, R., Kantar, F., Şahin, F., 2001. Effect of N₂-fixing bacterial inoculations on yield of sugar beet and barley. J. Plant Nutr. Soil Sci. 164, 527-531.
- Çakmakçı, R., Şahin, F., Kantar, F., 2003. Tek başına ve birlikte azot fiksasyonu ve fosfat çözücü bakteri aşlamalarının şeker pancarı verim ve kalitesine etkisi. Türkiye 5. Tarla Bitkileri Kongresi 13-17 Ekim 2003, Diyarbakır.
- De Freitas, J.R., 2000. Yield and N assimilation of winter wheat (*Triticum aestivum* L., var Norstar) inoculated with rhizobacteria. Pedobiologia 44, 97-104.
- De Freitas, J.R., Germida, J.J., 1990. Plant growth-promoting rhizobacteria for winter wheat. Can. J. Microbiol. 36, 265-272.
- De Freitas, J.R., Germida, J.J., 1991. *Pseudomonas-cepacia* and *Pseudomonas-putida* as winter-wheat inoculants for biocontrol of *Rhizoctonia solani*. Can J Microbiol. 37, 780-784.
- De Freitas, J.R., Germida, J.J., 1992a. Growth promotion of winter-wheat by fluorescent *Pseudomonads* under growth chamber conditions. Soil Biol Biochem. 24, 1127-1135.
- De Freitas, J.R., Germida, J.J., 1992b. Growth promotion of winter wheat by fluorescent *Pseudomonads* under field conditions. Soil Biol Biochem. 24, 1137-1146.
- De Silva, A., Patterson, K., Rothrock, C., Moore, J., 2000. Growth promotion of highbush blueberry by fungal and bacterial inoculants. Hortscience.35 (7): 1228-1230 DEC 2000.
- Di Ciocco, C.A., Caceres, E.A.R., 1994. Field inoculation of setaria-italica with *Azospirillum* spp in argentine humid pampas. Field Crop Res. 37, 253-257.
- Dobbelaere, S., Croonenborghs, A., Thys, A., Ptacek, D., Vanderleyden, J., Dutto, P., Labandera-Gonzalez, C., Caballero-Mellado, J., Aguirre, J.F., Kapulnik, Y., Brener, S., Burdman, S., Kadouri, D., Sarig, S., Okon, Y., 2001. Responses of agronomically important crops to inoculation with *Azospirillum*. Aust J Plant Physiol. 28, 871-879.
- Dong, Z., Layzell, D.B., 2001. H₂ oxidation, O₂ uptake and CO₂ fixation in hydrogen treated soils. Plant. 229, 1-12.
- Döbereiner, J., 1997. Biological nitrogen fixation in the tropics: Social and economic contributions. Soil Biol. Biochem., 29, 771-774.
- Döbereiner, J., Baldani, V.L.D., Olivares F., Reis, V.M., 1993 a. Endophytic diazotrophs. The key to BNF in gramineous plants. In Nitrogen Fixation with Non-Legumes. Eds. Hegazi, N.A. et al., 395-408. The American Univ. In Cairo Pres.
- Döbereiner, J., Reis, V.M., Paula, M.A., Olivares, F., 1993 b. Endophytic diazotrophs in sugarcane, cereals and tuber plants. Pp. 671-676 in New Horizons in Nitrogen Fixation. Palacios R. et al., (eds.). Boston: Kluwer Academic
- Drepper, T., Raabe, K., Giaourakis, D., Gendrullis, M., Masepohl, B., Klipp, W., 2002. The Hfq-like protein NrfA of the phototrophic purple bacterium *Rhodobacter capsulatus* controls nitrogen via regulation of *nif A* and *anf A* expression. FEMS Microbiol. Lett. 215, 221-227.
- Elbadry, M., Gamal-Eldin, H., Elbanna, K., 1999. Effects of *Rhodobacter capsulatus* inoculation in combination with graded levels of nitrogen fertilizer on growth and yield of rice in pots and lysimeter experiments. World J. Microb. Biot. 15, 393-395.
- El-Khawas, H., Adachi, K., Yanagihara, S., 2000. Biological Nitrogen Fixation and Crop Production. Int. Symp. FAO/RNE, ARC and ESAM, Cairo.
- Fages, J., Arsac, J.F., 1991. Sunflower inoculation with *Azospirillum* and other plant-growth promoting rhizobacteria. Plant Soil., 137, 87-90.
