

Bazı Yerel Entomopatojen Fungusların Toprak Koşullarındaki Etkinliklerinin *Tenebrio molitor* L. (Col.: Tenebrionidae) Larvaları Kullanılarak Araştırılması

Yeşim KESKİN¹ Salih KARABÖRKLÜ^{2*}, Nedim ALTIN²

¹Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitki Koruma Anabilim Dalı, Düzce, TÜRKİYE

²Düzce Üniversitesi, Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Düzce, TÜRKİYE

MAKALE BİLGİSİ / ARTICLE INFO

Geliş Tarihi / Received: 05.06.2018

Kabul Tarihi / Accepted: 14.01.2019

Anahtar Kelimeler:
Beauveria bassiana
Metarhizium anisopliae
Mortalite
Un kurdu
Toprak uygulaması

ÖZET

Birçok entomopatojen fungus türü ticari olarak üretilmekte ve zararlı böceklerin mücadelesinde başarıyla kullanılmaktadır. Yapılan bu çalışmada, Düzce ilinden elde edilen bazı yerel *Beauveria bassiana* ve *Metarhizium anisopliae* izolatları kullanılmış ve bu izolatların toprak koşullarındaki etkinlikleri un kurdu, *Tenebrio molitor* larvaları kullanılarak araştırılmıştır. İzolatlar çoğunlukla ormanlık ve tarım alanlarından elde edilmiştir. Toplam 12 izolat toprağa 1×10^7 konidi ml^{-1} yoğunlukta uygulanmıştır. Uygulama sonrası topraklar kavanozlara alınmış ve her bir kavanoza 10 adet *T. molitor* larvası konularak 7 gün süreyle takip edilmiştir. Her bir izolat ve kontrol grubu için denemeler üç tekrar halinde gerçekleştirilmiştir. İzolatların toprak koşullarında *T. molitor* larvalarına karşı oldukça etkili oldukları görülmüştür. *B. bassiana* YK14, *M. anisopliae* YK38 ve YK45 izolatları *T. molitor* larvalarının tamamını 7 gün içerisinde öldürmüştür. Diğer izolatların etkinlikleri ise %20 ile %93.33 arasında değişiklik göstermiştir. Etkili yerel *B. bassiana* ve *M. anisopliae* izolatlarının toprak altı zararlılarla mücadelede kullanılabileceğine yönelik bulgular ortaya çıkmıştır.

Efficiency of Some Native Entomopathogenic Fungi against *Tenebrio molitor* L. (Col.: Tenebrionidae) Larvae in Soil Condition

ABSTRACT

Many entomopathogenic fungi have been commercially produced and successfully used to control pest insects. In this study, some *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* isolates were obtained from Duzce province and the efficiency of these isolates investigated against the larvae of mealworm beetle, *Tenebrio molitor* in soil condition. Isolates are mostly obtained from forest and agricultural fields. A total of 12 isolates were applied to the soil at 1×10^7 conidia ml^{-1} concentration. After the application, the soil was taken into the jars and 10 *T. molitor* larvae were added for 7 days. Trials were performed as three replicates for each isolate and control group. It has been found that isolates are highly effective against *T. molitor* larvae. *B. bassiana* YK14, *M. anisopliae* YK38 and YK45 isolates caused 100% mortality against *T. molitor* larvae after the application of 7 days. The efficiency of other isolates varied between 20% and 93.33%. Results showed that the effective native *B. bassiana* and *M. anisopliae* isolates can be used for the control of soil-inhabiting pest insects.

Keywords:
Beauveria bassiana
Metarhizium anisopliae
Mortality
Mealworm beetle
Soil application

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: salihkaraborklu@duzce.edu.tr

1. Giriş

Dünya nüfusunun artması nedeniyle ihtiyaç duyulan besin miktarı da artmaktadır. Bu nedenle tarımsal ürünlerden yüksek verim elde etmek için etkili üretim yöntemlerinin geliştirilmesi ve üretilen ürünün zararlılardan korunması oldukça önem arz etmektedir (Schöller ve ark., 1997; Azizoglu ve ark., 2011). Zararlılarla mücadelede kimyasal ilaç kullanımı 60 yılı aşkın bir süredir devam etmektedir (Jackson ve Jaronski, 2009). Yaygın kimyasal ilaç kullanımı insan sağlığı, gıda güvenliği ve çevre üzerinde olumsuz etkiler oluşturmaktadır (Moore ve Prior, 1993; Arthur, 1996; Zettler ve Arthur, 2000; Ayvaz ve ark., 2008).

