

*Derleme (Review)*

## **Entomopatojen fungusların bitki gelişimi ve bitkilerde hastalık oluşumu üzerine etkileri**

Şehnaz MERTOĞLU<sup>1</sup>, Gürsel KARACA<sup>1\*</sup>, Melis BİLGİNTURAN<sup>1</sup>

### **The effects of entomopathogenic fungi on plant growth and occurrence of disease on plants**

**Abstract:** Entomopathogenic fungi are used as biocontrol agents against plant pests. However, recent studies showed that they could also be effective in controlling plant pathogens, either directly or indirectly. Direct effects are related to three mechanisms of antagonism; I) parasitism, II) competition for energy sources around the host plant, and III) production of metabolites that suppress pathogen growth. In addition, they indirectly affect pathogens via their positive interactions with plants. Entomopathogenic fungi in endophytic relationships with plants may decrease the susceptibility of plants to pathogens by facilitating their growth and inducing their defense mechanisms. In this review, the direct and indirect effects of entomopathogenic fungi on plant growth and disease occurrence on plants are discussed. Increased knowledge on this subject can contribute to the use of biocontrol agents becoming more widespread, particularly entomopathogenic fungi, for the control of plant diseases. This review also discusses the subject in the context of current literature because it is important to draw attention to the use of biopesticides, not only against pests, but also against plant pathogens.

**Keywords:** Endophytic fungi, antagonism, competition, antibiosis, induced resistance

**Öz:** Entomopatojen funguslar, bitki zararlılarına karşı biyolojik savaşta kullanılabilen etmenler olarak bilinmektedirler. Son zamanlarda yapılan araştırmalar, zararlı organizmalara ek olarak bitki patojenlerine karşı da etkili olabildiklerini ortaya koymuştur. Entomopatojen fungusların bitki patojenleri üzerindeki etkileri doğrudan veya dolaylı olabilmektedir. Doğrudan etkileri, üç farklı antagonizm mekanizması ile; I) parazitizm, II) konukçu bitki çevresindeki enerji kaynakları bakımından patojenlerle rekabete girmek, ya da III) patojen gelişimini baskılayan kimyasallar salgılamak şeklindedir. Entomopatojen fungusların patojenler üzerindeki dolaylı etkileri ise, bitkilerle olumlu etkileşimleri yoluyla ortaya çıkmaktadır. Bitkilerle endofitik ilişki kurabilen entomopatojen funguslar, bitki gelişimine olumlu katkı sağlamaları yanında bitki savunmasını uyararak patojenlere karşı duyarlılığı da azaltmaktadır. Bu makalede, entomopatojen fungusların bitki gelişimi ve hastalıkları üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkileri ele alınmıştır. Bu konuda artan bilgiler, sürdürülebilir tarım çerçevesinde bitki hastalıklarıyla mücadelede biyolojik etmenlerin ve bunlar arasında da entomopatojen fungusların kullanımının yaygınlaşmasına yardımcı olacaktır. Mevcut literatür ışığında konuyu ele alan makale hem bitki zararlıları, hem de patojenler üzerinde etkili olan biyopestisitlere dikkat çekilmesi bakımından önemlidir.

**Anahtar kelimeler:** Endofit funguslar, antagonizm, rekabet, antibiyosis, uyarılmış dayanıklılık

<sup>1</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Isparta  
Sorumlu yazar (Corresponding author) e-mail: gurselkaraca@isparta.edu.tr  
ORCID ID (Yazar sırasıyla): 0000-0002-9205-8896; 0000-0002-5159-2734; 0000-0002-4351-7646  
Alınış (Received): 4 Mart 2022 Kabul ediliş (Accepted): 14 Haziran 2022

## Giriş

Son yıllarda sürdürülebilir tarım sistemi ve bu alanda kullanılan yararlı mikroorganizmaların ve bunlardan elde edilen biyolojik ürünlerin önemi giderek artmaktadır. Biyolojik orijinli bitki koruma ürünleri, su kullanım etkinliğini artırma, yer altı suyunun gübrelerle kirlenmesini önleme veya pestisit kalıntılarının çevreye zararını azaltma gibi özelliklere sahiptir ve tarımda kullanılan sentetik kimyasalların dezavantajlarının giderilmesi amacıyla daha çok tercih edilir hale gelmişlerdir (Dara 2019). Biyopestisitler dışında, yine faydalı bakteri, fungus ve mayalardan elde edilen bazı ticari ürünler bugünlerde bitki büyümesini teşvik edici ya da toprak düzenleyici olarak toprak, bitki veya tohumlara uygulanmak suretiyle kullanılmaktadır. Biyolojik etmenler arasında entomopatojen fungusların sürdürülebilir tarımda kullanımını son zamanlarda giderek önem kazanmıştır. Yapılan araştırmalarla bu fungusların zararlı yönetimindeki rolleri detaylı olarak incelenmiştir (Baron et al. 2019).

*Ascomycetes* sınıfı *Hypocreales* takımına ait birçok fungus türü, *Arthropoda* şubesine bağlı bitki zararlılarını enfekte ederek onları öldürmektedir. Bu funguslardan *Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuill., *Hirsutella thompsonii* Fisher, *Isaria fumosorosea* Wize, *Metarhizium robertsii* (Metschn.) Sorokin ve *M. brunneum* Petch bu zararlıların birçoğunun entomopatojeni olarak bilinmektedir (Bamisile et al. 2018). Tarım alanlarındaki zararlılarla mücadelede bu toprak kökenli funguslarla hazırlanan bazı biyopestisit formülasyonlar ticari olarak da kullanılmaktadır. Bu funguslar, insektisit direnci riskini azaltan sürdürülebilir zararlı mücadelesini etkin bir şekilde sağlayan bütünleşmiş zararlı yönetim stratejisinin önemli bir parçasıdır (Dara 2019).

Böceklerde enfeksiyona neden olan entomopatojen funguslar, fiziksel veya enzimatik yollarla konukçu dokularına giriş yapmaktadırlar. Arthropod konukçusuna ulaşan fungal sporlar çimlendikten sonra çim tüpünün sonunda oluşan bir enfeksiyon çivisi vasıtasıyla mekanik basınç yoluyla enfeksiyonu gerçekleştirebildikleri gibi, konukçu hücre duvarının yapısını bozan enzimler vasıtasıyla kimyasal yolla da konukçularını enfekte edebilmektedirler. Konukçu dokuları içinde çoğalan funguslar, konukçuyu istila eder ve enfeksiyon çemberini devam ettirmek için yeni sporlar üretirler (Bamisile et al. 2018).

Son yıllarda bazı çalışmalardan elde edilen sonuçlar; entomopatojen fungusların, bitki zararlıları ile mücadeledeki etkin rollerine ilave olarak, bitki patojenleri ve konukçu bitki savunma mekanizmaları üzerinde de etkili olduklarını ortaya koymuştur. Ayrıca entomopatojen fungusların toprak içindeki ve bitkiler üzerindeki diğer mikroorganizmalarla etkileşimleri de önem kazanmıştır. Bitki kök gelişimini ve uyarılmış sistemik dayanıklılığı teşvik etmeleri, bitki patojenlerine karşı antagonistik etki göstermeleri ve bitkilerle mikoriza benzeri endofitik ilişkileri aracılığıyla, bitki gelişimi ve sağlığı üzerindeki olumlu etkileri ile ilgili kanıtlar gün geçtikçe artmaktadır. Yakın zamanda yapılan çalışmalar, *B. bassiana*, *Metarhizium* spp. ve diğer entomopatojen fungusların; toprak yapısını zenginleştiren, zararlı mikroorganizmalarla rekabet ederek bitkiler için su ve besin alımını teşvik eden ve bitkilerde sistemik dayanıklılığı harekete geçiren biyolojik etmenler olduklarını göstermiştir. Entomopatojen funguslar ayrıca bitkilerin

kuraklık gibi abiyotik stres faktörlerine karşı toleransını da artırmaktadır (Dara 2019).