- Fallik, E., Okon, Y., 1996. The response of maize (*Zea mays*) to *Azospirillum* inoculation in various types of soils in the field. World J Microb Biot 12, 511-515.
- Frommel, M.I., Nowak, J., Lazarovitis, G., 1993. Treatment of potato tubers with a growth promoting *Pseudomonas* sp.: Plant growth responses and bacterium distribution in rhizosphere. Plant Soil., 150, 51-60.
- Fukui, R., Schroth, M.N., Henderson, M., Hancock, J.G., Firestone, M.K., 1994b. Growth patterns and metabolic activity of *Pseudomonas* in sugar beet spermospheres: Relationship to pericarp colonization by *Pythium ultimum*. Phytopathol. 84, 1331-1338
- Gagne, S., Dehbi, L., Lequere, D., Cayer, F., Morin, J.L., Lemay, R., Fourmier, N., 1993. Increase of greenhouse tomato fruit yields by plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) inoculated into the peat-based growing media. Soil Biol Biochem., 25, 269-272.
- Galloway, J.N., Schlesinger, W.H., Levy, I.H., Michaels, A., Schnoor, J.L., 1995. Nitrogen fixation: Anthropogenic enhancement environmental response. Global Biochem. Cycles. 9, 235-252.
- Glick, B.R., 1995. The enhancement of plant growth by free-living bacteria. Can. J. Microbiol., 41, 109-117.
- Gori, A., Favilli, F., 1995. First results on individual and dual inoculation with *Azospirillum-Glomus* on wheat. NATO ASI Ser. Ser. G., 37, 245-249.
- Hall, J.A., Pierson, D., Ghosh, S., Glick, B.R., 1996. Root elongation in various agronomic crops by the plant growth promoting rhizobacterium *Pseudomonas putida* GR12-2. Isr J Plant Sci 44, 37-42.
- Hamaoui, B., Abadi, J.M., Burdman, S., Rashid, A., Sarig, S., Okon, Y., 2001. Effects inoculation with *Azospirillum brasilense* on chickpeas (*Cicer arietinum*) and faba beans (*Vicia faba*) under different growth conditions. Agronomie, 21, 553-560.
- Hecht-Buchholz, C., 1998. The apoplast habitat of endophytic dinitrogen fixing bacteria and their significance for the nitrogen nutrition of nonlegumious plants. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 161, 509-520.
- Hernandez, Y., Sogo, J., Sarmiento, M., 1997. *Azospirillum* inoculation on *Zea mays*. Cuban J. Agr. Sci., 31, 203-209.
- Hoffmann-Hergarten, S., Gulati, M.K., Sikora, R.A., 1998. Yield response and biological control of *Meloidogyne incognita* on lettuce and tomato with rhizobacteria. J. Plant Dis. Protect., 105, 349-358.
- Hubbel, D.H., Kidder, G., 1998. Biological Nitrogen Fixation. Soil and Water Sci. Dep., Florida Coop. Ext. Serv., University of Florida.
- Iswandi, A., Bssie, P., Vandenbeebe, J., Verstraete, W., 1987. Effect of seed inoculation with the rhizopseudomonad strain 7NSK2 on root microbiota of maize (*Zea mays*) and barley (*Hordeum vulgare*). Biol. Fert. Soils. 3, 153-158.
- Jacoud, C., Faure, D., Wadoux, P., Bally, R., 1998. Development of a strain-specific probe to follow inoculated *Azospirillum lipoferum* CRT1 under field conditions and enhancement of maize root development by inoculation. FEMS Microbiol. Ecol. 27, 43-51.
- Jagnow, G., 1987. Differences in nitrogenase activity of german cereal cultivars after inoculation of sterile seedlings with *Azospirillum* spp growth of plants with different activity in pots and nitrogenase activity of sterile, inoculated seedlings of the F₁-generation Landbauforsch. Volk. 37 (2): 65-69.
- Jenkinson, D.A., 2001. The impact of human on the nitrogen cycle, with focus on temperate arable agriculture. Plant Soil 228, 3-15.
- Jensen, E.S. and Nielsen, H.H. 2003. How can increased use of biological N₂ fixation in agriculture benefit the environment. Plant and Soil, 252, 177-186.
- Kaiser, P., 1995. Diazotrophic mixed cultures of *Azospirillum brasilense* and *Enterobacter cloacae*. NATO ASI Ser. Ser. G, 37, 207-212.
- Keshta, M.M., El-Khouly, M.H., 2000. Biological Nitrogen Fixation and Crop Production. Int. Symp. FAO/RNE, ARC and ESAM, Cairo.
