

## **BITKİ GELİŞİMİNİ UYARAN KÖK BAKTERİLERİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ VE ETKİLERİ**

**Nedim ALTIN**

**Zirai Mücadele Araştırma  
Enstitüsü Bornova-İzmir/TURKEY**

**Tayyar BORA**

**Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi  
Bitki Koruma Bölümü  
Bornova-İzmir/TURKEY**

**ÖZ:** Bitkilerin rhizosferi yoğun mikrobiyal etkinliğin olduğu bir bölgedir ve bu bölgedeki bazı bakteriler kök bakterileri olarak adlandırılır. Bitki gelişimi üzerinde yararlı etki gösteren kök bakterileri bitki gelişimini uyararak kök bakterileri olarak adlandırılır (PGPR). Bu bakteriler bitki gelişimini ya patojen organizmaların bazı zararlı etkilerini önleyerek dolaylı ya da bakteri tarafından üretilen veya çevreden besinlerin alımını kolaylaştıran bir bileşiği bitkiye sağlayarak direkt olarak etkileyebilirler. Bitki gelişiminin uyarılmasının direkt mekanizması atmosfer azotunun tespitini, siderofor üretimini, auxin, sitokinin gibberellin gibi bitki hormonlarının üretimini, fosfor gibi minerallerin çözünürlüğünü ve enzimlerin sentezini içerir. Son yıllarda bakteri tarafından gelişimin uyarılması ile biyolojik savaşın kesin olarak birbirinden ayırt edilemediği görülmektedir. Gelişimin uyarılması ve biyolojik savaş bir metal paranın iki yüzü gibi düşünülmektedir.

**Anahtar Sözcükler:** Bitki gelişimini uyararak kök bakterileri(PGPR), Biyolojik savaş.

## **COMMON PROPERTIES AND EFFECTS OF PLANT GROWTH PROMOTING RHIZOBACTERIA**

**ABSTRACT:** The rhizosphere of plants is a zone of intense microbial activity, and some bacteria from this zone, termed rhizobacteria. Rhizobacteria that exert beneficial effects on plant development are referred to as plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR). Plant growth promoting rhizobacteria can affect plant growth either indirectly by preventing some of the deleterious effects of a phytopathogenic organism, or directly by providing the plant with a compound that is synthesized by the bacterium or facilitating the uptake of nutrients from the environment. Direct mechanisms of plant growth promotion include: fixing atmospheric nitrogen; producing siderophores; synthesizing phytohormones, including auxins, cytokinins, and gibberellins; solubilizing minerals such as phosphorus; and synthesizing enzymes. In recent years, it has become apparent that there is no clear separation of growth promotion and biological control induced by bacterial inoculants. Growth promotion and biological control properties of a certain bacterium should be thought of as two sides of the same coin.

**Keywords:** Plant growth promoting rhizobacteria(PGPR), Biological control.

## GİRİŞ

Toprak çok sayıda ve çeşitlilikte mikroorganizma topluluklarını barındırır. Bu mikroorganizma toplulukları arasında bitki kökleri ile ilişkili olan bakterilere kök bakterileri denir. Bu kök bakterileri bitki kökleri ile olan etkileşimleri göz önüne alındığında bir kısmının yararlı bir kısmının zararlı etkide bulunduğu görülmektedir. Yararlı etkide bulunan kök bakterilerinin bazıları bitkilerde gelişmeyi uyarıcı veya biyokontrol ajanı gibi rol oynayarak ya da her iki şekilde de davranarak bitkilere yararlı etkide bulunurlar (Romerio, 2000). Bu tür yararlı etkide bulunan kök bakterileri için dilimizde “bitki gelişimini uyarıcı kök bakterileri” diyebileceğimiz İngilizcede “Plant Growth Promoting Rhizobacteria” denilmekte ve PGPR olarak kısıtlanmaktadır. Bu terim ilk kez 1978 yılında kullanılmıştır (Klepper ve Schroth, 1978). Bu amaçla PGPR terimi dışında başka terimler de kullanılmaktadır. Çin’de bitki gelişimini uyarıcı kök bakterileri için İngilizce “Yield Increasing Bacteria” sözcüklerinin kısaltılmışı olan YIB terimi kullanılmaktadır (Chen ve ark., 1996). Birtakım çalışmalarda da bitki gelişimini uyarıcı bakteriler anlamına gelen İngilizce “Plant Growth Promoting Bacteria” sözcüklerinin kısaltılması olan PGPB terimine rastlanılmaktadır (Bashan ve ark., 2000). Bitki gelişimini uyarıcı kök bakterileri ile Dünyada yapılan çalışmalara bakıldığında daha çok PGPR terimi kullanıldığı görülmektedir.

Bitki gelişimini uyarıcı kök bakterilerinin bitki gelişimini uyarıcı etkisinin yanı sıra hastalıklara özellikle de toprak kaynaklı patojenlere karşı biyolojik savaşta etkili oldukları bilinmektedir (Klepper, 1993; Lucas ve ark., 2000; Lemanceau ve ark., 2000; Parmar ve Dudarwal, 2000). Ancak, pek çok araştırmacı tarafından bitki gelişimini uyarıcı kök bakterilerinin yararlı etkileri olarak ortaya konmuş olan bitki gelişimini uyarıcı etkisi ile biyolojik kontrol etkilerini birbirinden kesin bir şekilde ayırmanın o kadar kolay olmadığı vurgulanmaktadır (Chen ve ark., 1996). Bu durum bir metal paranın iki yüzü gibidir. Bir yüzü bitki gelişimini uyarıcı etki diğer yüzü de biyolojik savaş etkisi gösterir (Klepper, 1993). Zaten kök bakterilerinin bitki gelişimini uyarması dolaylı bir biyolojik savaş mekanizmi olarak da kabul edilmektedir.

Bugün dünyanın pek çok ülkesinde bitki gelişimini uyarıcı kök bakterilerinin bitkilerde verimi artırıcı etkisi üzerinde çalışılmaktadır (Arias, 2000; Chen ve ark., 1996; Luz, 2000; Romerio, 2000; Wall, 2000). Bu bakteriler ile çalışmalar Çin’de 1979 yılında başlamış ve 1985 yılında da geniş çapta tarla uygulamalarına geçilmiştir. Çin’deki çalışmalar sonucunda bu bakterilerin bazı ürünlerde sağladığı verim artışları şöyledir; çeltik % 16,2; buğday % 11; mısır % 12,5; patates % 22,5; pamuk % 10,4; şekerpancarı % 16,9; karpuz % 15,5; kök sebzeleri % 20’dir (Chen ve ark., 1996). Amerika Birleşik Devletlerinde bitki gelişimini uyarıcı kök bakterilerinin verime olan

etkileri üzerinde yapılan başka çalışmalarda arpada % 5-20; kanola'da % 57; yerfıstığında % 14-25; pirinçte % 12-24; kerevizde % 12-15 verim artışı sağlandığı tespit edilmiştir (Kloepper ve ark., 1991).

