

Bitki Büyüme Düzenleyici ve Biyolojik Mücadele Etmeni Olarak Bakteriyel Endofitler

Serap Melike SÜLÜ¹ İ.Adem BOZKURT² Soner SOYLU²

¹Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Bitki Sağlığı Bölümü, 07100, Antalya.

²Mustafa Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, 31034, Hatay.

Özet

Bitkiler sürekli olarak geniş bir mikroorganizma yelpazesi ile etkileşim içinde bulunurlar. Bu bitkilerle ilişkili mikroorganizmalar, toprak ve bitkinin toprakaltı organlarında (kök mikroorganizmaları), bitki yüzeyinde (Epifit) ve bitkilerin içsel dokularında (Endofit) kolonize halde bulunabilir. Endofitizm, hastalık belirtisi oluşturmadan bitki dokusu içinde herhangi bir zarar vermeksizin yaşayan mikroorganizmanın bitki ile karşılıklı mutualizime dayalı bir olgudur. Biyolojik kaynak olmalarının yanı sıra endofitler; doğada bitkilerin büyümesinde, gelişimlerinde, streslere, hastalık ve zararlılara toleransında ve adaptasyonunda rol oynayan farklı fonksiyonlara sahiptirler. Bitkiler, endofit olarak çeşitli bakterileri bünyelerinde barındırır. Bu bakteriler, bitkilerde fizyolojik ve biyolojik evrelerde önemli rollere sahiptir. Bazı endofitler tohum kökenli iken; büyük çoğunluğunun bitkilerin kök, kök boğazı, gövde, yaprak vs. gibi farklı bitki dokuları içerisinde kolonize oldukları bilinmektedir. Endofit bakteriler üzerinde yapılan bazı çalışmalar, endofitlerin sahip oldukları farklı etki mekanizmaları ile kültür bitkilerinin sağlıklı büyüme ve gelişmesinde önemli rollerinin olduğu gösterilmiştir. Endofit bakteriler çeşitli biyotik ve abiyotik stres koşullarının varlığında bitkinin dayanıklılığını teşvik eder, azot fiksasyonunda önemli rol alır ve ürettikleri bitki büyüme düzenleyiciler ile bitki büyümesini teşvik ederek bitki fizyolojisinin düzenlenmesinde önemli rol oynarlar. Bu mikroorganizmaların faaliyetleri türlerin varlığı ile konukçu bitkiler arasındaki etkileşimin moleküler temeli ile ilgilidir. Bu derlemede endofit kavramı incelenmiş ve bitkilerde endofitik bakterilerin fonksiyonları hakkında bilgiler sunulmuştur. Ayrıca, bitki büyüme düzenleyici (PGPB) ve biyolojik mücadele etmeni olarak Bitki Koruma alanında kullanımları ile ilgili çalışmalar ve elde edilen sonuçları irdelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Endofit Bakteri, PGPB, Bitki Büyüme Düzenleyici, Antagonist, Biyokontrol

Bacterial Endophytes As Plant Growth Promoting and Biological Control Agents

Abstract

Plants are constantly involved in interactions with a wide range of microorganisms. These plant-associated microorganisms colonize on the rhizosphere (Rhizo-microorganism), the phyllosphere (Epiphytes) and the inside of plant tissues (Endophytes). Endophytism is the phenomenon of mutualistic association of a plant with a microorganism where in the microbe lives within the tissues of the plant without causing any symptoms of disease. In addition to being a biological resource, endophytes possess diverse functions in nature for plant growth, development, stress, pest and disease tolerance and adaptation. Plants are inhabited by diverse types of bacteria known as endophytes. The endophytic bacteria have important roles in physiological and biological stages of plants. Some endophytes are seed borne, but others have mechanisms to colonize the plants tissues such as roots, crown, stems, and leaves. Recent studies revealed that endophytes have different mechanisms which have roles on healthy growth and developments of plant. Endophyte bacteria induce plant resistance against

biotic or abiotic stress, play important roles in nodulating and nitrogen fixation and plant growth promoter with the production of plant growth regulators. Their activities are related to the composition of populations of these organisms and the molecular basis of interaction between these organisms and the host. In this review, it was presented an overview of bacterial species living as endophytes and the functionality of endophytic bacteria in plants. Also, results of recently published studies concerning their use in plant protection as Plant Growth Promoting Bacteria (PGPB) and biological control agent were considered.

Key words: Endophyte Bacteria, PGPB, Plant Growth Promoting, Antagonist, Biocontrol