- Khan, M.R., Talukdar, N.C., Thakuria, D., 2003. Detection of *Azospirillum* and PSB in rice rhizosphere soil by protein and antibiotic resistance profile and their effect on grain yield of rice. Indian J. Biotechnol. 2, 246-250.
- Kiewnik, S., Jacobsen, B.J., Braun-Kiewnik, A., Eckhoff, J.L.A., Bergman, J.W., 2001. Integrated control of *Rhizoctonia* Crown and Root rot of sugar beet with fungicides and antagonistic bacteria. Pant Dis. 85, 718-722.

- Kloepper, J.W., Lifshitz, K., Zablutowicz, R.M., 1989. Free-living bacterial inocula for enhancing crop productivity. *Trends Biotechnol* 7, 39-43.
- Kokalis-Burella, N., Vavrina, E.N., Roskopf, E.N., Shelby, R.A., 2002. Field evaluation of plant growth promoting rhizobacteria amended transplant mixes and soil solarization for tomato and pepper production in Florida. *Plant Soil*, 238, 257-266.
- Kotan, R. 2002. Doğu Anadolu Bölgesi'nde Yetiştirilen Yumuşak Çekirdekli Meyve Ağaçlarından İzole Edilen Patojen ve Saprofitik Bakteriye Organizmaların Klasik ve Moleküler Metodlar ile Tanısı ve Biyolojik Mücadele İmkanlarının Araştırılması. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü. Doktora Tezi.
- Kropp, B.R., Thomas, E., Pounder, J.I., Anderson, A.J., 1996. Increased emergence of spring wheat after inoculation with *Pseudomonas chlororaphis* isolate 2E3 under field and laboratory conditions. *Biol. Fert. Soils*, 23, 200-206.
- Kundu, B.S., Gaur, A.C. 1984. Rice response to inoculation with N₂-fixing and P-solubilizing microorganisms. *Plant Soil* 79, 227-234.
- Lalande, R., Bissonnette, N., Coutlee, D., Antoun, H., 1989. Identification of rhizobacteria from maize and determination of their plant-growth promoting potential. *Plant Soil*, 115, 7-11.
- Lippi, D., Cacciari, I., Pietrosanti, T., Pietrosanti, W., 1992. Interactions between *Azospirillum* and *Arthrobacter diazotrophic* mixed culture. *Symbiosis* 13, 107-114.
- Lucy, M., Reed, E., Glick, B.R., 2004. Applications of free living plant growth-promoting rhizobacteria. *Antonie van Leeuwenhoek*, 86, 1-25.
- Mayak, S., Tirosh, T., Glick, B.R., 2001. Stimulation of the growth of tomato, pepper and mung bean plants by the plant growth-promoting bacterium *Enterobacter cloacae* CAL3. *Biol Agric Hortic* ., 19 (3): 261-274 2001
- McCullagh, M., Utkhede, R., Menzies, J.G., Punja, Z.K., Paulitz, T.C., 1996. Evaluation of plant growth-promoting rhizobacteria for biological control of *Pythium* root rot of cucumbers grown in rockwool and effects on yield. *Eur J Plant Pathol*, 102, 747-755.
- McLearn, N., Dong, Z.M., 2002. Microbial nature of the hydrogen-oxidizing agent in hydrogen-treated soil. *Biol Fert Soils*, 35, 465-469.
- Monib, M., Hosny, I., Besada, Y.B., 1984. Seed inoculation of castor oil plant (*Ricinus communis*) and effect on nutrient uptake. *Soil Biol Conserv Biosphere* 2, 723-732.
- Mudahar, M.S., Hignett, T.P., 1987. Fertilizer and energy use. In *Energy in Plant Nutrition and Pest Control*. Ed. Helsen Z.R., 1-24. Elsevier, Amsterdam.
- Norman, M.J.T., Pearson, C.J., Searle, P.G.E., 1995. The ecology of tropical food crops. 2nd ed. Cambridge University Press
- Okon, Y., Labandera-Gonzalez, C.A., 1994. Agronomic applications of *Azospirillum* an evaluation of 20 years worldwide field inoculation. *Soil Biol Biochem*., 26, 1591-1601.
- Oliveira, A.L.M., Urquiaga, S., Döbereiner, J., Baldani J.I., 2002. The effect of inoculating endophytic N₂-fixing bacteria on micropropagated sugarcane plants. *Plant Soil* 242, 205-215.