Entomopatojen fungusların etkileri doğada farklı şekillerde ortaya çıkmaktadır. Bazen doğrudan antagonizm yoluyla patojenler üzerinde etkili olurken, bazen de endofitik ve mikoriza benzeri etkileşimlerle bitki besin alımını artırarak ve bitki savunmasını uyararak patojenler üzerinde dolaylı etki de gösterebilmektedirler. Bu derleme makalede entomopatojen fungusların bitki gelişimi ve hastalıkları üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkilerini ortaya koyan araştırmalar ele alınmıştır. Bu konularda artan bilgiler tarımsal üretimin sürdürülebilirliği için entomopatojen fungusların kullanımının yaygınlaşmasına yardımcı olacaktır.

## Entomopatojen fungusların patojenler üzerindeki doğrudan etkileri

### Patojen antagonizmi

Entomopatojen funguslar, filosfer ve rizosferde ya da endofit olarak bitki dokuları içinde patojenlere karşı parazitizm, rekabet ve antibiyosis yoluyla antagonistik etki göstermektedirler (Ownley et al. 2010). Yapılan çalışmalarla *Beauveria* türlerinin *in vitro* veya *in vivo* koşullarda *Botrytis cinerea* Pers., *Fusarium oxysporum* Schlecht. emend. Snyder & Hansen, *Gaeumannomyces graminis* (Sacc.) Arx & D.L. Olivier, *Pythium* spp., *Rhizoctonia solani* Kühn ve *Septoria* spp. gibi farklı bitki patojenlerine karşı antagonistik etkileri belirlenmiştir (Dara 2019).

Bitki dokuları içinde endofit ve patojen arasındaki rekabet, yer veya besin için olabilmektedir. Entomopatojen funguslar, bitki dokularına erken dönemde kolonize olurlarsa, bitki bünyesinde patojen için gerekli kaynakların, özellikle de karbon kaynaklarının azalmasını sağlayarak, bitkinin patojen tarafından daha az tercih edilir hale gelmesine neden olurlar (Behie & Bidochka 2014). Mikoparazitizm; mikoparazit ile konukçusu arasında, konukçu fungusun hücre duvarının yapısını bozan litik enzimlerin senteziyle başlayan, antagonistik bir ilişkidir. Mikoparazit fungusların endofit olarak bitki içindeki hareketleri hakkında, yalnızca *in vitro* koşullarda yapılan araştırmalardan elde edilen çok az bilgi bulunmaktadır (Sharma, 2011).

Antibiyosis, mikroorganizmalar tarafından üretilen antibiyotik veya diğer toksik metabolitlerin, diğer mikroorganizmalar üzerindeki etkisi olarak tanımlanabilir (Barra-Bucarei et al. 2019). Antibiyosis mekanizması; antibiyotiklerin, biyoaktif uçucu organik bileşiklerin (VOC) ve enzimlerin üretimi yoluyla harekete geçmektedir. Uçucu biyoaktif bileşikler içerisinde alkoller, alkil pironlar, amonyak, hidrojen siyanür, esterler, ketonlar ve lipitler yer almaktadır (Ownley et al. 2010). Antibiyotik ve insektisit etkileri olan Beauvericin, *B. bassiana*, *I. fumosorosea* ve *Fusarium* spp. gibi entomopatojenik funguslar tarafından üretilmektedir. Bu metabolit antibakteriyel, antiviral ve antifungal potansiyeli ile patojenlere karşı iyi bir koruma sağlamaktadır. Bassianolide ise *B. bassiana* ve *Lecanicillium lecanii* Zare & Gams tarafından üretilen antibiyotik etkiye sahip diğer bir metabolittir. Bu metabolitin böcekler dışında hayvanlar ve bitkilere de toksik etki yapabileceği bildirilmiştir. *Metarhizium* türlerinin ürettiği destruxin, *F. oxysporum* ve *Cladosporium herbarum* (Pers.) Link gibi bitki patojenlerinin mücadelesinde kullanılan diğer bir metabolittir. *B. bassiana*'nın sekonder metabolitleri arasında

destruxin, oosporein, beauvericin, bassianolide, bassianin, beauveriolide, bassiacridin, cordycepin ve ciclosporin gibi antimikrobiyal bileşikler yer almaktadır. *B. bassiana* sadece bitkilerde hastalıklara neden olan funguslara karşı değil, bakteri ve virüslere karşı da antagonistik bir endofit olarak rapor edilmiştir. Bunu üretmiş olduğu çeşitli antimikrobiyal metabolitler ile sağlamaktadır (Barra-Bucarei et al. 2019).

Çeşitli bitki patojenleri ile yapılan araştırmalarda entomopatojenlerin bunlara karşı farklı mekanizmalarla etkili oldukları saptanmıştır. *L. lecanii*'nin 3 farklı straini kullanılarak yapılan laboratuvar çalışmasında, külleme etmeni olarak bilinen *Podosphaera fuliginea* (Schltld.) U. Braun & S. Takam. parazitizm/antibiosis etki mekanizmaları kullanılarak engellenmiştir (Askary et al. 1998). Aynı entomopatojen fungusla yapılan benzer bir çalışmada, fungus hıyar köklerine kolonize olmuş ve *Pythium ultimum* Trow.'un neden olduğu hastalığın meydana geliş sıklığında ve şiddetinde önemli oranda azalmaya neden olmuştur (Benhamou & Brodeur 2001). Yaprakbitleri ve beyazsineklerden izole edilen iki ticari izolatın da içinde bulunduğu 20 *Lecanicillium* spp. izolatu; hıyar, çilek, domates ve buğday bitkilerinin yaprak yüzeylerine kolonize olma yetenekleri açısından karşılaştırılmış, uygulamadan 2 ve 4 hafta sonra üç izolat (A-2, B-2 ve C-1), diğer izolatlara kıyasla daha yüksek oranda kolonizasyon kabiliyeti göstermiştir. *L. muscarium* Zare & Gams B-2'nin aynı zamanda hıyar yapraklarının başarılı bir epifitik kolonisti olduğu belirlenmiştir. Bu da entomopatojenin besinler ve yer için rekabet yoluyla küllemeye karşı da etkili olabileceğini düşündürmüştür (Koike et al. 2004). İran'da *L. muscarium*'un DAOM198499 izolatu kullanılarak yapılan bir *in vitro* çalışmada ise, külleme etmeni *P. fuliginea*'nin parazitizm yoluyla engellendiği bildirilmiştir (Askary & Yarmand 2007). *Lecanicillium lecanii*'nin laboratuvar çalışmalarında kahve pası etmeni *Hemileia vastatrix* Berk. & Broome'in gelişimini engellediği saptanmış, arazi çalışmalarında ise entomopatojenin parazitizm yoluyla etmenin mücadelesinde etkili olduğu bildirilmiştir (Vandermeer et al. 2009). Pakistan'da yapılan bir çalışmada beş biyolojik etmenin buğdayda yaprak pası üzerine etkileri incelenmiştir. Biyolojik mücadele etmenleri tek başlarına uygulandıklarında püstül gelişimine etkileri açısından aralarında farklılık gözlenmekle birlikte, kontrol uygulaması ile kıyaslandığında hiçbir pas gelişimini önemli oranda azaltmadığı ve *B. bassiana* uygulamasının pas püstül gelişimini azaltmada nispeten daha iyi olduğu saptanmıştır. Biyolojik mücadele etmenlerinin iki hafta uygulanmasından sonra pas üredosporlarının mikroskopik olarak incelenmesi, sitoplazma üzerinde koagülasyon ve parçalanma olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Biyolojik mücadele etmenlerinden *L. lecanii*, *I. fumosorosea* ve *B. bassiana*'nın kombinasyon halindeki uygulamaları, diğer kombinasyonlara kıyasla daha az pas gelişimine neden olmuşlardır. Bu etmenlerden *L. lecanii*'nin pas üredosporlarını parazitlediği ve böylece hiperparazitizm yoluyla etmenin tahıl paslarına karşı etkili olabileceği bildirilmiştir (Sheroze et al. 2003). Yine *B. bassiana* ile ABD'de yürütülen bir çalışmada, entomopatojenin 11-98 no'lu izolatının, domateste çökerten etmeni *R. solani*'yi baskılayabildiği ve arazi koşullarında fideleri hastalığa karşı koruyabildiği bildirilmiştir. *B. bassiana* izolatlarının bazı bitki türlerinde endofitik olduğu gösterilmiş ve endofitik kolonizasyon fungusun zararlı böcekleri enfekte etme yeteneğine bağlanmıştır (Ownley et al. 2004).