Giriş

Tarım, insan ve diğer bütün canlıların yaşamını doğrudan veya dolaylı yoldan etkileyen bir faaliyet alanıdır. Bu alanda, her geçen yıl daha fazla tarımsal ürün elde etmek için bitki hastalık ve zararlıları ile mücadelede yoğun bir şekilde kimyasal kullanımı gerçekleştirilmektedir. Bitki hastalıklarına bağlı olarak tarımda verim ve kalite kayıplarını ortadan kaldırmak için etkili mücadele metotlarının uygulanması zorunludur. Pestisit kullanılarak hastalıklara karşı kısa vadede etkili ve başarılı sonuçlar alınabilmesine rağmen, kullanılan pestisitlerin çevre ve insan sağlığına olumsuz etkilerinin yanı sıra yoğun ve sıklıkla kullanılan kimyasallara karşı patojenlerin dayanıklılık kazanması söz konusudur (Sobieczewski ve ark., 1991). Sonuç olarak aşırı kimyasal kullanımı nedeniyle birçok preparat yasaklanmış olup, devamı da gelecektir. Kalıntı sorunu nedeniyle de, ürünlerin pazar değeri düşmekte; meyve ve sebze üreticileri üzerinde de ciddi baskılar oluşmaktadır. Kimyasal bitki koruma ürünlerine bir alternatif olarak, ya da daha gerçekçi bir anlatım ile tarımsal üretimde kimyasal girdiyi azaltmak için en iyi yöntemlerin başında faydalı antagonist mikroorganizmaların kullanılması gelir. Antagonizm bir mikroorganizmanın bir başka mikroorganizmanın gelişimini üretmiş oldukları kimyasallar yoluyla engellenmesi olayıdır. Bu tür mikroorganizmalara antagonist mikroorganizma denir.

Biyolojik mücadele genel bir ifade ile bitkilere zarar veren mikroorganizmaların faydalı olarak adlandırılan mikroorganizmalar tarafından doğrudan engellenmesi veya zarar seviyelerinin minimuma indirilmesi olarak

ifade edilmekte olup, son yıllarda üzerinde yoğun biçimde çalışılan çevre dostu çalışma alanıdır. Ayrıca, son yıllarda tarımda hastalık, zararlı ve yabancı ot mücadelelerinde doğal bitki koruma etmenlerinin tespiti ve uygulamaya aktarılması hususu ön plana çıkmıştır. Hem bitki gelişimini düzenlemek hem de stres koşullarının olumsuz etkilerini azaltmak ve bitki hastalıklarını kontrol etmek gibi özelliklere sahip olmaları nedeniyle biyolojik mücadelede faydalı mikroorganizmaların önemi her geçen gün hızla artmaktadır.

Bakteriyel Endofit Nedir?

Bitkiler sürekli olarak geniş bir bakteri yelpazesi ile etkileşim içinde bulunurlar. Bu bitkilerle ilişkili bakteriler, toprak ve toprakaltı organlarda (Kök bakterileri), bitki dokusu yüzeyi olan phyllosphere'de **Epifit** olarak, bitkilerin içsel dokularında ise **Endofit** olarak kolonize halde bulunabilir. Yüzeysel dezenfeksiyonu yapılmış bitki dokularından veya bitkilerin iç kısımlarından izole edilebilen, ayrıca konukçuya zarar vermemek suretiyle yaşamının en azından bir bölümünü bitki bünyesinde geçiren bakteriler endofitik bakteri olarak tanımlanır (Petrini ve ark., 1989; Hallmann ve ark., 1997; Azevedo ve ark., 2000; Ryan ve ark., 2008). Endofit bakteri kavramı ilk kez Kloepper ve ark. (1992) tarafından tanımlanmış olup, bitkinin iç dokularında bulunan bakterilere "endofit bakteri" adını vermişlerdir. Endofitler konukçusu olduğu bitkiler tarafından biyotik ve abiyotik çevresel etkenlerden ve diğer mikrobiyallerle besin rekabetinden korunurlar. Bu mikroorganizmalar, kök, gövde, yaprak, tohum, meyve ve ksilem sapları gibi bitkilerin hemen hemen tüm

aksamlarında bulunabilirler (Rosenblueth ve Martinez Romero, 2006; Mercado-Blanco J. ve Bakker, 2007; Malfanova ve ark., 2013; Weyens ve ark., 2009).

Endofit bakteriler, bitkilerde yerli mikrobiyal topluluğun büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. İç kolonizasyonları genellikle bitki patojeni bakterilerde de mevcut olan enzimler tarafından desteklenmektedir. Ayrıca, bitkinin seçici ortamına adapte olmuşlardır ve patojenlere karşı bitki savunmasını ve gelişimini etkileyerek bitki için yararlı olabilmektedirler. Bu bakteriler aynı zamanda faydalı bakteriler olarak adlandırılır ve patojenik bakterilerin aksine, bitki üzerinde gözle görülebilen bir belirti oluşturmazlar.

Endofitik bakterilerin konukçuları ile ilişkileri çok çeşitli ve karmaşıktır. Örneğin, *Rhizobium* bakterileri, konukçu bitki ile simbiyotik ilişki içinde olan ve kök nodüllerine kolonize olan bakteriler olarak bilinir. Bitki ve endofitik bakteri arasındaki ilişkide, bitkiler bakterilere besin kaynağı olurken, bakteri de bitkiye azot sağlamaktadır (Schultze ve Kondorosi, 2002). Gerek kök bakterileri gerekse endofit bakterilerin gelişimi biyotik ve abiyotik etkenler tarafından etkilense de, endofit bakteriler bitki bünyesi içinde bulunmasından dolayı bitki tarafından köklerdeki bakterilere kıyasla biyotik ve abiyotik streslere karşı daha fazla korunurlar

