



MAKÜ FEBED
ISSN Online: 1309-2243
<http://dergipark.ulakbim.gov.tr/makufebed>

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 7(2): 161-166 (2016)
The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University 7(2): 161-166 (2016)

Derleme Makale / Review Paper

Fungal Endofitler ve Etkileşimleri

Refika Ceyda BERAM^{1*}, Abdullah BERAM¹, H. Tuğba DOĞMUŞ LEHTİJARVI¹

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Orman Fakültesi, Isparta

Geliş Tarihi (Received): 20.05.2016, Kabul Tarihi (Accepted): 20.07.2016

✉ Sorumlu Yazar (Corresponding author)*: ceydaerdogannn@gmail.com

☎ +90 246 2113945 📠 +90 246 2113948

ÖZ

Endofitler, bitkilerin canlı iç dokularında kolonize olan ve herhangi önemli bir semptomu neden olmadan yaşayan organizmalar olarak varsayılmaktadır. Bunun yanı sıra bazı endofitler yaşam döngüsü boyunca sadece endofit olarak kalmayarak bitki dokularında kolonize olan mikorizal funguslar, patojenler, epifitler ve saprotroflar gibi bazı önemli mikrobiyal gruplar ile benzer işlevler göstermektedir. Sahip oldukları sekonder metabolitler sayesinde tıp, tarım ve endüstri gibi önemli alanlarda geniş bir kullanım potansiyeline sahip olan endofitler, dünya üzerindeki hemen hemen her bitkide bulunmaktadır. Özellikle biyolojik mücadele gibi yöntemlerde etkin şekilde kullanılabilirliği, bu mikroorganizmalara verilen önemi gün geçtikçe artırmaktadır. Bu nedenlerle yeni endofitleri keşfetmek ve işlevlerini belirlemek büyük önem arz etmektedir. Tüm bunlardan yola çıkarak bu derlemede, endofit funguslar ve bugüne dek bilinen işlevleri ile ilgili geniş kapsamda bir literatür çalışması yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Fungus, latent patojen, latent saprotrof, mikoriza.

Fungal Endophytes and Their Interactions

ABSTRACT

Endophytes are usually defined as microorganisms which live within plant tissues without causing symptoms of disease. An endophyte may not remain as an endophyte throughout its life cycle. The functions of endophytes overlap with those of other important microbial groups which colonize plant tissues, e.g., mycorrhizal fungi, pathogens, epiphytes, and saprotrophs. Endophytic microorganisms have potential for use in a wide range of important areas, such as industry, medicine, and agriculture by means of having secondary metabolites and they can be found in almost all plants on Earth. The importance of these microorganisms is increasing day by day due to can be used such as biological control agents. Therefore, to discover of new endophytic fungi and determine of their functions show great importance. Based on all these in this review, an extensive search of literature dealing with endophytic fungi and their functions was performed.

Keywords: Fungi, latent pathogen, latent saprotrophs, mycorrhiza.

GİRİŞ

Endofitler, bitki dokularında yer alan mikrobiyal topluluğun bir parçasıdır. Bitki patolojisinin önemli ismi Alman

botanikçi Anton de Bary 1886 yılında sürgün ve yaprakların iç dokularında kolonize olan mikroorganizmaları endofit olarak tanımlamıştır (Wilson, 1995). Bu tanım daha sonra asimptomatik endofitlerin spesifikliğini açık-

layabilmek için gözden geçirilmiş ve birçok farklı tanımlama yapılmıştır. Bacon ve White (2000), endofitleri bitkilerin canlı iç dokularında kolonize olan ve herhangi bir olumsuz etki göstermeyen organizmalar olarak daha kapsamlı şekilde tanımlamışlardır. Bu organizmalar ksilem ve floem dahil olmak üzere bitkinin tüm kısımlarında bulunabilmektedir (Tejesvi ve ark., 2007). Tüm bu tanımlamaların yanı sıra, endofitler halen tam olarak açıklanamamaktadır. Bu karışıklığın sebebi ise bazı endofitlerin yaşam döngüsü boyunca sadece endofit olarak kalmamasıdır. Bu da mutualistik ve kommensalistik yaşama ek olarak endofitleri; latent patojenleri, latent saprotrofları, mikorizal fungusları ve rhizobiaların kolonizasyonlarının erken aşamalarını içerebileceği anlamına gelmektedir. Bu nedenle, endofitler yaşam döngülerinin bir kısmında bir ya da birden fazla işleve sahip olabilmektedir (Porrás-Alfaro ve Bayman, 2011).