Bitki patojenleri için potansiyel bir biyolojik etmen olarak *B. bassiana* üzerine yapılan araştırmalar genelde bitki patojenlerinin gelişmelerinin engellenmesi ve hücre duvarı yapılarının bozulması ile ilgili *in vitro* çalışmalarla sınırlıdır. *B. bassiana*'nın patojenlere karşı tarla koşullarındaki etkinliklerine yönelik az sayıda çalışma bulunmaktadır. Pamuk bitkilerinin tarla koşullarında çökerten hastalığı kompleksine karşı *B. bassiana* tarafından korunduğu belirlenmiştir. Ayrıca, *B. bassiana*'nın 11-98 izolatu ile yapılan tohum uygulaması, domates fidelerinin endofitik kolonizasyonu ile sonuçlanmıştır (Ownley et al. 2004). *B. bassiana* ile yapılan bir araştırmada, pamuk ve domateste *R. solani* ve *Pythium myriotylum* Drechsler'a karşı, pamukta *Xanthomonas axonopodis* pv. *malvacearum* (Smith) Vauterin, Hoste, Kersters & Swings'a karşı tohum uygulamaları değerlendirilmiştir. Bu çalışmada bitki patojenlerinin varlığında *B. bassiana* uygulanan bitkilerde artan bitki gelişimi yanında hastalık şiddetinde azalma gözlenmiştir. Alan için rekabet, parazitizm veya uyarılmış sistemik dayanıklılığın patojen antagonizminin mekanizmaları olduğu düşünülmüştür (Ownley et al. 2008). *B. bassiana* içerikli bir kimyasal preparat olan *Naturalis*<sup>TM</sup> iyi bir endofitik kolonizasyon yeteneği ile, Kabak Sarı Mozaik Virüsü (*Zucchini Yellow Mosaic Virus/ZYMV*)'ne karşı antagonistik etki göstermiştir. Bu çalışma, virüslerin sebep olduğu bitki hastalıklarına karşı entomopatojenlerin kullanımını rapor eden çalışmalardan biridir. *B. bassiana*'nın bitki dokularında sistemik olarak kolonize olduğu ve hücreden hücreye virüsün yayılımını engellediği gösterilmiştir (Jaber & Salem 2014). Asmada, *B. bassiana*'nın yeşil aksam uygulaması ile *Plasmopara viticola* (Berk. & M.A. Curtis) Berl. & De Toni'ya karşı koruma sağlandığı ve patojene karşı antagonistik etkiye sahip olduğu rapor edilmiştir (Jaber 2015). *M. robertsii*'nin hem *in vitro*, hem de fasulye bitkileriyle yapılan *in vivo* çalışmalarda *Fusarium* spp.'ye karşı antagonistik etki gösterdiği bildirilmiş ve çalışma sonucunda *M. robertsii* bitki kök patojenlerine karşı biyolojik etmen olarak önerilmiştir (Sasan & Bidochka 2013).

Entomopatojen fungusların bazı önemli bitki patojenlerinin *in vitro* misel gelişimleri üzerine etkilerinin araştırıldığı deneme sonucunda; *B. bassiana*, *M. robertsii* ve *I fumosorosea*'nın kültür filtratlarının farklı dozlarının patojenlerin misel gelişimi üzerindeki etkilerinin farklı olduğu bulunmuştur. Entomopatojenlerin hiçbiri *Pythium deliense* Meurs'nin misel gelişimini etkilemezken, tüm entomopatojenler *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary'un misel ağırlığını önemli ölçüde azaltmıştır. *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* W.C. Snyder & H.N. Hansen için *B. bassiana*, *Sclerotium rolfsii* Sacc. için *M. robertsii* en etkili entomopatojenler olarak belirlenmiştir (Acar et al. 2015). Domates bitkilerinde kök çürüklüğü ve solgunluk etmenlerine karşı entomopatojen fungusların kullanımı ile, bunların fenolik bileşikler ve hastalık gelişimi üzerindeki etkilerini belirlemek üzere yapılan bir çalışmada, entomopatojen fungus uygulanan domates yapraklarındaki toplam fenolik miktarlarının kontrol bitkilerden daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Entomopatojenlerin kök çürüklüğü hastalığı şiddeti üzerindeki etkileri patojenlere bağlı olarak farklılıklar göstermiştir. Tüm entomopatojenler *S. rolfsii*'nin neden olduğu hastalığın şiddetinde azalmaya neden olurken, *S. sclerotiorum* ve *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* üzerinde etkili olmamışlardır. Benzer şekilde, bitki büyümesi üzerinde en dikkat çekici etki *S.*

*rolfsii* ile aşılanan bitkilerin yaş ağırlıklarının artmış olmasıdır (Ateş et al. 2015). Son yıllarda yapılan bir çalışmada, entomopatojen fungus *Isaria javanica* (Bally) Samson & Hywel-Jones'nın yaprakbitlerine ve bitki patojenlerine karşı biyolojik mücadelede kullanılma potansiyeli incelenmiştir. Kore'de biber üretimini sınırlayan en önemli faktörlerden birisi olan antraknoz etmeni *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Sacc.'e karşı topraktan elde edilen pf185 ve pf212 izolatları tarafından güçlü bir antifungal etki sağlanmıştır. Aynı çalışmada entomopatojenin *F. oxysporum*, *R. solani* ve *Phytophthora capsici* Leon. üzerindeki etkisine de bakılmış ve bu üç etmen arasında *P. capsici*'nin entomopatojen tarafından daha iyi bir şekilde engellendiği belirlenmiştir. *I. javanica* pf185 izolatının pf212'ye göre antagonistik etkisinin daha yüksek olduğu da ayrıca rapor edilmiştir (Kang et al. 2018). Farklı bir çalışmada, *I. javanica* tarafından üretilen bir metabolit olan dibutyl succinate'ın antraknoz etmeni *Colletotrichum acutatum* J. H. Simmonds'un misel gelişimini önemli düzeyde engellediği ancak spor çimlenmesini engellemede etkili olmadığı bulunmuştur (Lee et al. 2019).