Bitki Büyüme ve Gelişmesi Üzerine Bakteriyel Endofitlerin Etkisi

Endofitik bakteri, konukçu bitkinin iç dokularına kolonize olmakta ve bitkiye farklı açılardan destek olmaktadır. Bakteri, ya bitkinin vasküler sisteminde serbest yaşar ve azot fiksasyonu meydana getirir ya da bitki köklerinin üzerinde veya köklere yakın bölgelerde bulunarak bitki büyüme düzenleyici rizobakteriler (PGPR)'in kullandığı mekanizmaya çok benzer bir mekanizma kullanarak bitki büyüme ve gelişmesine destek olur. Birçok endofitik bakterinin bitki büyümesini düzenleme aktivitesine sahip olduğu bilinmektedir (Zachow ve ark., 2010; Gasser ve ark., 2011; Malfanova ve ark.,

2011). Bu bitki büyüme düzenleyici bakterilerin (PGPB), besin açısından olumsuz koşullar altında bitkinin yaşamı için temel unsur olduğu bildirilmiştir.

Endofit bakteriler, iki şekilde bitki büyüme ve gelişmesini düzenlerler: Doğrudan etkide, var olan besinlerin çevreden emilimi kolaylaştırır; dolaylı etkide de konukçunun doğal direnci artarak patojenlerin zararlı etkileri önlenir. Doğrudan etki mekanizmalarından olan azot fiksasyonu, fosforun biyolojik olarak alınabilir hale gelmesi, siderofor yardımıyla bitkilerce demirin alınması ve bitkisel hormonların üretilmesi gibi mekanizmalarla, bitki gelişimi endofit bakteriler tarafından düzenlenebilmektedir (Tsavkelova ve ark., 2007; Jha ve ark., 2012).

Araştırma sonuçları, endofit bakterilerin ciddi düzeyde bitki büyümesini düzenleme yeteneğinde olduklarını göstermektedir. Bu faydalı bakteriler, azot ve fosfat başta olmak üzere besin ve minerallerin döngüsünü hızlandırarak bitki büyümesini artırmaktadır (Compant ve ark., 2005). Bunun yanında endofitik bakteriler, gerekli vitaminler konusunda bitkiler için iyi bir kaynak olabilmektedir (Pirttila ve ark., 2004). Ayrıca, osmotik basıncın düzenlenmesi, kök morfolojisinin yenilenmesi, minerallerin alımının iyileştirilmesi gibi faaliyetler, endofit bakterilerin bitki büyümesi ve gelişimi üzerine diğer faydalı etkileri olarak sayılabilmektedir (Compant ve ark., 2005).

Endofitik bakteriler, bitkiler için azotu ve fosforu kullanılabilir hale getirebildikleri gibi (Compant ve ark., 2005), oksin hormonları üretebilirler (Lee ve ark., 2004) ve siderofor sentezleyebilirler (Costa ve Loper, 1994).

Hücre bölünmesi, uzama ve farklılaşma üzerine etkisi bulunan oksinlerin üretimi endofit bakteriler tarafından gerçekleştirilmektedir (Shokri ve Emtiazi, 2010). Indol Asetik Asit (IAA), hücreleri esnetmek suretiyle köklerin ve sürgünlerin büyümesini sağlayan en önemli oksin hormonudur (Tsavkelova ve ark., 2007). Bu hormonun üretimi, genellikle *Actinomyces*, *Agrobacterium*, *Arthrobacter*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Burkholderia*,

Caulobacter, *Chromobacterium*, *Enterobacter*, *Gluconacetobacter*, *Klebsiella*, *Methylobacterium*, *Pantoea*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Salmonella* ve *Staphylococcus* bakteri cinsleri tarafından üretilmektedir (Hayat ve ark., 2010; Bhattacharyya ve ark., 2012; Oliveira ve ark., 2013; Zheng ve ark., 2013; Rangiaroen ve ark., 2015).

Harish ve ark., (2008), soğan ve muz köklerinden çeşitli endofit bakteriler izole etmişler ve bu bakterilerin bitki büyümesi üzerine etkinliğini değerlendirmişlerdir. İzole ettikleri endofit bakterilerden üçü, pirinç fidelerinin çıkışını hızlandırmış ve vigor indeksini artırmıştır. Bir başka çalışmada ise, ginseng bitkilerinden izole edilen on iki endofit bakteri triptofan takviye edilmiş Nutrient Broth ortamında önemli miktarda IAA üretmiştir (Vendan ve ark., 2010).

Fosfor, azottan sonra bitkiler için ikinci derece önemli bir bitki besin elementidir. Fosfor bileşikleri, tarım topraklarında bolca bulunmasına rağmen büyük bir bölümü çözünemeyen fosfat halindedir (Miller ve ark., 2010). Bu nedenle, topraktaki fosforun bitkiler tarafından kolayca alınamaması, önemli bir büyüme sınırlayıcı faktör olarak kabul edilir (Daniels ve ark., 2009). Faydalı bakteriler de, organik asit üretimi veya diğer mekanizmalarla inorganik ve organik fosfatın çözünürlüğünü artırmakta ve bitkiler için alınabilir forma dönüştürmektedir.