- Omar, N., Heulin, T., Weinhard, P., Eldin, M.N.A., Balandreau, J., 1989. Field inoculation of rice with invitro selected plant-growth promoting-rhizobacteria. *Agronomie*. 9, 803-808.
- Öztürk A, Çağlar O and Sahin F 2003 Yield response of wheat and barley to inoculation of plant growth promoting rhizobacteria at various levels of nitrogen fertilization. *J. Plant Nutr. Soil Sci*. 166, 1-5.
- Pal, S.S., 1999. Interaction of an acid tolerant strain of phosphate solubilizing bacteria with a few acid tolerant crops. *Plant Soil* 213, 221-230.
- Pandey, A., Durgapal, A., Joshi, M., Palni, L.M.S., 1999. Influence of *Pseudomonas corrugata* inoculation on root colonization and growth promotion of two important hill crops. *Microbiol Res* ., 154, 259-266.
- Podile, A.R., Praash, A.P., 1996. Lysis and biological control of *Aspergillus niger* by *Bacillus subtilis* AF 1. *Can. J. Microbiol.*, 42, 533-538.
- Polyanskaya, L.M., Vedina, O.T., Lysek, L.V., Zvyagintev, D.G., 2000. The growth promoting effect of *Beijerinckia mobilis* and *Clostridium* sp. cultures on some agricultural crops. *Microbiol*. 71, 109-115.
- Rao, V.R., Ramakrishnan, B., Adhya, T.K., Kanungo, P.K. and Nayak, D.N., 1998. Review: Current status and future prospects of associative nitrogen fixation in rice. *World J. Microbiol. Biotechnol*. 14, 621-633.
- Reddy, M.S., Rahe, J.E., 1989. Growth effects associated with seed bacterization not correlated with populations of *Bacillus-subtilis* inoculant in onion seedling rhizospheres. *Soil Biol Biochem*, 21 (3): 373-378 1989.
- Ribaudou, C.M., Rondonani, D.P., Cura, J.A., Frascina, A.A., 2001. Response of *Zea mays* to the inoculation with *Azospirillum* on nitrogen metabolism under greenhouse conditions. *Biol Plantarum*. 44, 631-634.
- Rojas, A., Holguin, G., Glick, B.R., Bashan, Y., 2001. Synergism between *Phyllobacterium* sp. (N₂-fixer) and *Bacillus licheniformis* (P-solubilizer), both from a semiarid mangrove rhizosphere. *FEMS Microbiol. Ecol.*, 35, 181-187.
- Saber, M.S.M., 2001. Clean Biotechnology for sustainable farming. *Eng. Life Sci.*, 1, 217-223.
- Sarig, S., Blum, A., Okon, Y., 1998. Improvement of the water status and yield of field-grown grain-sorghum (*Sorghum bicolor*) by inoculation with *Azospirillum brasilense*. *J Agr Sci* , 110, 271-277
- Sarig, S., Okon, Y., Blum, A., 1992. Effect of *Azospirillum-brasilense* inoculation on growth dynamics and hydraulic conductivity of *Sorghum bicolor* roots. *J Plant Nutr*. 15, 805-819.
- Saubidet, M.I., Fatta, N., Barneix, A.J., 2002. The effect of inoculation with *Azospirillum brasilense* on growth and nitrogen utilization by wheat plants. *Plant Soil*. 245, 215-222.
- Schilling, G., Gransee, A., Deubel, A., Ležović, G., Ruppel, S., 1998. Phosphorus availability, root exudates, and microbial activity in the rhizosphere. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk*. 161, 465-478.
- Shanthaam, S. Mattoo, A.K., 1997. Enhancing biological nitrogen fixation: An appraisal of current and alternative technologies for N input into plants. *Plant Soil*., 194, 205-216.
- Smith, R.L., Schank, S.C., Milam, J.R., Baltensperger, A.A., 1984. Responses of sorghum and pennisetum species to the N₂-fixing bacterium *Azospirillum-brasilense*. *Appl Environ Microb*. 47, 1331-1336.
- Srinivasan, M., Petersen, D.J., Holl, F.B., 1996. Influence of indoleacetic-acid-producing *Bacillus* isolates on the nodulation of *Phaseolus vulgaris* by *Rhizobium etli* under gnotobiotic conditions *Can. J. Microbiol*. 42, 1006-1014.
- Sudha, S.N., Jayakumar, R., Sekar, V., 1999. Introduction and expression of the *cry1Ac* gene of *Bacillus thuringiensis* in a cereal associated bacterium, *Bacillus polymyxa*. *Curr. Microbiol*. 38, 163-167.