Kaliforniya'da sera koşullarında yapılan bir çalışmada, *F. oxysporum* f. sp. *vasinfectum* W.C. Snyder & H.N. Hansen ile bulaşık toprağa entomopatojen fungus uygulanmasının hastalığa karşı pamuk bitkilerini koruduğu bildirilmiş, özellikle *B. bassiana* uygulamasının, bitkisel ve mikrobiyal fungusitlerden daha etkili olduğu belirlenmiştir (Dara et al. 2016). Çilek bitkileriyle yapılan bir çalışmada, *B. bassiana* ve *M. anisopliae* s.l.'nin Kaliforniya izolatlarının kömür çürüklüğü etmeni *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid.'nin varlığında bitki sağlığını koruyabileceği bulunmuştur. Kaliforniya'da son zamanlarda yapılan arazi çalışmasında ise, *B. bassiana* ve *M. anisopliae* s.l. hasat edilmiş çileklerde *B. cinerea* ve *Rhizopus* spp.'nin zararını engellemiştir (Dara 2019). Yeni Zelanda'da yürütülen bir çalışmada, *B. bassiana* ve *Metarhizium* spp.'nin *Fusarium graminearum* Schwabe'un neden olduğu kök çürüklüğünde %22-44 azalmaya neden olduğu saptanmıştır (Rivas-Franco et al. 2019). Filipinler'de muzda solgunluk etmeni *F. oxysporum*'a karşı, *in vitro* koşullarda endofitik fungus *Trichoderma viride* Pers. ve entomopatojen *M. robertsii*'nin antagonistik etkileri karşılaştırılmış, entomopatojenin yaygın olarak kullanılan biyolojik mücadele etmeni olan *T. viride*'den daha düşük bir antagonistik etki sergilemesine rağmen, *F. oxysporum*'u önemli oranda baskıladığı ve *T. viride*'nin yokluğunda biyolojik mücadelede alternatif etmen olarak kullanılabileceği belirlenmiştir (Picardal et al. 2019). Mısır bitkileri ile yapılan bir araştırmada, tohumlar *M. robertsii* sporları ile aşılansın ve bu tohumlardan gelişen mısır bitkilerinde; yaprak ve kök endofitik kolonizasyonu, bitki boyu, klorofil içeriği, toprak üstü biyokütlesi ve bitkiler üzerinde beslenen zararlı bozkurt türü *Agrotis ipsilon* Hufnagel (Lepidoptera: Noctuidae)'un larva ağırlıkları gibi özellikler değerlendirilmiştir. Ayrıca, bitki savunmasından sorumlu bazı genlerin ekspresyonlarına da bakılmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, *M. robertsii* kolonizasyonunun, köklerde, yapraklara göre daha yüksek düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Uygulama yapılan bitkilerde, kontrole nazaran bitki boyu ve biyokütlesi artmış ve *A. ipsilon* gelişiminde gerileme görülmüştür. *M. robertsii* kolonizasyonu ile birlikte bitki savunmasında önem taşıyan genlerin ifadesinde artış görülmüştür (Ahmad et al. 2020).

## Entomopatojen fungusların patojenler üzerindeki dolaylı etkileri

### Endofitik ve mikoriza benzeri etkileşimler ile entomopatojenlerin bitki besin alımına etkileri

Endofit ve mikorizal funguslar, bitkilerle simbiyotik bir ilişkiye sahiptir. Endofitler toprak üstü bitki kısımlarında kolonize olurken, mikorizal funguslar köklerle ilişki kurarlar. Hem endofitler hem de mikorizal funguslar bitkilere zarar vermeden besinlerini bitkilerden sağlarlar (Carroll, 1988; Saikkonen et al., 2004; Pérez et al., 2013). *B. bassiana* ve benzeri entomopatojen funguslar toprak kökenlidir ve bitki varlığında gelişirler. Endofitik olarak bazı bitki türlerinde kolonize olurlar. *B. bassiana* ve diğer entomopatojen fungusların kolonize olduğu bitki türleri arasında arpa, kakao, fasulye, mısır, soya, tütün, buğday, çilek, çim bitkileri ve birçok diğer bitki türü yer almaktadır. Entomopatojen funguslar bitkilere tohum döneminde, yapraklı dönemde veya şaşırtma işlemi sırasında uygulandığında, bitki dokularında kolonize olur ve fayda sağlarlar. Arthropod konukçularının yokluğunda entomopatojen funguslar bitki içinde, üzerinde veya etrafında yaşayabilirler ve bitkilerden besin sağlarlar (Dara 2019).

Entomopatojen *B. bassiana*'nın farklı bitki türlerinin yaprak, gövde, çiçek ve kök gibi özelleşmiş organlarına kolonize olabilen bir endofit olduğu bildirilmiştir. *B. bassiana*'nın mısır yapraklarına doğal açıklıklar veya hücre duvarı aracılığıyla penetrasyon yaptığı bilinmektedir. Tıpkı böcekleri enfekte ettiği gibi benzer mekanizmalarla; ya enfeksiyon çivisi oluşturarak mekanik güçle, ya da sentezlediği enzimlerle hücre duvarının yapısını bozarak, bazen de bu iki mekanizmanın kombinasyonu ile penetrasyon işlemini gerçekleştirmektedir. Entomopatojen hiflerinin haustorium oluşturmadan parankima hücreleri arasındaki boşluklarda gelişerek epidermisten vasküler dokulara kadar ilerlediği ve ksilem yoluyla bütün bitkide sistemik bir kolonizasyon gerçekleştirdiği belirlenmiştir. Bu da entomopatojen fungusların bitki apoplastı, parankima ve vasküler dokulara kolonize olabildiklerini göstermektedir (Barra-Bucarei et al. 2019).

Entomopatojen funguslarla etkileşim sayesinde bitkilerin kuraklık, zararlılar ve hastalıklar gibi abiyotik ve biyotik stres faktörlerine karşı dayanıklılık kazandıkları saptanmıştır. Endofitler, mikorizal funguslar, herbivorlar, bitki patojenleri gibi bitkilerin çevresinde ya da üzerinde yaşamını sürdüren canlılar arasındaki etkileşimlerde, bitkiler kadar çevre koşulları da etkilidir (Augé 2001; Pineda et al. 2017). Entomopatojen fungusların kolonize oldukları bitkilerin gelişimi üzerinde olumsuz etkileri görülmezken, strese dayanım ve besin alımı üzerinde olumlu etkileri olmaktadır (Behie & Bidochka 2014). Entomopatojen fungusların çilek zararlıları yönetiminde kullanım potansiyelleri araştırıldığında, *B. bassiana*'nın çilek bitkilerinde başarıyla kolonize olduğu ve 9 haftaya kadar bitki içinde gelişiminin devam ettiği saptanmıştır. Entomopatojen fungusların muhtemelen su ve besin alımını artırarak mikorizal aktivite yoluyla bitki sağlığına destek oldukları düşünülmüş ve *B. bassiana*'nın zararlı yönetimindeki etkisinin yanı sıra bitki sağlığı ve gelişiminde de etkili olduğu bildirilmiştir (Dara 2013). Pamuk tohumlarına uygulandıklarında *B. bassiana* ve *Purpureocillium lilacinum* (Thom) Luangsa-ard, Hou- braken, Hywel-Jones & Samson'un bitki gelişimini, kuru bitki ağırlığını ve koza sayısını önemli oranda artırdığı görülmüştür (Lopez & Sword