Bakteriler, metal bulunan ortamlarda yaygın olarak bulunurlar ve ağır metallere tutunarak birikirler. Gram pozitif bakterilerin hücre duvarları metal bağlama özelliğine sahiptir. Bazı bakteriler metal bağlayan polisakarit üretirler. Buna ilaveten manganez, nikel ve demir gibi metalleri özel reseptörler yoluyla absorbe ederler. Demir bulunan ortamda, bakteriler demiri bağlayan ve taşıyan siderofor üretirler. Sideroforlar, mineral maddelerden olan demirin bakterilerin alamayacağı formdan, bakterilerin alabileceği forma dönüştürülmesinde önemli bir rol oynamaktadırlar. Siderofor üreten bazı önemli bakteriler *Pseudomonas* spp., *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Vibrio cholerae*, *Vibrio anguillarum*,

Aerobacter aerogenes ve *Mycobacterium tuberculosis*'dir (Crosa ve Walsh, 2002).

Bakteriler tarafından üretilen sideroforların bakterilerce ihtiyaç duyulan farklı formdaki demiri bünyelerine almalarında yardımcı olmasının yanısıra, topraktaki demir miktarını tüketmek yoluyla bir çok bitki patojeni fungusların gelişmesini engelledikleri belirlenmiştir (Buyer ve Sikora., 1990). Antoun ve ark. (1998), izole ettikleri *Rhizobium* spp.'nin 196 izolatından 181'inin siderofor ürettiğini, Arora ve ark. (2001) ise, siderofor üreten *Sinorhizobium meliloti*'nin in vitro koşullarda *Macrophonia phaseolina*'yı inhibe ettiğini ve yer fıstığının çimlenmesini artırdığını bildirmişlerdir.

Patojen ve Endofitik Bakteri Arasındaki Etkileşim

Endofit bakterilerin bitki patojeni mikroorganizmaların zararlı etkilerini önlediği ya da azalttığı beklenmektedir (Ulrich ve ark., 2008; Gray ve Smith, 2005). Bitkilerde hastalık ve zararlılardan dolayı meydana gelen sorunlar, bitkilerin endofit ile inokulasyonu sayesinde azaltılmakta, hatta önlenilmektedir (Sturz ve ark., 2000; Berg ve Hallman, 2006).

Endofitik bakteriyel biyokontrol elemanları; (i) genel olarak iç dokulara kolonize olmuş; besin rekabeti ve antibiyozis veya her ikisi ile patojenlerin etkisini bastırabilen ırklar, (ii) genel bitki savunma/direnç mekanizmasını teşvik edebildikleri kök korteksine kolonize olan ırklar olarak iki grupta incelenebilir.

Backman ve ark. (1997)'ye göre, biyolojik kontrol elemanı olarak endofitlerin etkinliği birçok faktöre bağlıdır. Bu faktörler: konukçu özgünlüğü, popülasyon dinamikleri, konukçu dokuları içerisinde hareket etme yeteneği ve sistemik direnci teşvik etme yeteneğidir. Bazı endofit bakteriler, uyarılmış sistemik dayanıklılık (ISR) olarak bilinen bir olguyu da tetikleyici güçte olup, bu aynı zamanda fenotipik olarak sistemik kazanılmış dayanıklılığa (SAR) da benzerdir. Bitkiler, bir patojen tarafından enfekte olduğunda buna yanıt olarak savunma mekanizmalarını

başarıyla aktif ettikleri zaman sistemik kazanılmış dayanıklılık (SAR) ortaya çıkmaktadır (van Loon ve ark., 1998).

Endofit Antagonist Bakterilerin Biyolojik Mücadele Etmeni Olarak Kullanımı

Endofit bakterilerin biyokontrol aktivitesi, geçmişten günümüze birçok patojene karşı incelenmiş ve rapor edilmiştir. Yapılan bir çalışmada, limon köklerinin ksileminden *Achromobacter sp.*, *Acinetobacter baumannii*, *A. lwoffii*, *Alcaligenes-Moraxella sp.*, *Alcaligenes sp.*, *Arthrobacter sp.*, *Bacillus sp.*, *Burkholderia cepacia*, *Citrobacter freundii*, *Corynebacterium sp.*, *Curtobacterium flaccumfaciens*, *Enterobacter cloacae*, *E. aerogenes*, *Methylobacterium extorquens*, *Pantoea agglomerans*, *Pseudomonas aeruginosa* ve *Pseudomonas sp.* gibi çeşitli endofit antagonist bakteriler izole edilmiştir ve bazı kök patojenlerine karşı biyolojik mücadele etmeni olarak etkinliği ortaya konulmuştur (Araújo ve ark., 2001). Ülkemizde endofit bakterilerden ziyade epifitik antagonist ve PGPR özellikli bakterilerin daha çok biyolojik gübre ve bitki patojeni fungal etmenlere karşı etkinlikleri üzerine çalışmalar yapılmıştır (Soylu, 2011; Gül ve ark., 2013; Dönmez ve ark., 2015; Gökçe ve Kotan, 2016). Benzer konuda yapılan çalışmalarda PGPR özellik gösteren izolatların sebze fideliklerinde ve bağlarda bitkilerin besin alımlarında yardımcı olarak bitki gelişimini teşvik ettiği (Karagöz ve ark., 2012; Ekinci ve ark., 2014; Turan ve ark., 2014; Ekinci ve ark., 2015; Güneş ve ark., 2015; Şahin ve ark., 2015) bildirilmiştir.