Genel olarak bakterileri ve fungusları içeren endofitler (Raghukumar, 2008), bitki dokusuna kök, gövde, çiçek, yaprak veya kotiledondan giriş yapabilmekte ve bitkinin diğer dokularına buralardan yayılış gösterebilmektedir (Kobayashi ve Palumbo, 2000). Yaşam şekillerine bağlı olarak obligat ya da fakültatif olabilirler. Obligat olanlar gelişimleri ve hayatta kalabilmeleri için konukçularına bağımlıdır. Fakültatif olanların ise konukçu bitkilerinin dışında mevcut bir yaşam döngüleri vardır (Su ve ark., 2010). Bitki endofit birlikteliğinde endofitler bitkiden karbonhidrat alırken, bitkinin biyotik ve abiyotik stres faktörlerine karşı direnç kazanmasına yardımcı olurlar (Hamilton ve Bauerle, 2012; Hamilton ve ark., 2012). Endofitler, konukçusunun herbivorlar ve patojenler gibi rakipleri ile etkileşimine aracılık etmekle birlikte bitki çeşitliliği ve topluluk yapılarını da etkilemektedir (Clay ve Holah 1999). Ayrıca, endofitlerin metal direncinin yüksek olduğu, bitki gelişimini arttırdığı ve organik bileşenleri ayrıştırabildiği için bitkisel arıtımda kullanılabileceği bildirilmiştir (Chen ve ark., 2010).

ENDOFİT FUNGUSLAR VE FUNGAL ÇEŞİTLİLİK-TEKİ YERİ

Endofit funguslar, ilk olarak 19. yy'ın sonlarında Avrupalı araştırmacılar tarafından keşfedilmiştir. Bu keşiflerin ardından Bacon ve ark. (1977), *Clavicipitaceae* familyasında bulunan endofitlerin, sığırlarda toksik madde oluşumuna neden olabileceğini bildirmiştir. Bundan sonraki çalışmalar endofitlere bağlı toksisite sendromlarının yaygınlaşarak, hayvancılık sektöründe ekonomik olarak önemli zarara neden olabileceğini göstermiştir (Hoveland, 1993). Bu familyaya ait endofitler bitki-fungus ilişkilerinin en ilginç ve ekonomik olarak en kayda değer örneklerinden olup, sebep olduğu zarar bakımından birçok endofit üzerinde araştırma yapılmasının da ilham kaynağı olmuştur. Diğer endofit grupları ile karşılaştırıldığında genellikle yanılıya sebep olan bu

funguslar; mutualist yaşam şeklinin yanında birlikte evrim ihtimalini güçlendirmiş ve çoğu çalışmaya öncülük etmiştir (Bacon ve White, 2000; Faeth ve Fagan, 2002).

Dothideomycetes, *Sordariomycetes*, *Leotiomyces*, *Eurotiomyces* ve *Pezizomyces* gibi sınıflara ait üyeler çoğu bitkide baskın olarak bulunan fungal endofit kolonilerini oluşturmaktadır (Jumpponen ve Jones, 2009). Bu sınıfların yanında *Zygomycota* ve *Basidiomycota* üyeleri ve otlarda yaygın olarak görülen *Agaricales* takımının üyeleri de endofit olarak bulunmaktadır (Herrera ve ark., 2010; Khidir ve ark., 2010). Tanımlanmış 100.000'den az fungal tür olmasına rağmen, henüz tanımlanmamış 1.500.000'den fazla fungal tür olduğu düşünülmektedir (Hawksworth ve Rossman, 1997; Fröhlich ve Hyde, 1999). Bazı mikologlar fungal biyoçeşitlilik içerisinde endofitlerin geniş bir yer kapladığını ileri sürmektedir (Arnold ve ark., 2000; Arnold, 2007). Her bitki türü endofit kolonisine sahip olmakla beraber, tek bir tropikal ağaç yaprağında bile 90'a yakın endofit tür bulunmaktadır (Bayman, 2006). Boreal ve arktik ekosistemlerde yetişen en baskın 3 türün, 2 mm²'lik bir yaprak parçasında endofitik koloni oranı %1 ile %41 arasında değişim göstermektedir. Tropikal ormanlarda bulunan yapraklı türlerde ise bu oran %90'a kadar ulaşmaktadır (Lodge ve ark., 1996). Bazı endofitler farklı dokular ile etkileşim içinde olmayıp, yaprakta sadece tek bir hücre ve doku içinde sınırlı kalabilmektedir (Stone, 1987). Bazıları ise konukçularına özelleşmiştir. Konukçuya özelleşmiş türlerin sayısının sabit olduğunu varsayarsak endofit türlerin sayısı bitki tür sayısı aracılığıyla tahmin edilebilmektedir (Bills, 1996; Hawksworth ve Rossman, 1997). Bitki çeşitliliğinin tropik bölgelerde en fazla olduğu düşünüldüğünde endofit tür çeşitliliğinin belki de en fazla tropik bölgelerde olduğu varsayılabilir. Yapılan bir meta-analiz ile yaprak endofit çeşitliliğinin ılıman bölgelere oranla tropik bölgelerde daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır (Arnold vd, 2007). Bununla birlikte yapılan diğer bir çalışma, kök endofit çeşitliliğinin enlem ile beraber artış gösterdiğini bildirmektedir (Herrera, 2010). Bütün bunlar geniş coğrafik alanlarda endofitik fungus çeşitliliğinin değerlendirilebilmesi için daha kapsamlı araştırmalar yapılması gerektiğini ortaya koymuştur. Biyoçeşitliliğinin ve konukçu spesifikliğinin yeterince tanımlanamamış olması, endofitlerin önemini gün geçtikçe arttırmaktadır.