2015). Benzer bir çalışmada ise bakla tohumlarına *B. bassiana* ve *M. brunneum* uygulandığında fide çıkışı, bitki boyu, yaprak çifti sayısı, taze sürgün ve kök ağırlıklarında önemli oranda artış elde edilmiştir (Jaber & Enkerli 2016). Sorgum bitkisinde endofit *B. bassiana* ve *M. brunneum*'un, demir kullanılabilirliğini, klorofil içeriğini, kök uzunluğunu ve kireçli katmanlarda köklerin gelişimini artırdığı ve inokulasyon metodu olarak toprak uygulamasının, yeşil aksam veya tohum uygulamasından daha iyi olduğu belirlenmiştir (Raya-Díaz et al. 2017). Besince fakir toprak koşullarının patatesten endofit *M. brunneum* gelişimini kontrole oranla %13'e kadar artırdığı görülmüştür. Bazı parametreler toprak verimliliğine bağlı olmasına rağmen, endofit *M. brunneum* uygulaması da bitkilerin azot ve fosfat içeriği, bitki ağırlığı, yaprak yüzey alanı, verim ve su kullanım etkinliği gibi özelliklerde artış sağlamıştır (Krell et al. 2018). Mısır tohumları *B. bassiana* ile muamele edildiğinde besin emilimini destekleyerek bitki gelişimini teşvik etmiştir (Tall & Meyling 2018). Tohum uygulamasıyla endofit olarak fasulye bitkisinde kolonize olan *B. bassiana*, *I. fumosorosea* ve *L. lecanii* izolatlarının, bitki boyu ile biyokütlesinde artış sağladığı belirlenmiştir (Dash et al. 2018). Soya fasulyesinde *B. bassiana*'nın yeşil aksam uygulamasıyla bitki boyu, dal sayısı, bitki ve dal başına tohum zarfı ve tohum sayı ve ağırlıkları ile verimde önemli oranda artış elde edilmiştir (Russo et al. 2019).

Lahana bitkilerinde yapılan saksı çalışmasında, entomopatojen fungusların özellikle *B. bassiana*'nın kuraklık stresi altında geliştirilen bitkilerde, bitki büyümesi, sürgün/kök oranı, bitki ağırlığı ve besin alımını arttırarak bitkileri stres faktörlerine karşı koruduğu bildirilmiştir (Dara 2019). Diğer bir çalışmada, *B. bassiana* uygulamasının asma bitkilerinde büyümeyi etkilemediği ancak yaprak dokularında magnezyum ve kalsiyum miktarlarını arttırdığı saptanmıştır. Entomopatojen uygulaması yapılan asmalarda zararlı gelişimini engelleyen dokuz bileşen belirlenirken, uygulama yapılmayan asmalarda beş bileşen bulunmuştur (Moloinyane & Nchu 2019). *B. bassiana* ve *M. robertsii* tek tek ve kombinasyon halinde fasulye tohumlarına uygulandıklarında bitkilerin kök ve toprak üstü aksamında gelişmeyi artırdığı bildirilmiştir (Canassa et al. 2019). Ticari çilek üretim alanında yürütülen bir çalışmada, *B. bassiana*, *M. brunneum* ve *I. fumosorosea* ile yapılan toprak uygulamalarının, bitki gelişimi, bitki sağlığı ve meyve verimi üzerindeki etkileri, mikorizal fungus, *Trichoderma* spp. ve kök gelişimini teşvik eden bakteriler gibi diğer faydalı mikrobiyal uygulamalar ile karşılaştırılmış ve deneme sonucunda uygulamalar arasında önemli bir fark olmamakla birlikte, entomopatojen fungusların ölçülen parametreler üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu ortaya konulmuştur (Dara & Peck 2016). Denemede pazarlanabilir meyve verimini *B. bassiana* %3.5, *M. brunneum* %9.6 ve *I. fumosorosea* %8.3 oranlarında artırmıştır (Dara 2019). Yine çilek bitkileriyle yapılan bir arazi çalışmasında, bitkisel ve mikrobiyal fungusitler ile entomopatojen fungusların ürün sağlığı üzerine etkileri karşılaştırılmıştır. Deneme sonucunda entomopatojen fungusların ürün sağlığı üzerinde önemli bir etkileri olmadığı, ancak meyve veriminin uygulama yapılmayanlara kıyasla *B. bassiana* uygulamasında %14.4, *I. fumosorosea* uygulamasında ise %4.4 oranlarında daha yüksek olduğu bulunmuştur (Dara 2019). Son zamanlarda yürütülen bir araştırmada ise endofitik *B. bassiana*'nın asma bitkisinde iyi bir kolonizasyon



gösterdiği ve bitkinin kök gelişimi üzerinde olumlu etki yaptığı saptanmıştır (Mantzoukas et al. 2021).

Yapılan bazı çalışmalarda entomopatojen fungusların bitki zararlılarından bitkiye besin maddesi taşınmasını sağladığı görülmüştür. Örneğin Kanada'da yapılan bir çalışmada, *M. robertsii*'nin Petek güvesi *Galleria mellonella* L. (Lepidoptera: Pyralidae) larvasından yeşil fasulyeye azot geçişi sağladığı belirlenmiştir. *M. robertsii*'nin böcek kaynaklı azotu bitkilere aktarma yeteneğini incelemek amacıyla yapılan araştırmada, böceklere enjekte edilen radyoaktif işaretli azotun, *M. robertsii* varlığında kuru fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) ve şalgam (*Panicum virgatum* L.) bitkilerinde aminoasitlerin yapısına girdiği gözlenmiştir. Bu bulgular, bu üçlü etkileşimde entomopatojen fungusların, azot döngüsünde önemli bir rol oynayabileceklerini kanıtlamıştır (Behie et al. 2012). Diğer bir çalışmada, *B. bassiana*, *Metarhizium guizhouense* Q.T. Chen & H.L. Guo, *M. brunneum* ve *M. robertsii*'nin, böceğin oluşturduğu azotun, yeşil fasulye, soya, şalgam ve buğdaya geçişini sağladığı ve bitki verimliliğini artırdığı ortaya konulmuş ve entomopatojenlerin, bitkilerdeki besin alımıyla ilişkili mekanizmaların düzenlenmesinde etkili oldukları kanıtlanmıştır (Behie & Bidochka 2014). Benzer bir araştırmada, entomopatojen fungusların böceklerden bitkilere azot transferi yaptıkları, buna karşılık bitkiden kendileri için gerekli fotosentez ürünlerini aldıkları hipotezi, hava sızdırmaz bitki büyüme çemberine eklenen radyoaktif işaretli CO<sub>2</sub>'in, fasulye bitkilerindeki fotosentez ürünlerinde ve daha sonra da endofitik *M. robertsii*'den ekstrakte edilen fungusa özel karbonhidratların (trehaloz ve kitin) yapısında bulunmasıyla gerçeklik kazanmıştır (Behie et al. 2017).