Ekonomik, sosyal ve çevresel kaygılar nedeniyle kimyasal mücadeleye alternatif biyolojik temelli mücadele yöntemlerine olan ilgi artmıştır. Mikrobiyal mücadele, zararlılarla biyolojik mücadelede sıklıkla kullanılan mücadele yöntemidir (Lacey ve Goettel, 1995). Fungal entomopatojenler etkili mikrobiyal mücadele etmenleri arasında yer almaktadır. Birçok fungal entomopatojen ticari olarak üretilmekte ve zararlı böceklerin mücadelesinde başarıyla kullanılmaktadır. Entomopatojenik funguslar mikrobiyal mücadele etmeni olarak 100 yılı aşkın bir süredir kullanılmaktadır (Sevim ve ark., 2015). Şimdiye kadar, yaklaşık 90 cinse ait 700 entomopatojenik fungus türü tanımlanmıştır. *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Isaria fumosorosea* (= *Paecilomyces fumosoroseus*) ve *Lecanicillium lecanii* (= *Verticillium lecanii*) gibi bazı türler ise birçok ülkede pek çok zararlıyla mücadelede ticari olarak üretilerek kullanılmaktadır (Rath, 2000; Meyling ve ark., 2018). Entomopatojen funguslar, memeliler üzerinde zehirleyici etki göstermeme, böceklerde direnç oluşturmama, çevrede uzun süre kalabilme, konukçunun değişik evrelerini enfekte etme ve kitle üretimlerinin yapılabilmesi gibi avantajlara sahiptir. Buna karşın kimyasal insektisitlere oranla daha geç öldürme, yüksek nem ihtiyacı, fungusitlerle birlikte kullanılamama, üretimi ve muhafazasının pahalı olması gibi dezavantajlara da sahiptir (Sevim ve ark., 2015).

Entomopatojen funguslar böcekleri genellikle deri, trake ve yaralanmış vücut bölgelerinden enfekte etmektedir. Entomopatojen funguslar ayrıca sindirim sistemi ve diğer açıklıklar yoluyla da enfeksiyon gerçekleştirebilmektedir. Entomopatojen fungus ilk olarak enfektif bir spor üretir ve üretilen spor böcek kütikulasına nüfuz eder. Burada çimlenir, germ tüpü ve appressorium oluşturur. Daha sonra böceğin hemoseline ulaşır, burada yayılır ve toksin üreterek böceği öldürür. Uygun koşullar altında böceğin ölümünden sonra fungus konukçudan dışarı doğru sporlaşmaya başlar (Goettel ve ark., 2005; Shah ve Pell, 2003; Karabörklü ve ark., 2018; Batta ve Kavallieratos, 2018).

Bu çalışma, Düzce ilinden elde edilen bazı *Beauveria bassiana* ve *Metarhizium anisopliae* izolatlarının topraktaki etkinliklerinin un kurdu, *Tenebrio molitor* larvaları üzerinde test edilmesi amacıyla yapılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Böcek kültürü

Entomopatojen fungusların topraktaki etkinliklerinin belirlenmesinde kullanılmak üzere *Tenebrio molitor* larvaları kültüre alınmıştır. Un kurdu erginleri Biyolojik Mücadele Araştırma Laboratuvarı'ndan (Düzce Üniversitesi, Biyoloji Bölümü) temin edilmiştir. Larvalar içerisinde buğday unu, mısır unu ve maya bulunan (sırasıyla, 75g + 20g +5g) plastik küvetlerde (48 x 33 x 8cm ebatlarında) kültüre alınmıştır. Besi yerlerinin üzerine larvaların nem ihtiyacının karşılanması amacıyla nemlendirilmiş karton yumurta viyolü konulmuştur. Böcek kültürleri laboratuvar ortamında 25°C de % 60±5 nemde ve 14: 10 (aydınlık/karanlık) saatlik fotoperiyotta tutulmuştur.