Jetiyanon (1994), sera koşullarında endofit bakterilerin kolonize olduğu lahana bitkisinde siyah çürüklük hastalığına karşı savunma mekanizması geliştiğini, endofit bakteriler ile muamele edilmeyen bitkilerde ise *Xanthomonas campestris pv. campestris* ile inokulasyondan yaklaşık 33 gün sonra hastalığın ekonomik eşiğe ulaştığını ve sistemik hastalık belirtilerinin ortaya çıktığını bildirmiştir.

İlginçtir ki, örneğin patates yumrularından izole edilen endofit bakterilerin patojen

çoğalmasını engelleme yeteneği, patates bitkisine kolonize olduğunda azalış gösterir (Sturz ve ark., 1999). Yapılan bir çalışmada, soğan bitkisinden izole edilen endofit *Pseudomonas* ırkı PsJN, asma bitkisine kolonize olduğunda *Botrytis cinerea*'yı önlemiştir ve asma bitkisinin büyümesini desteklemiştir (Barka ve ark., 2002).

Bir endofit bakterinin birden fazla konukçu bitkide kolonize olması ve farklı patojenlere olan etkinliği yapılan çalışmalar ile gözlemlenmiştir. Örneğin, *Pseudomonas putida* ve *Serratia marcescens* domates ve hıyarda Hıyar Mozaik Virüsü'nün ve hıyarda *Fusarium solgunluğu* hastalığı etmeninin çoğalmasını azaltmıştır (Liu ve ark., 1995).

Amareyan ve ark. (2012) tarafından yapılan bir çalışmada, domates ve biberden izole edilen endofit bakterilerin siderofor üretimi, fosfat indirgeme aktivitesi, ve IAA enzimini üretebilme yetenekleri araştırılmış, etkili bulunan endofit bakterilerin bakteriyel solgunluk hastalığı etmeni *Ralstonia solanacearum*'a karşı antagonistik aktivitesi incelenmiştir. Çalışma sonucunda, izole edilen endofit bakterilerin *Ralstonia solanacearum*'un gelişimini engellediği; tüm izolatların siderofor ve IAA üretebildiği ve fosfatı indirgediği belirlenmiştir.

Tartışma ve Kani

Doğal koşullar altında tüm bitkilerin, endofitik mikroorganizmalar ile yakın bir etkileşim içerisinde olduğu bilinmektedir. Endofit-konukçu etkileşimlerinde, konukçu bitki endofit mikroorganizmalar için besin temin etmekte, biyotik ve abiyotik streslere karşı korumakta, buna karşılık endofitlerde bitkilerin büyümesini ve gelişmesini desteklediği, patojenlere karşı bitkide inaktif olan savunma mekanizmalarını teşvik ettiği yapılan birçok çalışma ile ortaya konmuştur. Böylece endofit ile bitki arasında mutualist bir ilişki olduğu söylenebilir. Ayrıca konukçu bitki, endofitin yaşam döngüsünün tamamlanması için önemli bileşikleri sağlayabilmektedir.

Endofitler, ürün verimini artıran, enfeksiyonu ve patojeni engelleyen, hatta ortadan kaldıran ve faydalı etki

mekanizmaları olan mikroorganizmalar olarak gelecek vaad etmektedir.

Biyolojik mücadele araştırmacılarının hedefi, faydalı bakteriler ile bitkilerin etkileşimini ortaya koymak ve bu ortaklığı yönetmek olmalıdır. Bu hedef ile endofit mikroorganizmaların ekolojisi ve bitki-endofit moleküler etkileşimi daha iyi ortaya konmuş olacaktır.

Endofitik bakterilerin fonksiyonlarını çözmeye yönelik yapılan çalışmalar devam ettikçe, bitkiler ile yakın ilişki içerisinde bulunan bu bakterileri daha iyi anlamak mümkün olacaktır. Buna ek olarak, faydalı bu bakterilerin kök bakterileri ile veya fungal endofitlerin (örneğin, mikoriza) bakteriyel endofitler ile kombine bir şekilde bitkilere uygulanması çalışmaları da hızlanacaktır.

Tarımsal üretimde fitopatojen bakterilerin çok büyük oranda verim kaybına yol açtığı bilinmektedir. Halen, kimyasal preparatlar hastalık kontrolünde en önemli faktördür ancak, hem insan ve çevre sağlığına zararlı etkileri hem de fitopatojenlerin kimyasallara oldukça hızlı direnç göstermesi nedeniyle doğal düşmanlar ile gerçekleştirilecek bir biyolojik mücadele, günümüzde üzerinde durulması gereken en önemli hususlardan biridir. Endofit antagonist bakteriler de bu açıdan etkili olabilecek bir uygulama alanıdır.

Ülkemizde yapılan çalışmaların sonuçları, çeşitli hastalık etmenlerine karşı çok sayıda bakterinin biyolojik mücadelede yüksek bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Çeşitli pestisitlere karşı dayanıklılık probleminin ciddi boyutlara ulaştığı günümüzde alternatif mücadele metotlarından olan biyolojik mücadeleye gereken önemin verilmesi en önemli husustur.