- 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., Camb.*, 134, 227-234.
- Suslow, T.V., Schroth, M.N., 1982. Rhizobacteria of sugar-beets - effects of seed application and root colonization on yield. *Phytopathology*. 72, 199-206.
- Şahin, F., Çakmakçı, R., Kantar, F., 2004. Sugar beet and barley yields in relation to inoculation with N₂-fixing and phosphate solubilizing bacteria. *Plant and Soil*, 265, 123-129.
- Tchan, Y.T., 1993. Some aspects of non-rhizobial diazotrophs: their past and their future. In *Microbiology in Action*. Eds Murwell W.G and Kennedy I.R., 193-207. John Wiley and Sons. New York.
- Tiwari, V.N., Lehri, L.K., Pathak, A.N., 1989. Effect of inoculating crops with phospho-microbes. *Exp. Agric*. 25, 47-50.
- Tran Van V., Berge, O., Ngo, K.S., Balandreau, Heulin, T., 2000. Repeated beneficial effects of rice inoculation with a strain with a *Burkholderia vietnamiensis* on early and late yield components in low fertility sulphate acid soils of Vietnam. *Plant Soil*, 281, 273-284.

- Turner, J.T., Backman, P.A., 1991. Factors relating to peanut yield increases after seed treatment with *Bacillus subtilis*. *Plant Dis.* 75, 347-353.
- Urashima, Y., Hori, K., 2003. Selection of PGPR which promotes the growth of spinach. *Japanese J. Soil Sci. Plant Nutr.* 74, 157-162.
- Urquiaga, S., Cruz, K.H.S., Boddey, R.M., 1992. Contribution of nitrogen fixation to sugar cane: nitrogen and nitrogen balance estimates. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 56, 105-114.
- Uthede, G.S., Koch, C.A., Menzies, J.G., 1999. Rhizobacterial growth and yield promotion of cucumber plants inoculated with *Pythium aphanidermatum*. *Can. J. Plant athol.* 21, 265-271.
- Van Loon, L.C., Bakker, P.A.H.M., Pieterse, C.M.J., 1998. Systemic resistance induced by Rhizosphere bacteria. *Annu. Rev. Phytopathology*, 36, 453-483.
- Vedder-Weiss, D., Jurkevitch, E., Burdman, S., Weiss, D., Okon, Y., 1999. Root growth, respiration and beta-glucosidase activity in maize (*Zea mays*) and common bean (*Phaseolus vulgaris*) inoculated with *Azospirillum brasilense*. *Symbiosis* 26, 363-377.
- Veeraswamy, J., Padmavathi, T., Venkateswarlu, K., 1992. Interaction effects of *Glomus intraradices* and *Azospirillum lipoferum* on sorghum. *I. J. Microbiol.* 32, 305-308.
- Vessey, J.K., Buss, T.J., 2002. *Bacillus cereus* UW85 inoculation effects on growth, nodulation, and accumulation in grain legumes. *Can. J. Plant Sci.* 82, 282-290.
- Walley, F.L., Germida, J.J., 1997. Response of spring wheat (*Triticum aestivum*) to interactions between *Pseudomonas* species and *Glomus clarum* NT4. *Biol. Fertil. Soils* 24, 365-371.
- Watanabe, I., Liu, C.C., 1992. Improving nitrogen-fixing systems and integrating them into sustainable rice farming. *Plant Soil.* 141, 57-67.
- Whitelaw, M.A., Hardenand, T.A., Bender, G.L., 1997. Plant growth promotion of wheat inoculated with *Penicillium radicum* sp. nov. *Australian J. Soil Res.* 35, 291-300.
- Xu, G.W., Gross, D.C., 1986. Field evaluations of the interactions among fluorescent *Pseudomonas*, *Erwinia carotovora* and potato yields. *Phytopathol.*, 76, 423-430.
- Yahalom, E., Okon, Y., Dovrat, A., 1987. *Azospirillum* effects on susceptibility to *Rhizobium* nodulation and on nitrogen fixation of several forage legumes. *Can. J. Microbiol.* 33, 510-514.
- Zhang, F., Dashti, N., Hynes, R.K., Smith, D.L., 1997. Plant growth-promoting rhizobacteria and soybean [*Glycine max* (L) Merr] growth and physiology at suboptimal root zone temperatures. *Ann. Bot. (Lond.)*, 79, 243-249.