Suudi Arabistan'da bitki gelişimini uyaran kök bakterilerinden olan *Bacillus polymyxa* ile yapılan bir çalışmada, bakteri, hem *Fusarium graminearum* ve *Cochliobolus sativus* etmenlerinin neden olduğu buğdayda kök çürüklüğünü azaltmış hem de üründe % 102 oranında artışa neden olmuştur (El-Meleği and Hassan, 2000). Uruguay'da 1960'lı yılların başından beri bitki gelişimini uyaran kökbakterileri ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. İlk başlarda *Mesorhizobium loti*, *Sinorhizobium meliloti* gibi bakterilerle azot fiksasyonu üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar başarıyla uygulamaya aktarılmış ve bugün leguminosae familyasına ait bitkilerin hepsi kendilerine özgü bu rhizobium'lar ile inokule edilerek kullanılmaktadır. Bu ülkede daha sonraki yıllarda yapılan çalışmalar bitki gelişimini uyaran bu kök bakterilerinin bitki hastalıklarının kontrolü üzerindeki etkileri konusunda yoğunlaşmıştır (Arias, 2000).

## **BAŞLICA BİTKİ GELİŞİMİNİ UYARAN KÖK BAKTERİLERİ**

Bugün dünyanın pek çok ülkesinde, hem bitki gelişimini uyaran hem de biyokontrol ajanı olarak hastalıkları önleyen bu kök bakterileri ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde bitki gelişimini uyaran kök bakterilerinin genelde *Bacillus*, *Lactobacillus*, *Paenibacillus*, *Arthobacter*, *Streptomyces*, *Pseudomonas*, *Burkholderia*, *Comamonas*, *Hydrogenophaga*, *Agrobacterium*, *Alcaligenes variovorax*, *Enterobacter*, *Pantoea*, *Klebsiella*, *Xanthomonas*, *Serratia*, *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Azospirillum*, *Azotobacter* gibi genuslarda yer aldığı görülmektedir. Bu genuslar arasında özellikle *Pseudomonas* ve *Bacillus*'lar bitki gelişimini uyarıcı etkilerinin yanı sıra patojenler açısından çok iyi antagonistik özelliklere sahip olmaları nedeniyle de dikkat çekmektedirler. Azot fikse eden bakterilerden *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Azotobacter* ve *Azospirillum* kök bakterileri kümesinde azot tespit eden kök bakterileri alt kümesini oluştururlar. Bunlar genelde bitki ile penetrasyona dayalı bir etkileşim içinde bulunurlar ve bunların biyokontrol etkileri çok zayıftır.

## **BİTKİ GELİŞİMİNİ UYARAN KÖK BAKTERİLERİNİN ETKİ MEKANİZMALARI**

Bitki gelişimini uyaran kök bakterilerinin bitki gelişimini uyarma etkisi nasıl olmaktadır? Bu etki mekanizmalarına kısaca bakacak olursak bunların, besinlerden yararlanmayı kolaylaştırma, büyüme hormonları üzerine olan etkileri, zararlı

mikroorganizmaların önlenmesi ve biyolojik kontrol gibi başlıklar altında toplandığı görülmektedir.

### **Besinlerden yararlanma**

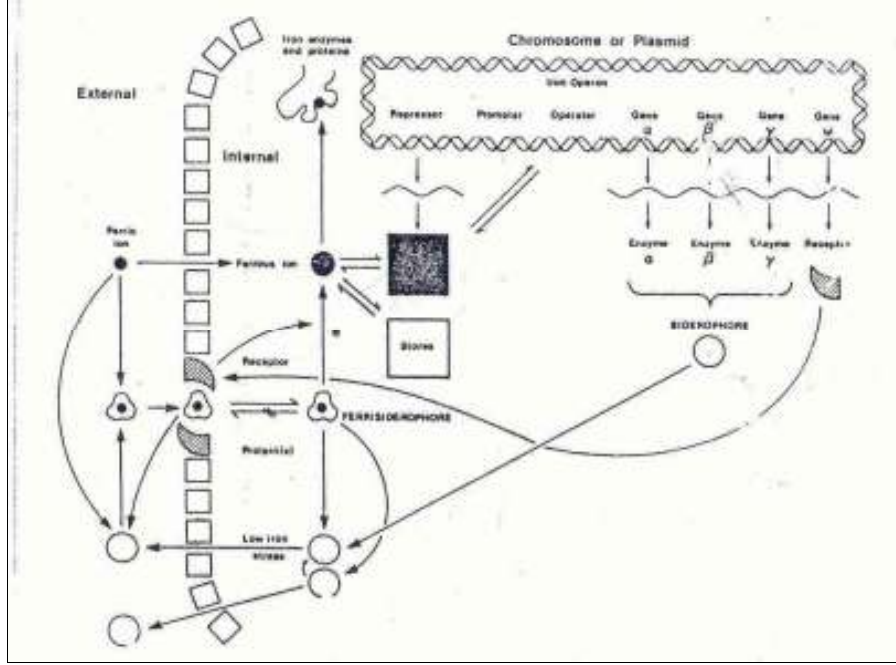
**Sidereför üretimi:** Mikroorganizmaların enerji metabolizmalarında önemli bir rol oynayan demir, toprakta kullanılabilir serbest iyon halinde sınırlı oranda bulunur. Bu durum demirin toprakta güç çözünen ferrik hidroksit polimerleri halinde bağlanmış olmasından kaynaklanır. Asit nitelikli topraklarda demir polimerleri çözüneceğinden yeterince demir iyonu bulunacaktır. Oysa, bazik karakterli topraklarda çözünürlük azalacağından demir iyonu konsantrasyonu düşecektir ve mikroorganizmalar arasında azalan bu demir için rekabet doğacaktır.