2.2. Entomopatojen fungus izolasyonu

Düzce ilinin farklı ekolojik özelliklere sahip lokasyonlarından 54 toprak örneği alınmıştır. Toprak katmanının üst yüzeyi hafifçe sıyrılmış ve 25 cm derinliğe kadar olan toprak katmanından örnekleme yapılmıştır. Topraklar laboratuvarında plastik kaplara alınmış ve topraklar içerisine 5 adet 15. dönem *T. molitor* larvası atılmıştır. Topraklar 15 gün süreyle günlük olarak kontrol edilmiş, ölen larvalar içerisinde nemli filtre kağıdı bulunan plastik petrilere alınmış ve fungal gelişim takip edilmiştir. Ölü larvalardan alınan fungus sporları PDA (patates dextroz agar) besi ortamına ekilmiştir. Besi ortamı hazırlanmasında 1 L suya 40 gr PDA ilave edilmiş ve iyice çözünmesi sağlanmıştır. Daha sonra çözelti 121°C sıcaklıkta 20 dakika süreyle otoklavda steril edilmiştir. Steril edildikten sonra antibiyotik (rifampisin ve ampisilin) eklenmiş ve besi yerleri steril kabinde steril petri kaplarına dökülmüştür. Besi ortamında gelişen spordan tekrar ekim yapılmış ve izolatlar saflaştırılmıştır. Toplam 45 adet entomopatojen fungus izole

edilmiştir. Bu izolatların ön patojenisite testleri petri ortamında *T. molitor* larvaları üzerinde gerçekleştirilmiştir. Yüksek etki gösteren 12 izolat (7 tanesi *Beauveria bassiana*, 5 tanesi ise *Metarhizium anisopliae*) topraktaki etkinliklerinin belirlenmesi amacıyla seçilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. İzolatların elde edildiği alanlar ve özellikleri

Sayı	Lokasyon	Habitat	Rakım (m)	İzolat
1	Akçaören köyü Yığılca	Ormanlık	420	<i>Beauveria bassiana</i> YK4
2	Güney köyü Yığılca	Ormanlık	340	<i>Beauveria bassiana</i> YK11, 13, 14
3	Çilimli Merkez	Kavaklık	156	<i>Beauveria bassiana</i> YK16
4	Uğurlu köyü Akçakoca	Fındık Bahçesi	19	<i>Beauveria bassiana</i> YK 23
5	Bakacak köyü Kaynaşlı	Ormanlık	797	<i>Beauveria bassiana</i> YK26
6	Efteni gölü Gölyaka	Mera	126	<i>Metarhizium anisopliae</i> YK38
7	Hasanlar köyü Düzce	Ceviz Bahçesi	211	<i>Metarhizium anisopliae</i> YK41, 43, 44
8	İğneler köyü Yığılca	Mısır Tarlası	286	<i>Metarhizium anisopliae</i> YK45

2.3. Spor süspansiyonlarının hazırlanması

Saf kültürlerden alınan sporlar yeni hazırlanan PDA besi ortamına ekilmiştir. İzolatların gelişimleri inkübatörde oda sıcaklığında 10-15 gün süreyle takip edilmiştir. İzolatlara ait sporlar besi ortamından kazanarak alınmış ve her bir izolat için spor süspansiyonu hazırlanmıştır. İzolatlardan alınan konidiosporlar içerisinde 10 ml distile steril su bulunan beherlere alınmıştır. Sporların homojen dağılımının sağlanması amacıyla beherlere % 0.03 oranında Tween 80 ilave edilmiştir. Hazırlanan süspansiyonlardan alınan örnekler mikroskop altında Thoma lamı yardımıyla sayılmış ve her bir izolat için spor yoğunluğu 1×10^7 konidi ml^{-1} olarak ayarlanmıştır.

2.4. İzolatların etkinliklerinin belirlenmesi

İzolatların topraktaki etkinliğinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmada araziden toprak örnekleri alınmış ve solucan gübresiyle (2/1 oranında) karıştırılmıştır. Karıştırılan toprak örnekleri 650 ml'lik cam kavanozlara 2/3 oranında (~400g) konulmuştur. Kavanozlar daha sonra 121°C sıcaklıkta 20 dakika süreyle otoklavda steril edilmiştir. Her bir izolat için 10 ml distile suda 1×10^7 konidi ml^{-1} yoğunlukta ayarlanan süspansiyonlar topraklara uygulanmıştır. Uygulama işlemi sırasında topraklar iyice karıştırılmıştır. 14. dönem *T. molitor* larvalarından 10'ar adet alınarak kavanozlara konulmuş ve kavanozlar bulaşma sağlanması amacıyla ters çevrilmiştir. Denemeler 7 gün süreyle takip edilmiş ve ölen larvalar kaydedilmiştir. 7. günün sonunda her bir izolatın öldürme etkinliği belirlenmiştir. Kontrol grubu için aynı işlemler uygulanmış ve topraklara yalnızca Tween 80 + distile su karışımı uygulanmıştır. Bütün gruplar için denemeler üç tekrar halinde yürütülmüştür. Denemeler 25°C de % 60 ± 5 nemde ve 14: 10 saatlik fotoperiyotta iklim odasında gerçekleştirilmiştir.