### Entomopatojenlerin bitki savunması üzerine etkileri

Bitkilerde patojenlere karşı dayanıklılıkta etkili mekanizmalardan biri olan uyarılmış sistemik dayanıklılık, endofit ya da mikorizal funguslar gibi patojen olmayan organizmalar tarafından harekete geçirilmektedir. Endofitler tarafından kolonize olunan bitkiler, fitoaleksin üretimini sağlayan sekonder metabolitleri üreterek patojenlere karşı hızlı bir reaksiyon oluşturabilirler. Bitkilerde, biyotik ve abiyotik stres koşullarında savunma olarak sistemik kazanılmış dayanıklılık (SAR) ve uyarılmış sistemik dayanıklılık (ISR) olmak üzere iki tip dayanıklılık görülmektedir (Choudhary et al. 2007; Barra-Bucarei et al. 2019). Patojenler, patojen olmayan mikroorganizmalar ya da belirli kimyasallara maruz kalan bitkilerde sistemik salisilik asit birikimiyle SAR mekanizması harekete geçmektedir. Salisilik asit, SAR genlerini aktif hale getirerek hızlı ve etkili şekilde patojen enfeksiyonlarına karşı bitkiyi hazırlar. Diğer yönden ISR, etilen ve jasmonik asiti aktive eden patojen olmayan mikroorganizmalar tarafından tetiklenir. Jasmonik asit üretimi ayrıca bitkide yaralanmanın göstergesidir ve patojenle ilişkili proteinleri tetikleyebilir. Salisilat üretimi patojenlere karşı etkili kitinaz, glukanaaz gibi enzimlerin ve thaumatinlerin üretimi ile ilişkili iken, jasmonat üretimi peroksidaz, polifenol oksidaz ve lipoksigenaz gibi oksidatif enzimlerin üretimiyle ilişkilidir. Patojen olmayan ve bitki büyümesini teşvik eden, aynı zamanda da böcek patojeni olan *Bacillus* spp., *Curtobacterium* spp., *Pseudomonas* spp. ve *Serratia marcescens* Bizio bakterileri bitkilerde sistemik

dayanıklılığı başlatmaktadır. *Glomus* spp. ve *Piriformospora* spp. gibi arbusküler mikorizal funguslar da uyarılmış dayanıklılığı başlatan etmenlerdendir (Chen et al. 2018; Dara 2019).

Entomopatojen funguslar biyotik ve abiyotik stres koşullarına karşı bitkinin toleransını artırarak uyarılmış dayanıklılığı başlatmaktadır. Hurma ağacı yapraklarına *B. bassiana*, *Lecanicillium dimorphum* (J.D. Chen) Zare & W. Gams ve *L. cf. psalliotae* (Treschew) Zare & W. Gams'nin konidileri enjekte edildiğinde bitki savunma proteinlerinin üretiminin başladığı ve ayrıca entomopatojen inokulasyonunun proteinlerle ilişkili fotosentez ve enerji metabolizmasını da etkilediği görülmüştür (Gómez-Vidal et al. 2009). Karthiba et al. (2010), çeltikte ve Senthilraja et al. (2013) yer fıstığında yaptıkları çalışmalarda *B. bassiana* ile birlikte *Pseudomonas fluorescens* Migula uygulamalarının fotosentez ile ilişkili proteinleri ve diğer savunma enzimlerini arttırdığını tespit etmişler ve bu uygulamalar sonucunda pirinçte polifenol oksidaz ve peroksidazın birikimi ve yer fıstığında fenilalanin amonyum liyaz, peroksidaz, polifenol oksidaz, kitinaz,  $\beta$ -1,3 glukanaaz, superoksit dismutaz, katalaz, lipoksigenaz ve fenoliklerin artışı ile bitkileri zararlılardan ve hastalıklardan korunduğunu ve bitki gelişimi ile verimin arttığını belirtmişlerdir.

Endofitizm, hiçbir hastalık belirtisine neden olmayan bir enfeksiyona benzetilebilir. Endofitler dayanıklılık mekanizmalarını harekete geçirerek bitki patojenlerine karşı koruma sağladıkları gibi, alkaloidler gibi savunma bileşiklerinin üretimini teşvik ederek herbivorlara karşı da bitki direncini artırır. Endofitik funguslar abiyotik stres koşullarına karşı bitkilerin toleransını artırır, tür içi ve türler arası rekabet yeteneklerini geliştirir ve bitkilerin gelişimini teşvik ederler (Carroll 1988; Saikkonen et al. 2004; Pérez et al. 2013). Pineda et al. (2010), endofitik fungusların ve bitki büyümesini teşvik eden kök bakterilerinin zararlı böcek türlerine karşı bazı ürünlerde dayanıklılığı başlattığına dikkat çekmişlerdir. Araştırmacılar yaptıkları çalışmada, toprak mikroorganizmalarının, bitkilerin ve herbivorların çeşitli etkileşimlerini araştırmışlar ve yararlı mikroorganizmaların bulunduğu topraklarda gelişen bitkilerin herbivor zararına karşı artan bir dayanıklılık gösterebildiğini belirlemişlerdir (Pineda et al. 2017). *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. bitkisinin kökleri *B. bassiana* konidi süspansiyonuna daldırıldığında dayanıklılıkla ilişkili genlerin ifadelerinin etkilendiği saptanmıştır. *B. bassiana* inokulasyonu ile jasmonik asit ve salisilik asit konsantrasyonları artmamasına rağmen *S. sclerotiorum*'un neden olduğu hastalığın şiddeti azalmıştır (Raad et al. 2019). Bu çalışmalar entomopatojen fungusların ve diğer yararlı organizmaların, çeşitli stres faktörlerine karşı bitki dayanıklılığını başlattığını ortaya koymuştur.

## Sonuç ve öneriler

Tarımsal üretimde kullanılan pestisitler toprağa, oradan da yüzey ve yeraltı sularına geçerek bu ekosistemlerin kirlenmesine neden olmakta ve bu ekosistemlerde yaşayan canlılar üzerinde toksik etki göstermektedir. Bazı pestisitlerin parçalanma ürünleri daha toksik olabilmekte, ayrıca besin zinciri yoluyla artan konsantrasyonları nedeniyle toksik etkileri de artabilmektedir (Hassaan & El Nemr 2020). Pestisitlerin çevre ve insan sağlığı üzerindeki zararlı etkileri konusunda

kamu bilincinin gelişmesi sonucu bitki koruma ürünlerine alternatif mücadele arayışıyla, çevre dostu biyopreparatların kullanımında artış meydana gelmiştir (Tozlu 2016). Çevreye zararlı olmayan mikroorganizmaların ve metabolitlerinin tarımda kullanılması ekosistemin devamlılığı için gereklidir (Küçük & Güler 2009).

Diğer mücadele yöntemleri ile karşılaştırıldığında biyolojik mücadele; sadece hedef alınan zararlı ile mücadele edilmesi, hedef alınan zararlılarda dayanıklılık sorunu oluşturmaması, doğal dengenin korunması ve insan ile çevre üzerinde olumsuz etkilerinin görülmemesi gibi olumlu etkilere sahiptir. Sürdürülebilir tarımsal üretim, kaliteli ve ilaç kalıntısı olmayan ürün elde edilmesi, biyolojik çeşitliliğin korunması ayrıca, pestisit üreticisi firmaların bu konuya ilgili olması da diğer avantajları arasındadır. Gelişmiş ülkelerde kimyasal ilaçların kullanımı konusunda büyük oranda kısıtlamalar ve yasaklar bulunmaktadır. Hem ABD hem de İngiltere’de, kimyasal maddelerin kullanımını ciddi şekilde kısıtlayan organik tarım sertifikasyon standartları bulunmaktadır (Şentürk & Abacı-Günyar 2019).

Diğer yararlı mikroorganizmalar gibi, entomopatojen fungusların da toprak yapısı ve bitki gelişimi üzerinde olumlu etkileri bulunmaktadır. Şimdiye kadar, entomopatojen fungusların bitkilerle olan ilişkileri daha az bilinirken, günümüzde bu organizmaların entomopatojen rolleri dışında bitki gelişimini, sağlığını ve verimini artırıcı etkilerinin keşfi, bunların tarımda daha yaygın kullanımlarını sağlayacak önemli bir gelişme olmuştur. Özellikle pestisit kullanımının istenmediği tarımsal üretim sistemlerinde mükemmel bir zararlı yönetim aracı olabilir, zararlı yönetimi için kullanıldıklarında, diğer olumlu etkileriyle de bitki gelişimini destekleyebilirler (Dara 2019).