Toprakta sınırlı miktarda bulunan demiri alabilmek amacıyla bakteri, fungus ve bitkiler ekstraselüler olarak düşük moleküler ağırlıkta demir iyonları için yüksek uyuma sahip suda çözünebilir moleküller olan sideroforları sentez ederler. Sözcük anlamı demir taşıyıcı demek olan sideroforlar topraktaki demir iyonlarını alır ve onları hücre içindeki metabolik olaylarda kullanılmak üzere hücre içine bırakır.

Sideroforları bitkiler tarafından sentezlenen fitosideroforlar ve mikroorganizmalar tarafından sentezlenen mikrobiyal sideroforlar olmak üzere iki ana gruba ayırabiliriz.

Mikroorganizmalarda demirin sideroforlarla hücre içine taşınımı düşük ve yüksek uyumlu demir taşınımı olmak üzere iki yolla olmaktadır (Şekil 1) (Leong, 1986). Düşük uyumlu demir taşınımında  $+3$  değerli demir iyonları özgül bağlarla koordine olmadan ve hücre zarı ile ilişkili reseptör proteinleri aracılığı olmadan hücre içine taşınır. Yüksek uyumlu demir taşınımında ise demir ile birleşen siderofor hücre zarındaki kanallardan geçemeyecek kadar büyüktür. Bu bileşik hücre zarında bulunan reseptör proteinler tarafından hücre içine alınmaktadır. Hücre içine giren  $Fe^{+3}$  + siderofor kompleksinden demirin serbest kalması muhtemelen redüksiyon yoluyla olmaktadır. Demiri serbest bırakan sideroforlar tekrar hücre dışına çıkarak yeni  $Fe^{+3}$  + siderofor kompleksi oluştururlar (Leong, 1986).

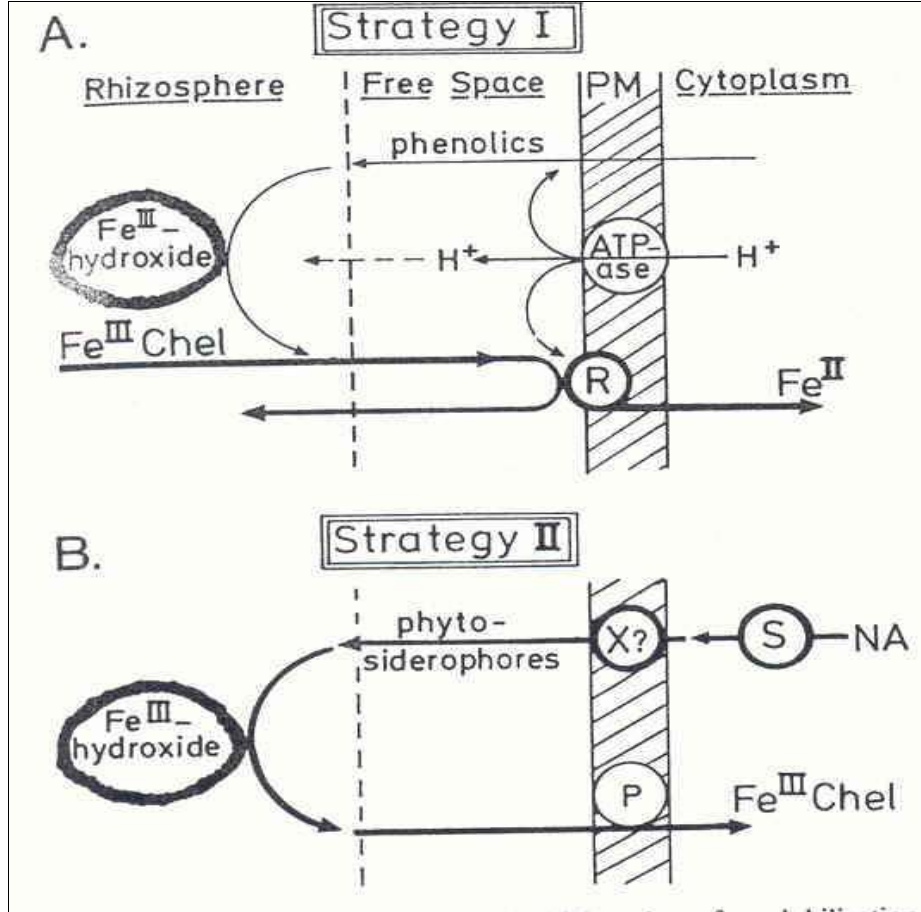
Bitkilerde ise sınırlı demir bulunan koşullarda demir alınımını arttıran 2 strateji mevcuttur. I. strateji daha çok dikotiledon ve Gramineae familyasına ait olmayan monokotiledon bitkiler için tipiktir (Şekil 2).



Şekil 1. Mikroorganizmalarda düşük ve yüksek uyumlu demir taşınımı (Leong, 1986).

Figure 1 Schematic representation of low and high-affinity iron assimilation in aerobic and facultative anaerobic microorganisms (Leong, 1986).

Plasma membranında bulunan ATPase enzimi vasıtasıyla oluşan dehidrogenasyon (H verme) sonucu serbest kalan  $H^+$ 'ler rhizosfere yayılırlar. Bu  $H^+$ 'ler rhizosferdeki  $Fe(OH)_3$  ile birleşirler. Bu bileşik kök hücrelerinin plasma membranının iç yüzeyine geldiğinde redüktaz enzimleri yoluyla redüksiyona uğrarlar. Burada açığa çıkan  $Fe^{+2}$  hücre içine alınır. II. strateji sadece Gramineae familyasına ait bitkilerde bulunur. Bu bitkiler sınırlı demir bulunan koşullarda siderofor üretirler. Üretilen bu siderofor  $Fe^{+3}$  ile uyuma sahiptir (Leong, 1986). Bu fitosideroforların oluşturduğu  $Fe + \text{şelatlar}$  özel bir taşıyıcı sistem ile hücre içine alınırlar (Römheld ve Marschner, 1986).



Şekil 2 Bitkilerde demir alımı stratejileri A strateji I: reductase R ve ATP-ase'nin neden olduğu taşınım B strateji II: nicotianamine'lerden fitosiderofor sentezi S, fitosideroforların hücre dışına çıkarılması X ve demir ile birleşen sideroforların özel taşıyıcı sistem ile hücre içine alınması P (Römheld ve Marschner, 1986).

Figure 2 Model of strategy I and II in higher plants for solubilization and uptake of iron. A. Strategy I: inducible reductase R and ATP-ase. B. Strategy II: inducible synthesis of phytosiderophores S from the precursor nicotianamine (NA), extrusion of phytosiderophores X, and a specific transport system for ferrated phytosiderophores P (Römheld and Marschner, 1986).