2.5. Verilerin değerlendirilmesi ve analizi

Larvalarda görülen ölüm oranları (%) her bir izolat için hesaplanmıştır. İzolatların etkinliklerinin karşılaştırılmasında Mstat-C istatistiki analiz yöntemi kullanılarak varyans analizi yapılmıştır. Ortalamalar %1'lik güven aralığında Duncan testi kullanılarak karşılaştırılmıştır.

3. Bulgular

3.1. İzolat yayılış alanları

Beauveria bassiana ve *Metarhizium anisopliae* türlerine ait izolatlar oldukça farklı habitatlardan elde edilmiştir. *B. Bassiana* izolatları ormanlık, ağaçlık ve tarım arazilerinden elde edilmişken, *M. anisopliae* izolatları ise tarım arazileri ve meradan elde edilmiştir. Deniz seviyesine yakın alanlardan (19 m) yüksek dağlık bölgelere (797 m) kadar birçok yükseltide entomopatojen fungus elde edilmiştir. *M. anisopliae* izolatları 126-286 m arasında değişen rakımlara sahip bölgelerden, *B. bassiana* izolatları ise 19-797 m arasında değişen rakımlara sahip bölgelerden izole edilmiştir.

3.2. Entomopatojen fungusların etkinliği

Elde edilen entomopatojen fungus izolatlarının topraktaki etkinlikleri un kurdu, *Tenebrio molitor* 14. dönem larvalarında test edildiğinde izolatların larvalar üzerinde oldukça etkili olduğu görülmüştür (Tablo 2). İzolatlar kontrol grubuyla karşılaştırıldığında önemli düzeyde öldürücü etki göstermiştir ($P \leq 0.01$). Larvalarda görülen ölüm oranları %20 ile %100 arasında değişiklik göstermiştir. *B. bassiana* YK14, *M. anisopliae* YK38 ve YK45 izolatları 7. günün sonunda *T. molitor* larvalarının tamamını (%100) öldürmüştür ($P \leq 0.01$). Bu izolatları ise %93.33 öldürme oranıyla *B. bassiana* YK23, *M. anisopliae* YK41, YK43 ve YK44 izolatları takip etmiştir ($P \leq 0.01$). *B. bassiana* YK11 ve YK16 izolatları %80, YK26 izolatı ise % 90 oranında öldürücü etki göstermiştir ($P \leq 0.01$). En düşük öldürme oranı ise %20 ile *B. bassiana* YK4 ve YK13 izolatlarında görülmüştür ($P \leq 0.01$) (Tablo 2).

Tablo 2. *Beauveria bassiana* ve *Metarhizium anisopliae* izolatlarının *Tenebrio molitor* larvalarına karşı topraktaki etkinliği

İzolat	Ölüm Oranı (%) (Ortalama \pm SS)
Kontrol	03.33 \pm 05.77 ^f
<i>Beauveria bassiana</i> YK4	20.00 \pm 10.00 ^e
<i>Beauveria bassiana</i> YK11	80.00 \pm 00.00 ^d
<i>Beauveria bassiana</i> YK13	20.00 \pm 10.00 ^e
<i>Beauveria bassiana</i> YK14	100.00 \pm 00.00 ^a
<i>Beauveria bassiana</i> YK16	80.00 \pm 10.00 ^d
<i>Beauveria bassiana</i> YK23	93.33 \pm 11.55 ^b
<i>Beauveria bassiana</i> YK26	90.00 \pm 10.00 ^e
<i>Metarhizium anisopliae</i> YK38	100.00 \pm 00.00 ^a
<i>Metarhizium anisopliae</i> YK41	93.33 \pm 05.77 ^b
<i>Metarhizium anisopliae</i> YK43	93.33 \pm 11.55 ^b
<i>Metarhizium anisopliae</i> YK44	93.33 \pm 05.77 ^b
<i>Metarhizium anisopliae</i> YK45	100.00 \pm 00.00 ^a
LSD (%)	1.728*
CV (%)	1.024