ENDOFİT FUNGUSLARIN DEĞİŞKENLİĞİ

Endofit fungus kolonileri aynı konukçu tür üzerinde farklı iklim, mevsim ve ortam şartlarında değişiklik göstermektedir (Carroll, 1995; Gamboa ve ark., 2002). Mikrobiom kompozisyonu; konukçu, bitki sıklığı, besin durumu, çevre koşulları ve dış mikrobiomlar (toprak fungusları ve bakteriler) ile etkileşim gibi çok sayıda

faktöre bağlı olup değişim her düzeyde görülmektedir. Aynı konukçu türde bulunan endofit fungus çeşitliliği, farklı ortam şartlarında artabilir veya hiçbir farklılık göstermeyebilir (Arnold ve Herre, 2003; Herrera ve ark., 2010). Çeşitli çalışmalar bitkinin endofit kolonizasyonlarının sıcaklık artışı, karbondioksit artışı, azot birikimi, uzun süreli kuraklık gibi iklim değişikliğinin çeşitli açılardan etkilendiğini göstermiştir (Kannadan ve Rudgers, 2008). Aynı bitkide bulunan yapraklar, kökler ve odunsu dokular endofitik fungus çeşitliliği açısından büyük farklılıklar gösterebilmekte ve her biri diğerinden farklı işlevlere sahip olabilmektedir (Chaverri ve Gazis, 2010; Gazis ve Chaverri, 2010). Weber ve Anke (2006), yapmış oldukları bir çalışmada yoncaların yaprak, kök ve gövdelerinde farklı sekonder metabolitler üreten birbirinden farklı endofit funguslar izole etmişlerdir. Bitki organlarındaki bu endofit çeşitliliği, dokular ve organlar arasındaki biyolojik farklılıkları da yansıtmaktadır (Porras-Alfaro ve Bayman, 2011). Bu değişimlerin sebeplerinin ve işlevsel önemlerinin belirlenebilmesi için çok sayıda araştırmaya ihtiyaç vardır.

ENDOFTİLER VE BAZI MİKROBİAL GRUPLAR İLE İLİŞKİLERİ

Fungal endofitler; mikorizal funguslar, patojenler, epifitler ve saprotroflar gibi bazı mikroorganizma grupları ile benzer işlevler gösterebilmektedir.

Endofitler ve Epifitler

Endofitler genellikle bitkinin dış yüzeyinde yaşayan epifitler ile kıyaslanmaktadır (Santamaria ve Bayman, 2005). Epifitler bitki yüzeyinden yıkanarak ya da genellikle sodyum hipoklorit veya etanol kullanılan yüzey sterilizasyonu ile inaktive edilebilmektedir. Yüzey sterilizasyonu ile hayatta kalmaya devam eden endofitler için bu işlemler yeterli olmadığı gibi, yüzey sterilizasyonu sonucu uygun ortamın sağlandığı kültürlerde, uygun ortam koşullarında gelişimlerini devam ettirebilmektedirler (Arnold ve Lutzoni, 2007). Endofit ve epifit kompozisyonunu aynı yaprakta araştıran çok az sayıda çalışma bulunmaktadır. Çoğu endofit, yaprağın yüzeyinde penetrasyondan önce gelişmeye başlamaktadır. Ayrıca yaralanmalar gibi bitkinin iç dokularının ortaya çıkmak zorunda kaldığı durumlarda, dış etkenlerden dokuyu korumak amacıyla endofitler epifit gibi davranabilmektedirler. Epifitler ve endofitler arasında yapılmış olan bu ayrımlar pratikte geçici olarak kullanılmaktadır (Legault ve ark., 1989; Santamaria ve Bayman, 2005).