Bitki gelişimini uyaran kök bakterileri tarafından üretilen siderofor yardımıyla toprakta sınırlı miktarda bulunan demir alınarak patojenlerin gelişmesi engellenir. Patojenlerin engellenmesiyle de biyokontrol yoluyla bitki gelişimi olumlu yönde etkilenir.

**Fosfat çözünürlüğü:** Bitkiler için azottan sonra en önemli besin kaynaklarından biri de fosfordur. Fosfor topraklarda yeterince bulunmasına rağmen az bir miktarı bitkiler tarafından kullanılabilir durumdadır. Toprağın pH'sı ve kireç içeriği fosforun bitkiler tarafından alınabilirliğini etkileyen faktörlerdir. Topraktaki fosforun bitkiler tarafından en iyi alınabildiği pH sınırları 6,5-7,5 değerleri arasındadır. Toprak pH'sının 6,5'in altında olduğu durumlarda fosfor topraktaki etkin halde bulunan Fe, Al ve Mn gibi katyonlar ile çökelti meydana getirmek suretiyle fikse olur ve bitki tarafından alınmaz. Toprak pH'sının 7,5'in üzerinde olduğu durumlarda ise fosforlu gübrelerdeki monokalsiyum fosfat trikalsiyum fosfata dönüşerek erimez veya çok güç erir formda fikse olur. Ayrıca kireçli alkali topraklarda genel olarak serbest halde bulunan  $\text{CaCO}_3$  ile fosforun teması sonucu fosfor  $\text{CaCO}_3$ 'ün yüzeyine çökerek fikse olur ve bitkiler tarafından alınmaz forma dönüşür.

Toprakta bulunan bir kısım kök bakterileri topraktaki bu kullanılmayan fosforu çözerek bitkiler tarafından alınabilir forma dönüştürür. Bu şekilde de verimde artışlar meydana gelir. Kök bakterilerinin fosfor çözünürlüğü üzerine olan etkileri daha çok toprak pH'sı üzerine olan etkilerinden kaynaklanmaktadır. Kök bakterilerinin salgılamış oldukları glukonik asit, sitrik asit gibi organik asitler ve  $\text{H}^+$ (proton) pompalanması sonucu toprak pH'sı etkilenerek fosfor bitkiler tarafından alınabilir forma dönüşür (Seshadri ve ark., 2000; Antoun, 2003). En iyi fosfat çözücü kök bakterileri arasında *Pseudomonas*, *Bacillus* ve *Rhizobium* genusları yer almaktadır (Antoun, 2003).

**Biyolojik azot fiksasyonu:** Moleküler azot( $\text{N}_2$ ) dünya atmosferinin en önemli bileşenidir. Azot elementi bütün hayat formlarının temel olan nükleik asit ve proteinler gibi kimyasal bileşiklerin temel yapı taşıdır. Ancak  $\text{N}_2$  büyüme ve üreme için gerekli kimyasalları oluşturmak amacıyla biyolojik sistem tarafından direkt olarak kullanılamaz.  $\text{N}_2$  canlı sistemin içine girmeden önce hidrojen ile kombine olmalıdır. Azot tesbiti olarak adlandırılan bu  $\text{N}_2$ 'nin indirgeme işlemi kimyasal veya biyolojik olarak yapılmaktadır.

Simbiyotik azot tesbitinde belli mikroorganizmalar ile bitki kökleri arasında simbiyotik bir ilişki söz konusudur. Bunun en karakteristik örneği baklagiller ile bunların köklerinde nodül oluşturan *Rhizobium*'lar arasındaki ilişkidir. Bu simbiyotik ilişki genel olarak dünyadaki biyolojik azot tesbitinin %20'sini oluşturur. Bu yolla azot bağlama oranı yıllık toplam 75-300kg N/ha arasında olmaktadır.

Simbiyotik olmayan biyolojik azot bağlama yeteneğine sahip toprakta serbest yaşayan birçok mikroorganizma vardır. Bunlar arasında *Azotobacter*, *Beijerinckia*, *Clostridium*, *Anabaecna* ve *Nastoc*'u sayabiliriz. Simbiyotik olmayan azot bağlamada neme, oksijene ve organik bir besin kaynağına ihtiyaç vardır. Topraktaki simbiyotik olmayan azot bağlama maksimum yaklaşık 15 kg N/ha/yıl olmaktadır (Hubbel ve Kidde, 2003).

*Rhizobium* ve *Bradyrhizobium* strainleri (*Sinorhizobium meliloti*, *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli*, *R. leguminosarum* bv. *trifolii*, *R. leguminosarum* bv. *viciae*, *Bradyrhizobium* sp., *B. japonicum*), *Rhizoctonia solani* AG4, *Fusarium solani*, *F. oxysporum* ve 2 *Fusarium* sp.'ye karşı denenmiştir. Hem *in vitro*'da hemde *in vivo*'da yapılan denemeler sonucunda *Sinorhizobium melilotii* bu 5 adet fungusa karşı antibiyosis aktivitesi göstermiştir. Azot bağlayan bu bakteri aynı zamanda bitki gelişiminde % 44 oranında artış meydana getirmiştir (Gurfinkel ve Peticari, 2000).

*Phyllobacterium* strain 29-15'in varlığında kolza bitkisinin azot alma oranı % 80 artış göstermiştir (Larcher ve ark., 2000).

Soya Mısır rotasyon sisteminde çeşitli *Bradyrhizobium* strainleri denenmiştir. *Bradyrhizobium* USDA136 ve 532C strainleri mısır köklerinde kuru madde oranlarını % 8,45 ile % 6,71 oranında artırmıştır. Bu strainlerin mısır köklerinde bulunan patojenlere olan etkileri de araştırılmış ve 11 adet strainin *Sclerotinia sclerotium*'un gelişmesini engellediği tespit edilmiştir (Prevost ve ark., 2000).

### **Bitki hormonları üretimi**

Kök bakterilerinin bitki gelişimini uyarımadaki direkt etkilerinden biri de bitki hormonlarıyla olanıdır. Bitki hormonları arasında IAA ve etilen bu açıdan ön plana çıkmaktadır.