Dünyada bakteri içerikli mikrobiyal gübre ve biyopestisitlerin çok sayıda ticari preparatı yapılarak tarımda başarılı bir şekilde kullanıldığı bilinmektedir. Fakat ülkemizde, yapılan çalışmalar ile bazı fitopatojenlere karşı etkili olduğu tespit edilmiş endofit bakteriler ile bitki büyüme düzenleyici kökbakterilerin (PGPR) biyolojik preparat olarak geliştirilmesi, ruhsatlandırılması ve hastalıklarla mücadelede kullanılması gerek

kuruluşların fiziksel altyapılarından gerekse bürokratik işlemlerden kaynaklanan sebeplerden dolayı henüz yaygınlaştırılmamıştır. Gelecek yıllarda, üreticinin ve tüketicinin bilinçlenmesi ile entegre mücadele içinde biyolojik mücadelenin yeri giderek artacaktır. Dolayısıyla, yakın gelecekte endofit bakterilerin kullanıldığı biyolojik mücadele çalışmalarının dünyada olduğu gibi ülkemizde de hız kazanacağı beklenmektedir.

Kaynaklar

- Amaresan, N., Jayakumar, V., Kumar, K., Thajuddin, N. 2012. Endophytic bacteria from tomato and chilli, their diversity and antagonistic potential against *Ralstonia solanacearum*. *Phytopath. Plant Protect.*, 45: 344–355.
- Antoun, H., Beauchamp, C.J., Goussard, N., Chabot, R., Lalande, R. 1998. Potential of *Rhizobium* and *Bradyrhizobium* species as plant growth promoting rhizobacteria on non-legumes: effect on radishes (*Raphanus sativus* L.). *Plant and Soil.*, 204: 57-67.
- Araujo, W. L., Maccheroni, W., Jr., Aguilar-Vildoso, C. I., Barroso, P. A. V., Saridakis, H. O., and Azevedo, J. L. 2001. Variability and interactions between endophytic bacteria and fungi isolated from leaf tissues of citrus rootstocks. *J. Microbiol.*, 47: 229-236.
- Arora, N.K., Kang, S.C., Maheswari, D.K. 2001. Isolation of siderophore producing strains of *Rhizobium meliloti* and their biocontrol potential against *Macrophomina phaseolina* that causes charcoal rot of groundnut. *Curr. Sci.*, 81: 673-677.
- Azevedo, J.L., Maccheroni, Jr. W., Pereira, J.O., Araujo, W.L. 2000. Endophytic microorganisms: a review on insect control and recent advances on tropical plants. *Electronic Journal of Biotechnology* <http://www.ejbiotechnology.info/content/vol3/issuel/full/4/index.html>
- Backman, P.A., Wilson, M., Murphy, J.F., 1997. Bacteria for biological control of plant diseases. In: Recheigl N.A, Recheigl J.E, (eds) *Environmentally Safe Approaches*