Endofitler ve Mikoriza

Mikoriza, bitki kökleri ile toprak funguslarının simbiyotik ortak yaşam şeklidir. Bu funguslar bitki köküne yerleş-

tikten sonra özellikle korteks içine hiflerini salarak, iç ortamın bir parçası olmaktadır. İç ve dış ortamda hızla gelişen hifler dışardan içeriye su ve mineral madde, içerden dışarıya da organik madde sağlamaktadır (Erzurumlu ve Kara, 2014). Böylece ototrof konukçu bitki ile heterotrof organizma arasında besin alışverişi gerçekleşmektedir. Bu simbiyoz ortak yaşam, ekosistemde besin döngüsü ve bitki canlılığının devamını sağlamaktadır (Harley ve Smith, 1983).

Köklerde besin transferi için özelleşmiş mikorizal fungusların çoğu filogenetik araştırmalar sonucu endofitlerden ayrı tutulmuştur (Arnold ve Lutzoni, 2007). Bu nedenle endofit tanımı mikorizanın aksine bitki ile ilişkisine ve bitkideki konumuna göre ele alınmamaktadır (Porras-Alfaro ve Bayman, 2011). Kök endofitleri sağlıklı bitki köklerinde mikorizalar ile birlikte gözlemlenmektedir (Brundrett, 2002). Bu endofitler, yaygın olarak bulunmalarına rağmen mikorizalar ile uzun yıllar karşılaştırılmamıştır. Hatta çoğu mikorizal çalışmada endofitler görmezden gelinerek kontaminant olarak rapor edilmektedir. Bazı önemli kök endofitleri kültürde sporlanma göstermeyince moleküler teknikler ile tanılama önemli hale gelmiştir ve böylelikle bu endofitlerin çoğu mikrobiomdaki diğer fonksiyonel gruplar ile ekosistemin temel bileşeni olarak bir arada tutulmaya başlanmıştır (Collins ve ark., 2008). Örneğin koyu septalı endofitler; *Pinus halapensis* Miller ve *Rosmarinus officinalis* L.'in köklerinde bulunan ektomikorizal ve arbusküler mikorizal funguslar ile birlikte bulunabilmektedir (Girlanda ve ark., 2002).

Taksonomideki zorluklardan dolayı bazı kök endofitleri literatürde genel isimler kullanılarak tanımlanmıştır. Bunlar; koyu septalı endofitler, hipomiset endofitler, hiyalin hifli endofitler vb. Bu terimler morfolojik özelliklere, türlerin kolonize olma modellerine ve filogenetik çalışmalara dayanarak belirlenmiştir (Porras-Alfaro ve Bayman, 2011). Besin transferi, bitki koruma, iç ve dış doku kolonizasyonu gibi benzer işlevlerden dolayı endofit ve mikorizal fungus çalışmaları bütünleştirilmeli ve artırılmalıdır.

Endofitler ve Latent Patojenler

Bitkinin doğal florasında bulunan bazı endofitler, konukçunun yaşamını zorlaştıran bir takım stres faktörleri nedeniyle patojenik karakter kazanabilmektedirler. Konukçunun fizyolojik strese mazur kaldığı durumlar dışında, endofitlerin çok az kısmı zayıf patojen olarak tanımlanmıştır (Brown ve ark., 1998). Konukçu veya ortam değişiklikleri asimptomatik endofitlerde patojeniteyi tetikleyebilmektedir. Bazı durumlarda patojen, konukçusunda enfeksiyona neden olsa da, konukçu gözle görülür herhangi bir semptom göstermeyebilir. Bu sebeple, patojenin tespiti zorlaşmakta ve uzun zaman

almaktadır. Konukçu veya patojen olgunlaştıkça çevresel koşulların ve beslenme koşullarının da etkisiyle hastalık işaret veya simptomlarını göstermeye başlamaktadır (Agrios, 1988; Rojas ve ark., 2010). Morfolojik karşılaştırmalar endofitlerin, patojenler ile çok yakın benzerlik göstermesi nedeniyle yeterli çözüm sağlayamamakta ve moleküler tanılama yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Böylelikle endofitlerin patojenlerden ayrımı gün geçtikçe kolaylaşmıştır (Rojas ve ark., 2010).

Endofitler ve Latent Saprotroflar

Bazı araştırmacılar endofitlerin konukçusunun ölmüş organlarında aktif hale gelen latent saprotroflar olduklarını bildirmişlerdir. Fungusların şeker vb. besinlere daha hızlı ulaşmak için yaşayan dokularda önceden kolonize olmaları mümkündür. Bu durum, aynı konukçuya sonradan gelen saprotroflara karşı rekabet avantajı sağlamaktadır (Jumpponen ve ark., 1998). Sağlıklı ve çürüyen yaprak ve dallardan elde edilen endofit ve saprotrof izolatlar arasında karşılaştırmalar yapılmış ve bu endofit hipotezleri filogenetik çalışmalar ile desteklenmiştir (Promputtha ve ark., 2007).