**Indol asetik asit:** Indol- 3- asetik asit (IAA) fermantasyon ortamında 1885 yılında Salkowski tarafından bulunmuştur (Anonymous, 2003a). Günümüze kadar da IAA üzerinde bir çok araştırma yapılmıştır. Bu araştırmalardan elde edilen sonuçlara göre IAA bitkilerde hücre uzamasının teşvik edilmesi, kambiyum hücrelerinin bölünmesi, floem ve ksilemin farklılaşması, bitkinin apikal gelişmesi, yaprak yaşlanmasını geciktirme, bitkilerde meyve tutumu ve gelişmesi, meyve olgunlaşmasının geciktirilmesi, çiçek gelişiminin artırılması, yüksek konsantrasyonlarda etilen üretiminin teşviki gibi fizyolojik olaylarda rol oynamaktadır (Anonymous, 2003a).



IAA bitkilerin sürgün ve kök uçlarını etkiler. Sürgünde konsantrasyonuna bağlı olmaksızın sürgün gelişmesini artırır. Bu bölgede yüksek konsantrasyonlar gelişmeyi daha da artırır. Kökte ise yüksek konsantrasyonlar kök gelişmesini engeller. Düşük konsantrasyonlar ise gelişmeyi teşvik eder.

Rhizosferden izole edilen kök bakterilerinin % 80'ninin bitki gelişmesini düzenleyen IAA ürettikleri tahmin edilmektedir. Bu bakterilerin arasında *Agrobacterium tumefaciens*, *Agrobacterium rhizogenes*, *Erwinia herbicola* ve *Pseudomonas syringae* gibi patojenlerin yanında *Azotobacter*, *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Rhizobium*, *Bacillus* ve *Enterobacter* gibi bitki gelişimini uyarıcı bakterilerin bulunduğu genler yer almaktadır (Patten ve Glick, 2000).

Yapılan bir çalışmada IAA üreten *Pseudomonas putida* GR 12-2 ve *Enterobacter cloacae* CAL3 ile kanola ve domates bitkilerinin inokulasyonu sonucu fide köklerinin gelişimi önemli ölçüde artmıştır (Patten ve Glick, 2000).

**Etilen:** Etilen eski Mısır'da incirlerin olgunlaşması amacıyla gaz olarak, eski Çin'de ise seftalilerin olgunlaşması amacıyla kapalı odada tütsü şeklinde yakılarak kullanılmıştır. Etilen bütün yüksek bitkiler tarafından üretilmektedir. Etilen tohum çimlenmesi, dokuların farklılaşması, kök ve sürgün oluşması, kök uzaması, yan tomurcukların gelişmesi, ilk çiçeklenme, antosiyan sentezi, çiçek açması ve yaşlanması, meyve olgunlaşması, meyvelerde aroma oluşumundan sorumlu uçucu organik bileşiklerin üretimi, depo edilen ürünlerin hidrolizi, yaprak ve meyve dökümü, biyotik ve abiyotik stres koşullarına karşı bitkilerin yanıtı gibi fizyolojik olaylarda etkilidir (Anonymous, 2003b). Bazı olaylarda etilenin varlığı konsantrasyona bağlı olarak, uyarıcı iken bazı olaylarda engelleyicidir (Glick, 2000; Petruzzelli ve ark., 2000). Bitkiler tarafından etilen sentezi aşamasında ACC (1-amino-cyclopropone-1-carboxylic acid) önemli rol oynar. ACC bitkilerde etilen varlığının direkt belirleyicisidir (Wang ve ark., 2000).

Etilen birçok bitkinin tohumlarının çimlenmesinde gereklidir. Tohum çimlenmesinde ve fidelerin gelişmesi sırasında etilenin üretim oranı artmaktadır. Etilenin düşük seviyelerinde kök oluşumu ve büyümesi artmakta ve kök uzaması uyarılmaktadır. Hızla büyüyen kökler tarafından üretilen yüksek seviyelerdeki etilen ise kök uzamasını engellemektedir (Penrose ve Glick, 2000; Pal ve ark., 2000). Ayrıca bitki köklerine mikroorganizmaların saldırması sonucu bitkide etilen sentezi artar. Bu etilen sentezinin artışı kök gelişmesini önlemektedir.

ACC deaminase enzimi etilen sentezinde önemli aşamalardan biri olan ACC oluşumunu engeller. Birçok bitki gelişimini uyarıcı kök bakterileri ACC deaminase aktivitesi göstermektedir. Bitki gelişimini uyarıcı kök bakterileri tarafından üretilen

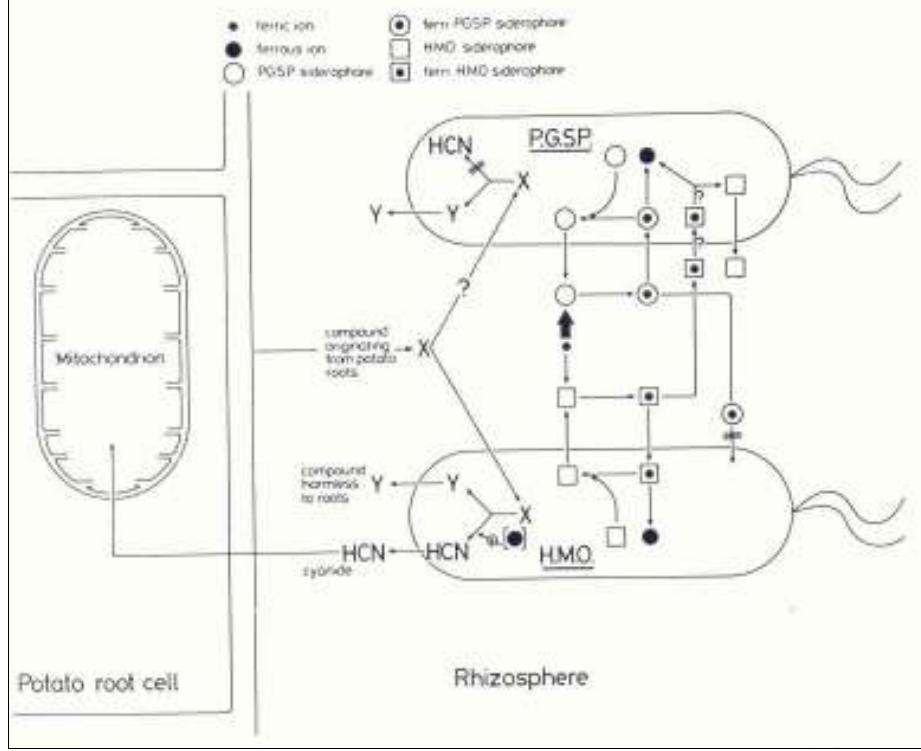
ACC deaminase yardımıyla etilen seviyesinin düşürülmesiyle bitkilerin kök uzunluğu artmaktadır.