- to Plant Disease Control (pp. 95–109) Lewis Publisher, Boca Rotan, Florida.
- Barka, E.A., Gognies, S., Nowak, J., Audran, J. C., Belarbi, A. 2002. Inhibitory effect of endophytic bacteria on *Botrytis cinerea* and its influence to promote the grapevine growth. *Biological Control*, 24: 135-142.
- Berg, G. and Hallmann, J. 2006. Control of plant pathogenic fungi with bacterial endophytes. pp. 53–69. *Springer-Verlag*
- Bhattacharyya, P.N., Jha, D.K. 2012. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. *World J. Microbiol. Biotech.*, 28: 1327-1350.
- Buyer, J. S., Sikora, L. J. 1990. Rhizosphere interactions and siderophores. *Plant and Soil*, 129: 101-107.
- Compant, S., Duffy, B., Nowak, J., and Barka, E.A. 2005. Use of plant growth-promoting bacteria for biocontrol of plant diseases: principles, mechanisms of action, and future prospects. *Appl. Environ. Microbiol.*, 71: 4951–4959.
- Costa, J.M. and Loper, J.E., 1994. Characterization of siderophore production by the biological control agent *Enterobacter cloacae*. *Mol. Plant Microbe Interact.*, 7: 440–448.
- Crosa, J.H., and Walsh, C. T. 2002. Genetics ve assembly line enzymology of siderophore biosynthesis in bacteria. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.*, 66: 23- 49.
- Daniels, C., Michan, C., Ramos, J.L. 2009. New molecular tools for enhancing methane production, explaining thermodynamically limited life styles and other important biotechnological issues. *Microb. Biotechnol.*, 2: 533–536.
- Dönmez, MF., Uysal, B., Demirci, E., Ercisli, S., Cakmakci, R. 2015. Biological control of root rot disease caused by *Rhizoctonia solani* Kuhn on potato and bean using antagonist bacteria. *Acta Scientiarum Polonorum-Hortorum Cultus*, 14: 29-40
- Ekinci, M., Turan, M., Yildirim, E., Güneş, A., Kotan, R. and Dursun, A., 2014. Effect of plant growth promoting rhizobacteria on growth, nutrient, organic acid, amino acid and hormone content of cauliflower (*Brassica oleracea* l. var. *botrytis*) transplants. *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus*, 13: 71-85.
- Ekinci, M., Yildirm, E. and Kotan, R., 2015. Effects of different plant growth promoting rhizobacteria on growth and quality of broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) seedling. *Akdeniz Üni. Zir. Fak. Derg.*, 28: 53-59.
- Gasser, I., Cardinale, M., Müller, H., Heller, S., Eberl, L., Lindenkamp, N., Kaddor, C., Steinbüchel, A., Berg, G. 2011. Analysis of the endophytic life style and plant growth promotion of *Burkholderia terricola* ZR2-12. *Plant and Soil*, 347: 125-136.
- Gökçe, A.Y. ve Kotan, R. 2016. Buğday kök çürüklüğüne neden olan *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.)'ya karşı PGPR ve biyoajan bakterileri kullanılarak kontrollü koşullarda biyolojik mücadele imkanlarının araştırılması. *Bitki Kor. Bült.*, 56: 49-75.
- Gray, E.J. and Smith, D.L. 2005. Intracellular and extracellular PGPR: commonalities and distinctions in the plant-bacterium signalling processes. *Soil Biol. Biochem.*, 37: 395-412.
- Gül, A., Ozaktan, H., Kidoglu, F., Tuzel, Y. 2013. Rhizobacteria promoted yield of cucumber plants grown in perlite under Fusarium wilt stress. *Scientia Horticulturae* 153: 22-25.
- Güneş, A., Karagöz, K., Turan, M., Kotan, R., Yildirim, E., Cakmakci, R. and Sahin, F. 2015. Fertilizer efficiency of some plant growth promoting rhizobacteria for plant growth. *Res. J. Soil Biol.*, 7: 28-45.
- Hallmann, J., Quadt-Hallman, A., Mahaffee, W.F., Kloepper, J.W. 1997. Bacterial endophytes in agricultural crops. *Canadian J. Microbiol.*, 43: 895-914.
- Harish, S., Kavino, M., Kumar, N., Saravanakumar, D., Soorianathasundaram, K., Samiyappan, R. 2008. Biohardening with plant growth promoting rhizosphere and endophytic bacteria induces systemic resistance against banana bunchy top virus. *Appl. Soil Ecol.*, 39: 187-200.
- Hayat, R., Ali, S., Amara, U., Khalid, R., Ahmed, I. 2010. Soil beneficial bacteria and their

- role in plant growth promotion: a review. *Ann. Microbiol.*, 60: 579-598.
- Jetiyanon, K., 1994. Immunization of cabbage for long-term resistance to black rot. M.S. Thesis, Plant Pathology, Auburn University, Auburn, Alabama.
- Jha, B.,Gontia, I., Hartmann, A. 2012. The roots of the halophyte *Salicornia brachiata* are a source of new halo tolerant diazotrophic bacteria with plant growth-promoting potential. *Plant and Soil*, 356: 265-277.
- Karagöz, K., Ateş, F., Karagöz, H., Kotan, R., and Çakmakçı, R. 2012. Characterization of plant growth-promoting traits of bacteria isolated from the rhizosphere of grapevine grown in alkaline and acidic soils. *Eur. J. Soil Biol.*, 50: 144-150.
- Kloepper, J.W., Schippers, B., and Bakker, P.A.H.M. 1992. Proposed elimination of the term endorhizosphere. *Phytopathology*, 82: 726-727.
- Lee, S., Flores_Encarnacion, M., Contreras_Zentella, M., Garcia_Flores, L., Escamilla, J.E., and Kennedy, C., 2004. Indole-3-acetic acid biosynthesis is deficient in *Gluconacetobacter diazotrophicus* strains with mutations in cytochrome C biogenesis genes. *J. of Bacteriol.*, 186: 5384-5391.
- Liu, L., Kloepper, W., Tuzun, S. 1995. Induction of systemic resistance in cucumber against *Fusarium* wilt by plant growth promoting rhizobacteria. *Phytopathology*, 85: 695-698.
- Malfanova, N., Kamilova, F., Validov, S., Shcherbakov, A., Chebotar, V., Tikhonovich, I., Lugtenberg, B. 2011. Characterization of *Bacillus subtilis* HC8, a novel plant-beneficial Endophytic strain from giant hogweed. *Microb. Biotech.*, 4: 523-532.
- Malfanova, N., Lugtenberg, B., Berg, G., 2013. Bacterial endophytes: who and where, and what are they doing there? In: *Molecular Microbial Ecology of the Rhizosphere*; de Bruijn FJ, Ed.ch 36, *Wiley-Blackwell*, Hoboken, NJ, USA.; pp.393-403.
- Mercado-Blanco, J.,Bakker, P.A.H.M. 2007. Interactions between plants and beneficial *Pseudomonas* spp.: exploiting bacterial traits for crop protection. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 92: 367-89.
- Miller, S. H., Browne, P., Prigent-Cambaret, C., Combes-Meynet, E., Morrissey, J. P. and O'Gara, F. 2010. Biochemical and genomic comparison of inorganic phosphate solubilisation in *Pseudomonas* species. *Environ. Microbiol. Rep.*, 2: 403-411.
- Oliveira, M.N.V., Santos, T.M.A., Vale, H.M.M., Delvaux, J.C., Cordero, A.P., Ferreira, A.B., Miguel, P.S.B., Tótola, M.R., Costa, M.D., Moraes, C.A. and Borges, A.C. 2013. Endophytic microbial diversity in coffee cherries of *Coffea arabica* from south eastern Brazil. *Can. J. Microbiol.*, 59: 221-230.
- Petrini, L.E., Petrini, O., Laflamme, G. 1989. Recovery of endophytes of *Abies balsamea* from needles and galls of *Paradiplosis tumifex*. *Phytoprotection*, 70: 97-103
- Pirttila, A., Joensuu, P., Pospiech, H., Jalonen, J. and Hohtola, A. 2004. Bud endophytes of Scots pine produce adenine derivatives and other compounds that affect morphology and mitigate browning of callus cultures. *Physiol. Plant.*, 121: 305-312.
- Rangjaroen, C., Rekarsem, B., Teaumroong, N., Noisangiam, R. and Lumyong, S. 2015. Promoting plant growth in a commercial rice cultivar by endophytic diazotrophic bacteria isolated from rice and rices. *Ann. Microbiol.*, 65: 253-266.
- Rosenblueth, M.,Martinez-Romero. 2006. E. Bacterial endophytes and their interactions with hosts. *Mol. Plant Microbe Interact.*, 19: 827-37.
- Ryan, R.P., Germaine, K., Franks, A., Ryan, D.J., and Dowling, D.N. 2008. Bacterial endophytes: recent developments and applications. *FEMS Microbiol. Letts.*, 278: 1-9.
- Sahin, U., Ekinci, M., Yildirim, E., Kiziloglu, M.F., Turan, M., Kotan, R., and Ors, S., 2015. Ameliorative effects of plant growth promoting bacteria on water-yield relationships, growth and nutrient uptake