Diğer çalışmalar da saprotrofluğun erken kolonize kavramını destekler niteliktedir. *Bouteloua gracilis*'in %20'nin üstünde kök endofitinin, saprotroflar ile yakın akrabalıkları olduğu bildirilmiştir (Porras-Alfaro ve ark., 2008). Bu durumda endofitlerin patojenlerle ilişkisinde düşünüldüğü gibi saprotrofların temsilcisi olabileceği de mümkündür.

Bazı endofitlerin bitkide bulunan diğer mikroorganizmalar ile zaman içinde işlevsel olarak benzerlik gösterdiği bilinmektedir. Endofitlerin biyoçeşitliliği ile ilgili gözlemler bu organizmaların etkin saprotroflar ya da fırsatçı patojenler olabileceğini göstermiştir. Yapılan araştırmaların sonucunda bir bitkide gözlenen saprotrof, endofit ve patojenlerin aynı türden meydana gelen mikroorganizmalar olabileceği bildirilmiştir. Eğer saprotrof bir tür, endofitik veya patojenik yaşam modeli için potansiyele sahipse, muhtemelen konukçu bitkiye özelleşmiş spesifik bir tür olabilmektedir. (Photita ve ark., 2004).

ENDOFİTLERİN SEKONDER METABOLİT POTANSİYELİ

Çoğu endofit doğrudan ya da dolaylı olarak hastalıklara karşı kullanılan çeşitli bioaktif metabolitleri sentezleme potansiyeline sahiptir (Kusari ve Spiteller, 2012). Bilindiği üzere endofitler ilaçların keşfinde önemli bir zemin oluşturmuştur (Staniek ve ark., 2008). Sekonder metabolit üretmek için endofit kullanılan patent sayılarında

son 20 yılda gözle görülür bir artış söz konusudur (Priti ve ark., 2009). Endofitlerden elde edilen bioaktif metabolitler içerdikleri alkaloidler, sitokalazinler, poliketidler, terpenoidler, flavanoidler ve steroidlere göre sınıflandırılmaktadır (Guo ve ark., 2008). Hücre bölünmesi, glikoz transferi, HIV-1 proteaz ve hücre iskeleti gibi hücre hedefleri bulunmaktadır (Gimenez ve ark., 2007). Yeni bileşikler için bol ve güvenilir kaynak sunan bu mikroorganizma grubu, tıp, tarım, endüstri gibi önemli alanlarda geniş bir kullanım potansiyeline sahiptir. Dünyadaki bitki çeşitliliği göz önüne alındığında yeni doğal biyoaktif ürünler için endofit fungusların çok büyük bir kaynak oluşturabileceği görülmektedir. Bugüne kadar yapılan çalışmalar endofitlerin sahip olduğu potansiyelin oldukça umut verici olduğunu göstermektedir.

BİTKİ PATOJENLERİNİN ENDOFİTİK FUNGUSLAR İLE BİYOKONTROLÜ

İnsan ve çevre sağlığına duyarlı, sürdürülebilir ormancılık ve tarım için, zararlılarla entegre mücadele prensipleri ışığında biyolojik mücadele, dünyada büyük önem arz etmektedir. Uzun vadede tüm canlılığa fayda sağlayan bu mücadele yöntemi, hastalık etmenleriyle antagonistik organizmalar arasındaki etkileşimin bir ürünü olarak ortaya çıkmaktadır. Bu etkileşim tipleri; antibiyosis, rekabet, hiperparazitizm, hipovirulens, uyarılmış dayanıklılık, çapraz koruma şeklinde belirtilmiştir (Bora ve Özaktan, 1998). Bu etkileşim tiplerinden biri olan uyarılmış dayanıklılık sistemi, bitkide mevcut olan doğal savunma sisteminin harekete geçirilmesiyle gerçekleşmektedir. Antagonistin bazı salgıları ya da içerdiği kimyasal maddeler, konukçu bitkide patojene karşı dayanıklılık sistemlerinin çalışmasını ya da harekete geçmesini sağlayarak konukçu üzerinden sağlanan bir biyolojik savaş olanağını kapsamaktadır (Aslan ve Özaktan, 2005). Uyarılmış dayanıklılık mekanizmasına genellikle salisilik asit, jasmonik asit, etilen ve patogenezele ilgili proteinler aracılık etmektedir (Tripathi ve ark., 2008).