Yapılan bir çalışmada bitki gelişimini uyarıcı kök bakterilerinden olan ve ACC deaminase aktivitesi gösteren *Enterobacter cloacae* CAL3 ve *Pseudomonas putida* pRKACC ile kanola tohumlarına uygulama yapılmıştır. Uygulamadan sonra 4-5 günlük kanola fidelerinin kök uzunlukları ölçüldüğünde bu bakterilerin uygulandığı fidelerdeki kök uzunluğu kontrole göre sırasıyla % 28,4 ve % 73,8 oranında daha uzun olduğu tespit edilmiştir. Uygulama yapılan 4-5 günlük kanola fidelerindeki ACC içeriği ölçüldüğünde ise ACC içeriğinin kontrole göre bitki gelişimini uyarıcı kök bakterilerinde sırasıyla % 31,9 ve % 19,2 oranında daha az olduğu tespit edilmiştir (Penrose ve Glick, 2000).

### **Zararlı Mikroorganizmaların engellenmesi**

Bitkilerin kök bölgesinde ne antagonist ne de patojen olan bazı mikroorganizmalar bulunmaktadır. Bu mikroorganizmalar patojen olmamalarına karşın kök gelişimini belirli ölçüde engelleyebilmektedir. Ama hiçbir zaman bitki köklerine patojenler gibi saldırıp köklerde zarar meydana getirmezler. Bu mikroorganizmalar doğal olarak kök bölgesinde bulunurlar. Herhangi bir hastalık belirtisi olmayan sağlıklı bitkilerin köklerinde de bu mikroorganizmaları saptamak mümkündür. Bu mikroorganizmalar çeşitli yollar ile bitki köklerinin gelişimini belirli oranda engellerler. Bitki gelişimini uyarıcı kök bakterileri bu zararlı mikroorganizmaların olumsuz etkilerini ortadan kaldırarak bitki köklerinin daha iyi gelişmesini sağlarlar. Bitki gelişimini uyarıcı kök bakterileri, bu zararlı mikroorganizmaların olumsuz etkilerini şu yollarla önlemektedirler.

**HCN:** Zararlı mikroorganizmalar kök gelişimi için zararlı olan HCN üretirler. HCN üretimi ortamdaki demir (III)'in tutunabilirliğine bağlıdır. Bu bakteriler HCN üretmek için demire ihtiyaç duyarlar. Bitki gelişimini uyarıcı kök bakterilerinden siderofor üretenler bu zararlı bakterilerin HCN üretmesine engel olurlar. Bitki gelişimini uyarıcı kök bakterilerinin sideroforları diğer zararlı bakterilerin sideroforlarına göre demir (III) ile daha yüksek uyuma sahiptir. Ortamda sınırlı miktarda bulunan demiri bitki gelişimini uyarıcı kök bakterileri kullandığı için zararlı bakterilerin kullanması için ortamda demir kalmaz ve bu bakteriler HCN üretmez (Şekil 3).



Şekil 3. Zararlı mikroorganizmaların HCN üretiminin PGPR'lar ile önlenmesi (a) kısa dönem patates yetiştirilen topraklarda zararlı mikroorganizmaların (HMO) ürettiği cyanide ile patates köklerinin fonksiyonlarının engellenmesi (b) bu engellenmenin cyanide üretimini engelleyen demir için sideroforlar ile yarışan bitki gelişimini teşvik eden pesudomonaslar (PGSP) tarafından azaltılması [●]: demir iyonları konsantrasyonu (Bakker ve Schippers., 1987).

Figure 3. Hypothetical mechanisms for (a) inhibition of potato root functioning by cyanide-producing harmful micro-organisms (HMO) in short potato-rotation soil, and (b) for mitigation of this inhibition by plant growth-stimulating pseudomonads (PGSP) which operate through siderophore-mediated competition for iron, inhibiting cyanide production [●]: concentration of ferrous ion (Bakker and Schippers., 1987).

**Antibiyotikler-:** Bitki gelişimini uyarıcı kök bakterileri tarafından salgılanan çeşitli antibiyotikler ile bu zararlı mikroorganizmaların gelişmesi engellenir. Bu zararlı mikroorganizmaların engellenmesiyle de bitki kökleri daha iyi gelişir.

*Bacillus* sp.ler iturin A, bacilyisin, fengymycin, subsporin benzeri antibiyotik üretirler. *B. subtilis* RB 14 iturin A ve surfactin antibiyotiğini üretir. Bu antibiyotikler domateste çökertene neden olan *Rhizoctonia solani*'yi etkili bir şekilde engellemektedir (Asaka ve Shoda, 1996).

**Enzimler:** Bitki gelişimini uyarıcı kök bakterileri Chitinase, Beta-1,3 glukanase, protease, lipase gibi enzimler sentez ederler. Bu enzimler bitkilerde uyarılmış dayanıklılığa da neden olabilmektedirler.

*Pantoea agglomerans* IC12070 çeşitli fungal patojenlere karşı antagonist etki göstermektedir. Bu strainin chitinolytic enzimi ve pyrrolnitrin antibiyotiğini ürettiği bilinmektedir (Meziane ve ark., 2003).