Sadece böceklere veya bitki patojenlerine karşı etkili olan çoğu kimyasal ürünün aksine, hem bitki patojenlerine hem de zararlılarına karşı kullanılabilen biyopestisitlerin geliştirilmesi tarımda büyük bir öneme sahip olacaktır (Ownley et al. 2004).

## Kaynaklar

- Acar E., M. Ateş, R. Baydar, Ö. Güven & G. Karaca, 2015. Possible use of entomopathogenic fungi in the control of plant diseases. 5th Entomopathogens and Microbial Control Congress, 9-11 September 2015, Ankara-Turkey, 92.
- Ahmad I., M. del Mar Jiménez-Gasco, D.S. Luthe, S.N. Shakeel & M.E. Barbercheck, 2020. Endophytic *Metarhizium robertsii* promotes maize growth, suppresses insect growth, and alters plant defense gene expression. *Biological Control*, 104:167.
- Askary H., Y. Carriere, R.R. Belanger & J. Brodeur, 1998. Pathogenicity of the fungus *Verticillium lecanii* to aphids and powdery mildew. *Biocontrol Science and Technology*, 8 (1): 23-32.
- Askary H. & H. Yarmand, 2007. Development of the entomopathogenic hyphomycete *Lecanicillium muscarium* (Hyphomycetes: Moniliales) on various hosts. *European Journal of Entomology*, 104 (1): 67.
- Ateş M., E. Acar, Y. İstekli, Ö. Güven & G. Karaca, 2015. Effects of entomopathogenic fungi on tomato defense against root rot (Turkey). 5th Entomopathogens and Microbial Control Congress, 09-11 September 2015, Ankara-Turkey, 93.
- Augé R.M., 2001. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza*, 11 (1): 3-42.

- Bamisile B.S., C.K. Dash, K.S. Akutse, R. Keppanan & L. Wang, 2018. Fungal endophytes: beyond herbivore management. *Frontiers in microbiology*, 9: 544.
- Baron, N.C., E.C. Rigobelo, & D.C. Zied, 2019. Filamentous fungi in biological control: current status and future perspectives. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 79 (2), 307-315.
- Barra-Bucarei L., A. France & P. Millas, 2019. Crossing frontiers: Endophytic entomopathogenic fungi for biological control of plant diseases. In: Endophytes for a Growing World, Eds. T.R. Hodkinson, F.M. Doohan, M.J. Saunders, B.R. Murphy, Cambridge University Press, pp. 67-93.
- Behie S.W., P.M. Zelisko & M.J. Bidochka, 2012. Endophytic insect-parasitic fungi translocate nitrogen directly from insects to plants. *Science*, 336 (6088): 1576-1577.
- Behie S.W. & M. J. Bidochka, 2014. Ubiquity of insect-derived nitrogen transfer to plants by endophytic insect-pathogenic fungi: an additional branch of the soil nitrogen cycle. *Appl. Environ. Microbiol*, 80 (5): 1553-1560.
- Behie S.W., C.C. Moreira, I. Sementchoukova, L. Barelli, P.M. Zelisko & M.J. Bidochka, 2017. Carbon translocation from a plant to an insect pathogenic endophytic fungus. *Nature Communications*, 8 (1): 1-5.
- Benhamou N. & J. Brodeur, 2001. Pre-inoculation of Ri T-DNA transformed cucumber roots with the mycoparasite, *Verticillium lecanii*, induces host defense reactions against *Pythium ultimum* infection. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 58 (3): 133-146.
- Canassa F., S. Tall, R.A. Moral, I.A. de Lara, I. Delalibera Jr. & N.V. Meyling, 2019. Effects of bean seed treatment by the entomopathogenic fungi *Metarhizium robertsii* and *Beauveria bassiana* on plant growth, spider mite populations and behavior of predatory mites. *Biological Control*, 132: 199-208.
- Carroll G., 1988. Fungal endophytes in stems and leaves: from latent pathogen to mutualistic symbiont. *Ecology*, 69 (1), 2-9.
- Chen M., M. Arato, L. Borghi, E. Nouri & D. Reinhardt, 2018. Beneficial services of arbuscular mycorrhizal fungi—from ecology to application. *Frontiers in plant science*, 9: 1270.
- Choudhary D.K., A. Prakash & B.N. Johri, 2007. Induced systemic resistance (ISR) in plants: mechanism of action. *Indian Journal of Microbiology*, 47 (4): 289-297.
- Dara S.K., 2013. Entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* promotes strawberry plant growth and health. *E-Journal of Entomology and Biologicals*, <https://ucanr.edu/blogs/blogcore/postdetail.cfm?postnum=11624>
- Dara, S.K. & D. Peck, 2016. Impact of Entomopathogenic Fungi and Beneficial Microbes on Strawberry Growth, Health and Yield. *E-Journal of Entomology and Biologicals*, <https://ucanr.edu/blogs/blogcore/postdetail.cfm?postnum=22709>
- Dara S.K., S.S. Dara, S.S.R. Dara & T. Anderson, 2016. First report of three entomopathogenic fungi offering protection against the plant pathogen, *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum*. *E-Journal of Entomology and Biologicals*, <https://ucanr.edu/blogs/blogcore/postdetail.cfm?postnum=22199>
- Dara S.K., 2019. Non-Entomopathogenic roles of entomopathogenic fungi in promoting plant health and growth. *Insects*, 10 (9): 277.
- Dash C.K., B.S. Bamisile, R. Keppanan, M. Qasim, Y. Lin, S.U. Islam & L. Wang, 2018. Endophytic entomopathogenic fungi enhance the growth of *Phaseolus vulgaris* L. (Fabaceae) and negatively affect the development and reproduction of *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). *Microbial Pathogenesis*, 125: 385-392.
- Gómez-Vidal S., J. Salinas, M. Tena & L.V. Lopez-Llorca, 2009. Proteomic analysis of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) responses to endophytic colonization by entomopathogenic fungi. *Electrophoresis*, 30 (17): 2996-3005.