Endofitler doğrudan böcekleri ve patojenleri inhibe edebilen veya bitkiyi uyararak pasif durumdaki dayanıklılık mekanizmalarının harekete geçirilmesini sağlayan sekonder metabolitler üretebilmektedir. Bu nedenle endofitler gibi antagonistik mikroorganizmaların kullanımını bitki hastalıkları mücadelesinde en ideal yöntemlerden biri olup hastalıkların biyokontrolünde büyük umut vaat etmektedir. (Trejo-Estrada ve ark., 1998). Gelecekteki çalışmalarla endofit-endofit, endofit-konukçu ilişkileri ayrıntılı bir şekilde incelenerek bitki hastalıklarını önlemede daha verimli şekilde endofitlerin kullanılabilmesi mümkündür.

SONUÇLAR

Artan nüfus ve küresel iklim değişiklikleri, bitki çeşitliliğinin ve hastalıkların yer veya form değiştirmesi gibi olayları da beraberinde getirebilmektedir. Endofitler gibi mikroorganizmaların mikrobiomdaki şaşırtıcı kompleks ilişkileri detaylı bir şekilde tanımlanarak, bu mikroorganizmaların bitki gelişimindeki önemi ve doğadaki aktif rolleri keşfedilebilir. Böylece biyolojik mücadelelerde endofitler gibi mikroorganizmalar ile alınan tedbirlerle yeni ve etkin stratejiler geliştirmek olası görülmektedir.

Sahip oldukları bu koordine işlevler, ürettikleri sekonder metabolitler ve biyolojik mücadeledeki etkin rolleri göz önüne alındığında farklı koşul ve ekosistemde yaşayan sayısız bitkiden yeni ve ilginç endofitik mikroorganizmalar keşfetmek büyük önem arz etmektedir. Doğada keşfedilmeyi bekleyen ve etkileri henüz bilinmeyen birçok önemli endofit olduğu tahmin edilmektedir. Ekonomik ve ekolojik önemi bakımından bu organizmaların daha iyi anlaşılması, yönetilmesi ve biyoçeşitliliklerinin sürdürülebilir bir biçimde kullanılması için bu konuya ışık tutacak daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