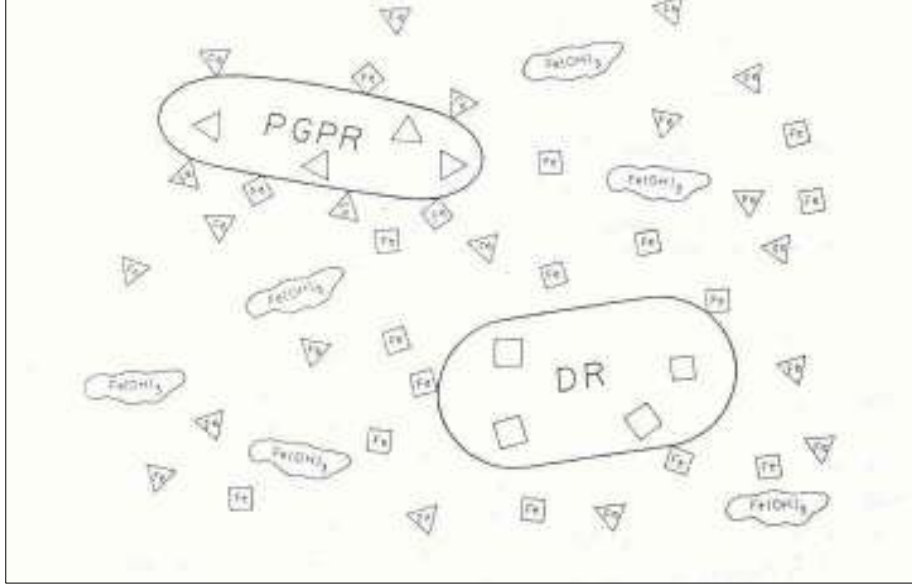
Muz bitkisinin rizosferinden izole edilen *Trichoderma harzianum* ve *Bacillus subtilis* muz seralarında toprağa uygulandıktan 6 gün sonra muz bitkisinde chitinase and  $\beta$ -1, 3- glukanase, peroxidase aktivitelerinde maksimum artış görülmüştür (Thangavelu ve ark., 2003).

*T. harzianum* ile inokule edilmiş hıyar bitkilerinin hem yapraklarında hem de köklerinde chitinase aktivitesinde artış olmuştur (Yedidia ve ark., 1999).

**Besin yarışması:** Bitki gelişimini uyarıcı kök bakterileri ile zararlı mikroorganizmalar arasında her zaman besin açısından bir yarışma mevcuttur. Besin yarışması demir karbon ve azot kaynakları açısından olabilmektedir. Kök bölgesinde zararlı mikroorganizmalar ile bitki gelişimini uyarıcı kök bakterileri arasında demir açısından yarışma önemlidir. Bitki gelişimini uyarıcı kök bakterileri hem kendi salgıladığı sideroforları hem de zararlı mikroorganizmalar tarafından salgılanan sideroforları kullanabilirken zararlı mikroorganizmalar yalnızca kendi salgıladıkları sideroforları kullanabilirler. Böylece bitki gelişimini uyarıcı kök bakterileri kendilerinden daha düşük affiniteli sideroforlar üreten zararlı mikroorganizmalarla  $Fe^{+3}$  için yarışa girerek ürün azalışını engelleyebilmektedirler (Şekil 4).

Özetleyecek olursak PGPR gruplarından olan mikroorganizmalar bir yandan bitkilerin daha iyi besin almasını sağlayarak, bir yandan hormonal aktiviteyi devreye sokarak bir yandan da köklerde doğal olarak bulunan zararlı mikroflorayı engelleyerek daha iyi gelişme ve daha yüksek verim sağlarlar. PGPR bakterilerinin ikinci ana özelliği ise biyolojik savaş elemanları olmalarıdır. Ancak bu yetenekleri de

en az bitki gelişimini uyarma yetenekleri kadar önemli olduğu için bunu ayrı bir makaleye konu yapmak daha doğru olur.



Şekil 4. Bitki gelişimini uyaran kök bakterileri PGPR ve zararlı rizobakteriler (DR) arasında demir için yarışma. PGPR  $\Delta$  tipinde sideroforlar salgılamak DR  $\square$  tipinde siderofor salgılar. PGPR her iki tipteki siderofordan yararlanabilirken, DR yalnızca kendi salgıladığını kullanabilir (Leong ve Expert, 1989).

Figure 4. Competition for iron between plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and deleterious rhizobacteria (DR). PGPR secretes siderophore  $\Delta$  while DR secretes siderophore  $\square$ . PGPR can utilize both siderophores while Dr utilizes only the siderophore it secretes (Leong and Expert, 1989).

## LİTERATÜR LİSTESİ

Anonymous. 2003a. Plant Hormones-info Auxins <http://www.plant.hormones.info/auxins.htm>.

Anonymous. 2003b. Plant Hormones- info Ethylene <http://www.plant.hormones.info/ethylene.htm>.

- Antoun, H. 2003. Field and Green house Trials Performed with Phosphate Solubilizing Bacteria and Fungi <http://www.webcd.usal.es/web/psm/abstracts/antoun.htm>.
- Arias, A. 2000. Plant Growth Promoting Microorganisms in Uruguay: Status and Prospects. Fifth International PGPR Workshop, 29 October - 3 November, 2000, Cordoba-Argentina.
- Asaka, O., and M. Shode. 1996. Applied Env. Microbiology 62, 4081-4085.
- Bakker, A. W., and B. Schippers. 1987. Microbial Cyanide Production in the Rhizosphere in Relation to Potato Yield Reduction and Pseudomonas spp-Mediated Plant Growth-Stimulation, Soil Biol. Biochem. 19 (4): 451-457.
- Bashan, L. E., J. P. Hernandez, M. Moreno, V. K. Lebsky, and Y. Basha. 2000. Improved growth and water Bioremediation capacity of the Microalga *Chlorella vulgaris* When Immobilized in Alginate Beads With the Plant Growth Promoting Bacterium *Azospirillum brasilense*., Fifth International PGPR Workshop, 29 October-3 November, 2000, Cordoba-Argentina.
- Chen, Y., R. Mei, S. Lu, L. Liu, and J. W. Kloepper. 1996. The use of Yield Increasing Bacteria (YIB) as Plant Growth Promoting Rhizobacteria in Chinese Agriculture. Management of soil borne diseases, R. S. Utkhede and V. K. Gupta ed. Kalyani publishers, Ludhiana. New delhi.
- El-Meleigi, M. A., and Z. M. Hassan. 2000. Biological Control of Common Root Rot of Spring Wheat by Coating Seeds with *Bacillus* or *Trichoderma* spp in Central Saudi Arabia. Fifth International PGPR Workshop, 29 October - 3 November, 2000, Cordoba-Argentina.
- Glick, B. R. 2000. Protecting Plants From the Effects of Ethylene using ACC deaminase- containing Plant Growth Promoting Bacteria. Fifth International PGPR Workshop, 29 October-3 November, 2000, Cordoba-Argentina.
- Gurfinkel, B. S., and A. Petricari. 2000. Nitrogen Fixing Rhizobacteria and Their Relationship with Soilborne Fungi. Fifth International PGPR Workshop, 29 October - 3 November, 2000, Cordoba-Argentina.
- Hubbell, D. H., and G. Kidder. 2003. Biological Nitrogen Fixation. [http://edis.ifas.ufl.edu/BODY\\_SS180](http://edis.ifas.ufl.edu/BODY_SS180).