- Hassaan, M.A. & A. El Nembr, 2020. Pesticides pollution: Classifications, human health impact, extraction and treatment techniques. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 46: 207-220.
- Jaber L.R. & N.M. Salem, 2014. Endophytic colonization of squash by the fungal entomopathogen *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales) for managing Zucchini yellow mosaic virus in cucurbits. *Biocontrol Science and Technology*, 24 (10): 1096-1109.
- Jaber L.R., 2015. Grapevine leaf tissue colonization by the fungal entomopathogen *Beauveria bassiana*. L. and its effect against downy mildew. *BioControl*, 60 (1): 103-112.
- Jaber L.R. & J. Enkerli, 2016. Effect of seed treatment duration on growth and colonization of *Vicia faba* by endophytic *Beauveria bassiana* and *Metarhizium brunneum*. *Biological Control*, 103: 187-195.
- Kang B.R., J.H. Han, J.J. Kim. & Y.C. Kim, 2018. Dual biocontrol potential of the entomopathogenic fungus, *Isaria javanica*, for both aphids and plant fungal pathogens. *Mycobiology*, 46 (4): 440-447.
- Karthiba L., K. Saveetha, S. Suresh, T. Raguchander, D. Saravanakumar & R. Samiyappan, 2010. PGPR and entomopathogenic fungus bioformulation for the synchronous management of leafhopper pest and sheath blight disease of rice. *Pest Management Science: formerly Pesticide Science*, 66 (5): 555-564.
- Koike M., T. Higashio, A. Komori, K. Akiyama, N. Kishimoto, E. Masuda & M. Sugimoto, 2004. *Verticillium lecanii* (*Lecanicillium* spp.) as epiphyte and its application to biological control of arthropod pests and diseases. *IOBC/WPRS Bulletin*, 27 (8): 41-44.
- Krell V., S. Unger, D. Jakobs-Schoenwandt & A.V. Patel, 2018. Endophytic *Metarhizium brunneum* mitigates nutrient deficits in potato and improves plant productivity and vitality. *Fungal Ecology*, 34: 43-49.
- Küçük Ç. & İ. Güler, 2009. Bitki Gelişimini Teşvik Eden Bazı Biyokontrol Mikroorganizmalar. *Elektronik Mikrobiyoloji Dergisi TR (Eski adı: OrLab On-Line Mikrobiyoloji Dergisi)*, 7 (1): 30-42.
- Lee Y.S., J.H. Han, B.R. Kang & Y.C. Kim, 2019. Dibutyl succinate, produced by an insect pathogenic fungus, *Isaria javanica* pf185, is a metabolite that controls of aphids and a fungal disease, anthracnose. *Pest Management Science*, 75 (3): 852-858.
- Lopez D.C. & G.A. Sword, 2015. The endophytic fungal entomopathogens *Beauveria bassiana* and *Purpureocillium lilacinum* enhance the growth of cultivated cotton (*Gossypium hirsutum*) and negatively affect survival of the cotton bollworm (*Helicoverpa zea*). *Biological Control*, 89: 53-60.
- Mantzoukas S., J. Lagogiannis, D. Mpousia, A. Ntoulas, K. Karmakolia, P.A. Eliopoulos & K. Poulas, 2021. *Beauveria bassiana* endophytic strain as plant growth promoter: The case of the grape vine *Vitis vinifera*. *Journal of Fungi*, 7: 142.
- Moloinyane S. & F. Nchu, 2019. The Effects of endophytic *Beauveria bassiana* inoculation on infestation level of *Planococcus ficus*, growth and volatile constituents of potted greenhouse grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Toxins*, 11 (2): 72.
- Ownley B.H., R.M. Pereira, W.E. Klingeman, N.B. Quigley & B.M. Leckie, 2004. *Beauveria bassiana*, a dual purpose biocontrol organism, with activity against insect pests and plant pathogens. *Emerging Concepts in Plant Health Management. Research Signpost*. (pp. 255-269).
- Ownley B.H., M.R. Griffin, W.E. Klingeman, K.D. Gwinn, J.K. Moulton & R.M. Pereira, 2008. *Beauveria bassiana*: endophytic colonization and plant disease control. *Journal of Invertebrate Pathology*, 98 (3): 267-270.
- Ownley B.H., K.D. Gwinn & F.E. Vega, 2010. Endophytic fungal entomopathogens with activity against plant pathogens: ecology and evolution. *BioControl*, 55 (1): 113-128.

- Pérez L.I., P.E. Gundel, C.M. Ghersa & M. Omacini, 2013. Family issues: fungal endophyte protects host grass from the closely related pathogen *Claviceps purpurea*. *Fungal Ecology*, 6 (5): 379-386.
- Picardal J.P., E.D. Tundag, M.T. Picardal & G. Goc-ong, 2019. Antagonistic Activity of *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Against Phytopathogenic *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Schlecht.) as a Biological Control. *CNU Journal of Higher Education*, 13 (1): 25-33.
- Pineda A., S.J. Zheng, J.J. Van Loon, C.M. Pieterse & M. Dicke, 2010. Helping plants to deal with insects: the role of beneficial soil-borne microbes. *Trends in Plant Science*, 15 (9): 507-514.
- Pineda A., I. Kaplan & T.M. Bezemer, 2017. Steering soil microbiomes to suppress aboveground insect pests. *Trends in Plant Science*, 22 (9): 770-778.
- Raad M., T.R. Glare, H.L. Brochero, C. Müller & M. Rostás, 2019. Transcriptional reprogramming of *Arabidopsis thaliana* defence pathways by the entomopathogen *Beauveria bassiana* correlates with resistance against a fungal pathogen but not against insects. *Frontiers in Microbiology*, 10: 615.
- Raya-Díaz S., A.R. Sanchez-Rodriguez, J.M. Segura-Fernández, M.D.C. del Campillo & E. Quesada-Moraga, 2017. Entomopathogenic fungi-based mechanisms for improved Fe nutrition in sorghum plants grown on calcareous substrates. *PloSone*, 12 (10).
- Rivas-Franco, F., J.G. Hampton, M.E. Morán-Diez, J. Narciso, M. Rostás, P. Wessman & T.R. Glare, 2019. Effect of coating maize seed with entomopathogenic fungi on plant growth and resistance against *Fusarium graminearum* and *Costelytra giveni*. *Biocontrol Science and Technology*, 29 (9): 877-900.
- Russo M.L., S.A. Pelizza, M.F. Vianna, N. Allegrucci, M.N. Cabello, A.V. Toledo & A.C. Scorsetti, 2019. Effect of endophytic entomopathogenic fungi on soybean *Glycine max* (L.) Merr. growth and yield. *Journal of King Saud University-Science*, 31 (4): 728-736.
- Sasan R.K. & M.J. Bidochka, 2013. Antagonism of the endophytic insect pathogenic fungus *Metarhizium robertsii* against the bean plant pathogen *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli*. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 35 (3): 288-293.
- Saikkonen K., P. Wäli, M. Helander & S. H. Faeth, 2004. Evolution of endophyte-plant symbioses. *Trends in Plant Science*, 9 (6): 275-280.
- Senthilraja G., T. Anand, J.S. Kennedy, T. Raguchander & R. Samiyappan, 2013. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and entomopathogenic fungus bioformulation enhance the expression of defense enzymes and pathogenesis-related proteins in groundnut plants against leafminer insect and collar rot pathogen. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 82: 10-19.
- Sharma P., 2011. Complexity of *Trichoderma-Fusarium* interaction and manifestation of biological control. *Australian Journal of Crop Science*, 5 (8): 1027.
- Sheroze A., A. Rashid, A.S. Shakir & S.M. Khan, 2003. Effect of bio-control agents on leaf rust of wheat and influence of different temperature and humidity levels on their colony growth. *International Journal of Agriculture & Biology*, 5 (1): 83-85.
- Şentürk Ş. & O. Abacı-Günyar, 2019. Fungal Biyokontrol Ajanları ve Metabolitleri. *Mantar Dergisi*, 10 (1): 70-83.
- Tall S. & N.V. Meyling, 2018. Probiotics for plants? Growth promotion by the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* depends on nutrient availability. *Microbial Ecology*, 76 (4): 1002-1008.
- Tozlu E., 2016. Bazı bakteriyel biyokontrol ajanlar ile havuç acı çürüklük hastalığı (*Geotrichum candidum* Link)'nin biyolojik mücadelesi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 47 (1): 1-9.

Vandermeer J., I. Perfecto & H. Liere, 2009. Evidence for hyperparasitism of coffee rust (*Hemileia vastatrix*) by the entomogenous fungus, *Lecanicillium lecanii*, through a complex ecological web. *Plant Pathology*, 58 (4): 636-641.