KAYNAKLAR

- Agrios, G.N., (1988). *Plant Pathology*. Academic Press, New York, USA.
- Arnold, A. E., Lutzoni, F., (2007). Diversity and host range of foliar fungal endophytes: are tropical leaves biodiversity hotspots? *Ecology*, 88(3), 541-549.
- Arnold, A. E., Maynard, Z., Gilbert, G., Coley, P.D., Kursar, T.A., (2000). Are tropical fungal endophytes hyperdiverse? *Ecology Letters*, 3, 267-274.
- Arnold, A. E., Herre, E. A., (2003). Canopy cover and leaf age affect colonization by tropical fungal endophytes: ecological pattern and process in *Theobroma cacao* (Malvaceae). *Mycologia*, 95, 388-98.
- Arnold, A. E., (2007). Understanding the diversity of foliar endophytic fungi: progress, challenges and frontiers. *Fungal Biology Reviews*, 21, 51-56.
- Arnold, A.E., Henk, D.A., Eells, R. L., Lutzoni, F., Vilgalys, R., (2007). Diversity and phylogenetic affinities of foliar fungal endophytes in loblolly pine inferred by culturing and environmental PCR. *Mycologia*, 99, 185-206.
- Aslan, E., Özaktan, H., (2005). Kök Bakterileri Tarafından Konukçu Bitkide Hastalıklara Karşı Sistemik Dayanıklılığın Uyarılması. *Anadolu Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 15, 1.
- Bacon, C.W., Porter, J.K., Robbins, J.D., Luttrell, E.S., (1977). *Epichloe typhina* from toxic tall fescue grasses. *Applied and Environmental Microbiology*, 34, 76-81.
- Bacon, C.W., White, J.F., (2000). *Microbial Endophytes*. New York: Marcel Dekker.
- Bayman, P., (2006). Diversity, scale and variation of endophytic fungi in leaves of tropical plants. In *Microbial Ecology of Aerial Plant Surfaces*, 37-50. Oxfordshire, UK: CABI.
- Bills, G. F., (1996). Isolation and analysis of endophytic fungal communities from woody plants. See Reference, 124, 31-65.
- Bora, T., Özaktan, H., (1998). Bitki hastalıklarıyla biyolojik savaş. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü, 205.
- Brown, K.B., Hyde, K.D., Guest, D.I., (1998). Preliminary studies on endophytic fungal communities of *Musa acuminata* species complex in Hong Kong and Australia. *Fungal Diversity*, 1, 27-51.
- Brundrett, M.C., (2002). Co-evolution of roots and mycorrhizas of land plants. *New Phytologist*, 154, 275-304.
- Carroll, G. C., (1995). Forest endophytes: pattern and process. *Canadian Journal of Botany*, 73, 1316-1324.
- Chaverri, P., Gazis, R., (2010). *Perisporiopsis lateritia*, a new species on decaying leaves of *Hevea* spp. From the Amazon basin in Peru. *Mycotaxon*, 113, 163-69.
- Chen, L., Luo, S., Xiao, X., Guo, H., Chen, J., WanY Li, B., Xu, T., Xi, Q., Rao, C., Liu, C., Zeng, G., (2010). Application of plant growth-promoting endophytes (PGPE) isolated from *Solanum nigrum* L. for phytoextraction of Cd-polluted soils. *Applied Soil Ecology*, 46, 383-389.
- Clay, K., Holah, J., (1999). Fungal endophyte symbiosis and plant diversity in successional fields. *Science*, 285, 1742-1744.
- Collins, S., Sinsabaugh, R. L., Crenshaw, C., Green, L., Porras-Alfaro, A., (2008). Pulse dynamics and microbial processes in aridland ecosystems. *Journal of Ecology*, 96, 413-20.
- Erzurumlu, G. S., Kara, E. E., (2014). Mikoriza Konusunda Türkiye'de Yapılan Çalışmalar. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 7 (2), 55-65.
- Faeth, S. H., Fagan, W. F., (2002). Fungal endophytes: common host plant symbionts but uncommon mutualists. *Integrative and Comparative Biology*, 42, 360-68.
- Frohlich, J., Hyde, K. D., (1999). Biodiversity of palm fungi in the tropics: Are global fungal diversity estimates realistic? *Biodiversity and Conservation*, 8, 977-1004.
- Gamboa, M. A., Laureano, S., Bayman, P., (2002). Measuring diversity of endophytic fungi in leaf fragments: Does size matter? *Mycopathologia*, 156, 41-45.
- Gazis, R., Chaverri, P., (2010). Diversity of fungal endophytes in leaves and stems of wild rubber trees (*Hevea brasiliensis*) in Peru. *Fungal Ecology*, 3, 240-50.
- Gimenez, C., Cabrera, R., Reina, M., Gonzalez-Coloma, A., (2007). Fungal endophytes and their role in plant protection. *Current Organic Chemistry*, 11, 707-20.
- Girlanda, M., Ghignone, S., Luppi, A. M., 2002. Diversity of sterile root-associated fungi of two Mediterranean plants. *New Phytologist*, 155, 481-98.
- Guo, B., Wang, Y., Sun, X., Tang, K., (2008). Bioactive natural products from endophytes. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 44, 136-42.
- Hamilton, C. E., Bauerle, T. L., (2012). A new currency for mutualism? fungal endophytes alter antioxidant activity in hosts responding to drought. *Fungal Diversity*, doi:10.1007/s13225-012-0156-y
- Hamilton, C. E., Gundel, P. E., Helander, M., Saikkonen, K., (2012). Endophytic mediation of reactive oxygen species and antioxidant activity in plants: a review. *Fungal Diversity*. doi:10.1007/s13225-012-0158-9
- Harley, J.L., Smith, S.E., (1983). *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press. London.