- of lettuce plants under different irrigation levels. Hort Science, 50: 1379–1386.
- Schultze, M. and Kondorosi, M. 2002. Regulation of symbiotic root nodule development. Ann. Rev. Genetics, 32: 33-35.
- Shokri, D. and Emtiazi, G. 2010. Indole-3-acetic acid (IAA) production in symbiotic and non-symbiotic nitrogen-fixing bacteria and its optimization by taguchi design. Current Microbiology, 61: 217–225.
- Sobieczewski, P., C.S. Chiou and A.L. Jones. 1991. Streptomycin-Resistant Epiphytic Bacteria with Homologous DNA for Streptomycin Resistance in Michigan apple Orchards. Plant Dis., 75: 1110-1113.
- Soylu, S. 2011. Marul (*Lactuca sativa* L.) bitkisinde beyaz çürüklük hastalığına (*Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary) karşı kök bakterilerinin kullanım olanakları. Alatarım, 10: 85-93.
- Sturz, A.V., Christie, B.R., Matheson, B.G., Arsenault, W.J. and Buchanan, N. 1999. Endophytic bacterial communities in the peri-derm of potato tubers and their potential to improve resistance to soil-borne plant pathogens. Plant Pathol., 48: 360–370.
- Sturz, A.V., Christie, B.R. and Nowak, J. 2000. Bacterial endophytes: potential role in developing sustainable systems of crop production. Crit. Rev. Plant Sci. 19, 1–30.
- Tsavkelova, E.A., Cherdyntseva, T.A., Botina, S.G. and Netrusov, A.I. 2007. Bacteria associated with orchid roots and microbial production of auxin. Microbiol. Res., 162: 69-76.
- Turan, M., Ekinci, M., Yildirim, E., Güneş, A., Karagöz, K., Kotan, R. and Dursun, A., 2014. Plant growth-promoting rhizobacteria improved growth, nutrient, and hormone content of cabbage (*Brassica oleracea*) seedlings. Turk. J. Agric. For., 38: 327-333.
- Ulrich, K., Ulrich, A. and Ewald, D. 2008. Diversity of endophytic bacterial communities in poplar grown under field conditions. FEMS Microbiol. Ecol., 63: 169-180.
- Van Loon, L.C., Bakker, P.A. and Pieterse, C.M.J. 1998. Systemic resistance induced by rhizosphere bacteria. Ann. Rev. Phyto., 36: 453–483.
- Vendan, R. T., Yu, Y., Lee, S., and Rhee, Y. 2010. Diversity of endophytic bacteria in ginseng and their potential for plant growth promotion. J. Microbiol., 48: 559–565.
- Weyens, N., Van der Lelie, D., Taghavi, S., Vangronsveld, J. 2009. Phytoremediation: plant-endophyte partnerships take the challenge. Curr. Opin. Biotechnol., 20: 248-54.
- Zachow, C., Fatehi, J., Cardinale, M., Tilcher, R. and Berg, G. 2010. Strain-specific colonization pattern of Rhizoctonia antagonists in the root system of sugar beet. FEMS Microbiol. Ecol., 74: 124-35.
- Zheng, J., Allarda, S., Reynolds, S., Millner, P., Arcea, G., Blodgetta, R.J. and Brown, E.W. 2013. Colonization and internalization of *Salmonella enterica* in tomato plants. Appl. Environ. Microbiol., 79: 2494-2502.