- Kleoppe, J. W., and M. N. Schroth. 1978. Plant Growth Promoting Rhizobacteria on Radishes. In Proceedings of the Fourth International Conference on Plant Pathogenic Bacteria, Vol. 2 pp 879-882.
- Kleoppe, J. W. 1993. Plant Growth Promoting Rhizobacteria as Biological Control Agents. Soil Microbial Ecology, F. Blaşne Metting, J. ed. Marcel Dekker, Inc. New York, 255-274.
- Kleoppe, J. W., R. M. Zablotowicz, E. M. Tipping, and R. Lifshitz. 1991. Plant Growth Promoting Mediated by Bacterial Rhizosphere Colonizers. The Rhizosphere and Plant Growth, D. L. Keister and P. B. Cregan eds. Kluwer Academic Publishers, Netherlands. 315-326
- Larcher, M., H. Bertrand, S. Rapior, O. Domergue, S. Mantelin, and J. C. Cleyet-Marel. 2000. Phyllobacterium Strain with Hormonal Capacities Enhances Growth and Nitrate Uptake of Oilseed Rape (*Brassica napus*). Fifth International PGPR Workshop, 29 October - 3 November, 2000, Cordoba-Argentina.
- Lemanceau, P., C. Steinberg, D. J. I. Thomas, V. Edel, J. M. Raaijmakers, and C. Alabouvette. 2000. Natural Soil Suppressiveness to Soilborne Diseases. Fifth International PGPR Workshop, 29 October-3 November, 2000, Cordoba-Argentina.
- Leong, J. 1986. Siderophores: Their Biochemistry and Possible Role in the Biocontrol of Plant Pathogens. Annual Rev. Phytopathol., 24: 187-209.
- Leong, S. A., and D. Expert. 1989 Siderophores in Plant Pathogen Interactions. In: Plant-microbe Interactions. Molecular and Genetic Perspectives. Vol: 3, Eds: T. Kasuge and E. W. Nester, Mc Graw-Hill Company, 511p, 62-83pp.
- Lucas Garcia, J. A., A. Probanza, B. Ramos, N. Ruiz Palomino, and F. J. Gutierrez Manero. 2000. Effects of inoculation with PGPR on seedling Growth of Different tomato and Pepper Varieties in Axenic Conditions. Fifth International PGPR Workshop, 29 October - 3 November, 2000, Cordoba-Argentina.
- Luz, W. C. 2000. Plant Growth Promoting Rhizobacteria in Graminicolous Crops in Brazil. Fifth International PGPR Workshop, 29 October - 3 November, 2000, Cordoba-Argentina.

- Meziane H., L. Chernin, and M. Höfte. 2003. Biological Control of Green Mould on Citrus Fruits and The Induction of Resistance on Bean By *Pantoea agglomerans* strain Ic1270. 6th International PGPR Workshop, 5- 10 October 2003, Calicut, India.
- Pal, K. K., R. Dey, D. M. Bhatt, and S. M. Chauhan. 2000. Palnt Growth Promoting Fluorescent Pseudomonads Enhanced Peanut Growth, Yield and Nutriend Uptake. Fifth International PGPR Workshop, 29 October - 3 November, 2000, Cordoba-Argentina.
- Parmar, N., and K. R. Dadarwal. 2000. Pathogenic Suppressive Abilities of Rhizosphere Bacteria From Healthy Chikpea Plants. Fifth International PGPR Workshop, 29 October - 3 November, 2000, Cordoba-Argentina.
- Patten, C. L., and B. R. Glick. 2000. Isolation and Characterization of Indole Acetic Acid Biosynthesis Genes from Plant Growth Promoting Bacteria. Fifth International PGPR Workshop, 29 October - 3 November, 2000, Cordoba-Argentina.
- Penrose, D. M., and B. R. Glick. 2000. Quantification of 1- amino cyclopropane-1-carboxylic acid(ACC) in Canola Seedlings Treated with Plant Growth Promoting Bacteria. Fifth International PGPR Workshop, 29 October - 3 November, 2000, Cordoba-Argentina.
- Petruzzelli, L., I. Coraggio, and G. L. Metzger. 2000. Ethylene Promotes ethylene Biosynthesis During Pea seed Germination by Positive feedback Regulation of 1- aminocyclo-popane-1-carboxylic acid oxidase. *Planta*, 211: 144-149.
- Prevost, D., S. Saddiki, and H. Antoun. 2000. Growth and Mineral Nutrition of Corn Inoculated with Effective Strains of *Bradyrhizobium japonicum*. Fifth International PGPR Workshop, 29 October - 3 November, 2000, Cordoba-Argentina.
- Romerio, R. S. 2000. Preliminary results on PGPR research at the Universidade federal de viçosa, Brazil. Fifth International PGPR Workshop, 29 October - 3 November, 2000, Cordoba-Argentina.
- Römheld, V., and H. Marschner. 1986. Evidence for a Spesific Uptake System for Iron Phytosiderophores in Roots of Grasses. *Plant Physiol.*, 80: 175-180.



- Thangavelu R., R. Velazhahanl, and S. Sathiamoorthy. 2003. Induction of Defense Mechanisms in Banana by Plant Growth-Promoting Microbes, Plant Activators and Inoculation With *Fusarium oxysporum f. sp. cubense* 6th International PGPR Workshop, 5- 10 October 2003, Calicut, India.
- Seshadri, S., R. Muthukumarasamy, C. Lakshminarasimhan, and S. Lgnacimuthu. 2000. Solubilization of inorganic phosphates by *Azospirillum halopraeferans*. Current science. 79 (5): 565-567.
- Wall, L. G. 2000. Consequences of an Overview on PGPR Work in Argentina: The Field Should be Wider. Fifth International PGPR Workshop, 29 October - 3 November, 2000, Cordoba-Argentina.
- Wang, C., E. Knill, B. R. Glicl, and G. Defago. 2000. An ACC deaminase gene improves the Growth Promoting and Disease- suppressive capacities of *Pseudomonas fluorescens* strain CHAO. Fifth International PGPR Workshop, 29 October - 3 November, 2000, Cordoba-Argentina.
- Yedidia, I., Benhamou, N. and I. Chet. 1999. Induction of defense responses incucumber plants (*Cucumis sativus* L.) by the biocontrol agents *Trichoderma harzianum*. Appl. Environ. Microbiol., 65: 1061-1070.