- Hawksworth, D. L., Rossman, A. Y., (1997). Where are all the undescribed fungi? *Phytopathology*, 87, 888–91.
- Herrera, J., Khidir, H. H., Eudy, D.M., Porras-Alfaro, A., Natvig, D. O., Sinsabaugh, R. L., (2010). Variation in root-associated fungal endophytes: some taxonomic consistency at a transcontinental scale. *Mycologia*, 102, 1012–26.
- Hoveland, C. S., (1993). Importance and economic significance of the *Acremonium* endophytes to performance of animals and grass plant. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 44, 3–12.
- Jumpponen, A., Mattson, K. G., Trappe, J. M., (1998). Mycorrhizal functioning of *Phialocephala fortinii* with *Pinus contorta* on glacier forefront soil: interactions with soil nitrogen and organic matter. *Mycorrhiza*, 7, 261–65.
- Jumpponen, A., Jones, K. L., (2009). Massively parallel 454 sequencing indicates hyperdiverse fungal communities in temperate *Quercus macrocarpa* phyllosphere. *New Phytologist*, 184, 438–48.
- Kannadan, S., Rudgers, J. A., (2008). Endophyte symbiosis benefits a rare grass under low water availability. *Functional Ecology*, 22, 706–713.
- Khidir, H. K., Eudy, D. M., Porras-Alfaro, A., Herrera, J., Natvig, D. O., Sinsabaugh, R. L., (2010). A general suite of fungal endophytes dominate the roots of two dominant grasses in a semiarid grassland. *Journal of Arid Environments*, 74, 35–42.
- Kobayashi, D. Y., Palumbo, J. D., (2000). Bacterial endophytes and their effects on plants and uses in agriculture. In: Bacon, C. W., White, J. F., (eds) *Microbial endophytes*. Marcel Dekker, New York, 199–236.
- Kusari, S., Spittler, M., (2012). Metabolomics of endophytic fungi producing associated plant secondary metabolites: progress, challenges and opportunities. In *Metabolomics*, U. Roessner, ed. (Rijeka, Croatia: InTech), pp. 241–266.
- Legault, D., Dessureault, M., Laflamme, G., (1989). Mycoflora of the needles of *Pinus banksiana* and *Pinus resinosa*. 1. Endophytic fungi. *Canadian Journal of Botany*, 67, 2052–60.
- Lodge, D. J., Fisher, P. J., Sutton, B. C., (1996). Endophytic fungi of *Manilkara bidentata* leaves in Puerto Rico. *Mycologia*, 88, 733–38.
- Ownley, B. H., Gwinn, K. D., Vega, F. E., (2010). Endophytic fungal entomopathogens with activity against plant pathogens: ecology and evolution. *BioControl*, 55, 113–28.
- Photita, W., Lumyong, S., Lumyong, P., McKenzie, E. H. C., Hyde, K. D., (2004). Are some endophytes of *Musa acuminata* latent pathogens. *Fungal Diversity*, 16, 131-140.
- Porras-Alfaro, A., Herrera, J., Odenbach, K., Lowrey, T., Sinsabaugh, R. L., Natvig, D. O., (2008). A novel root fungal consortium associated with a dominant desert grass. *Applied and Environmental Microbiology*. 74, 2805–13.
- Porras-Alfaro, A., Bayman, P., (2011). Hidden fungi, emergent properties: endophytes and microbiomes. *Phytopathology*, 49 (1), 291.
- Priti, V., Ramesha, B. T., Singh, S., Ravikanth, G., Ganeshhaiah, K. N., (2009). How promising are endophytic fungi as alternative sources of plant secondary metabolites?. *Current Science*, 97, 477–78.
- Promptutha, I., Lumyong, S., Dhanasekaran, V., McKenzie, E. H. C., Hyde K. D., Jeewon, R. A., (2007). Phylogenetic evaluation of whether endophytes become saprotrophs at host senescence. *Microbial Ecology*, 53, 579–90.
- Raghukumar, C., (2008). Marine fungal biotechnology: an ecological perspective. *Fungal Diversity*, 31, 5–19.
- Rodriguez, R. J., White Jr, J. F., Arnold, A. E., Redman, R. S., (2009). Fungal endophytes: diversity and functional roles. *New phytologist*, 182(2), 314-330.
- Rojas, E. I., Rehner, S. A., Samuels, G. J., Van Bael, S. A., Herre, E. A., (2010). *Colletotrichum gloeosporioides* s.l. associated with *Theobroma cacao* and other plants in Panama: multilocus phylogenies distinguish host-associated pathogens from asymptomatic endophytes. *Mycologia*, 102, 1318–38.
- Santamaría, J., Bayman, P., (2005). Fungal epiphytes and endophytes of coffee leaves (*Coffea arabica*). *Microbial Ecology*, 50, 1–8.
- Staniek, A., Woerdenbag, H. J., Kayser, O., (2008). Endophytes: exploiting biodiversity for the improvement of natural product-based drug discovery. *Journal of Plant Interaction*, 3, 75–93.
- Stone, J. K., (1987). Initiation and development of latent infections by *Rhizoctonia parkeri* on Douglas fir. *Canadian Journal of Botany*, 65, 2614–21.
- Su, Y. Y., Guo, L. D., Hyde, K. D., (2010). Response of endophytic fungi of *Stipa grandis* to experimental plant function group removal in Inner Mongolia steppe, China. *Fungal Diversity*, 43, 93–101.
- Tejesvi, M. V., Kini, K. R., Prakash, H. S., Subbiah, V., Shetty, H. S., (2007). Genetic diversity and antifungal activity of species of *Pestalotiopsis* isolated as endophytes from medicinal plants. *Fungal Diversity*, 24, 37-54.
- Tripathi, S., Kamal, S., Sheramati, I., Oelmüller, R., Varma, A., (2008). Mycorrhizal fungi and other root endophytes as biocontrol agents against root pathogens. *Mycorrhiza*, 3, 281–306.
- Weber, R. W. S., Anke, H., (2006). Effects of endophytes on colonization by leaf surface microbiota. In *Microbial Ecology of Aerial Plant Surfaces*, 209–222. Oxfordshire, UK: CABI.
- Wilson, D., (1995). Endophyte: the evolution of a term, and clarification of its use and definition. *Oikos* 73, 274–76.