LSD (%): *%1; SS: Standart sapma

4. Tartışma

Etkinlikleri test edilen entomopatojen fungus izolatlarının dağılımları incelendiğinde izolatların oldukça farklı habitatlarda yayılış gösterdikleri görülmüştür. İzolatlar çoğunlukla ormanlık ve tarım alanlarından elde edilmiştir. *Metarhizium* ve *Beauveria* türlerinin karasal habitatlar içerisinde ormanlık ve tarım arazilerde yoğun olarak buldukları bildirilmiştir (Sanchez-Pena ve ark., 2011). *B. bassiana* izolatları daha geniş bir yükselti aralığından izole edilmişken, *M. anisopliae* izolatları daha dar bir yükselti aralığından izole edilmiştir. *Metarhizium* ve *Beauveria* türleri ile yapılan ekolojik çalışmalar bu fungusların bulunma oranları ve dağılımlarının toprak faktörlerine (pH, Organik madde içeriği ve toprak yapısı) ve coğrafik konuma (Enlem, boylam ve yükselti) göre değişiklik gösterdiğini ortaya koymuştur (Quesada-Moraga ve ark., 2007). Elde edilen izolatlardan *B. bassiana* izolatları çoğunlukla ormanlık arazilerinden elde edilmişken *M. anisopliae* izolatları ise çoğunlukla tarım arazilerinden elde edilmiştir. Benzer şekilde *B. bassiana* türünün çoğunlukla ormanlık alanlarda, *M. anisopliae* türünün ise çoğunlukla tarım alanlarında yayılış gösterdiği Sanchez-Pena ve ark. (2011) tarafından belirtilmiştir. Bununla birlikte *B. bassiana* türünün doğal ve ekimi yapılan topraklarda eşit düzeyde dağılım gösterdiği, *M. anisopliae* türünün ise ekimi yapılan alanlarda daha yaygın olduğu da rapor edilmiştir (Quesada-Moraga ve ark., 2007).

Elde edilen entomopatojen fungus izolatlarının toprak ortamında un kurdu (*T. molitor*) larvaları üzerinde oldukça etkili oldukları görülmüştür. *B. bassiana* YK14, *M. anisopliae* YK38 ve YK45 izolatları toprağa püskürtme yöntemiyle (1×10^7 konidi ml^{-1} dozda) uygulandığında *T. molitor* larvalarının tamamının 7 gün içerisinde öldüğü görülmüştür. Batta ve ark. (2010) tarafından yapılan çalışmada *B. bassiana* strain BG1 ırkı püskürtme yöntemiyle (1×10^8 konidi ml^{-1} dozda) *T. molitor* larvalarına karşı doğrudan uygulanmış ve 7 gün süreyle takip edilmiştir. Uygulama sonucunda larvalardaki ölüm oranı % 40 olarak rapor edilmiştir. Bununla birlikte aynı araştırmacılar aynı etmeni özel bir formülasyon şeklinde uyguladıklarında ise ölüm oranının %96.6'ya yükseldiği görülmüştür (Batta ve ark., 2010; Batta ve

Kavallieratos, 2018). Sonuçlar karşılaştırıldığında çalışmamızda kullanılan izolatların daha düşük dozda kullanılmasına karşın oldukça iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

Yaptığımız çalışmada kullanılan diğer izolatların etkinlikleri ise 7. günün sonunda %20 ile %93.33 arasında değişiklik göstermiştir. Rohde ve ark. (2006) *B. bassiana* uygulamasından 10 gün sonra *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae) larvalarındaki ölüm oranının izolatlara göre 7–100% arasında değişiklik gösterdiğini rapor etmiştir. Rapor edilen diğer bir çalışmada ise *B. bassiana* 22292A izolatının etkinliği üç farklı besin ortamında pirinç biti, *Sitophilus oryzae* (L.) (Col.: Curculionidae), ekin kambur biti, *Rhyzopertha dominica* (F.) (Col.: Bostrichidae) ve un biti, *Tribolium castaneum* (Herbst) (Col.: Tenebrionidae) üzerinde test edilmiştir. Uygulamadan 21 gün sonra erginlerdeki ölüm oranlarının her üç böcek türü ve besi ortamı için %80 ile %100 arasında değişiklik gösterdiği belirlenmiştir (Rice ve Cogburn, 1999; Batta ve Kavallieratos, 2018). *Metarhizium* sp. izolatları (CEP413, CEP589, CEP590 ve CEP591) ile *T. molitor* larvalarına karşı yapılan çalışmada ise sporlar (1×10^6 konidi ml^{-1}) filtre kâğıtlarına emdirilerek uygulanmıştır. Yapılan bu çalışmada 6. gün sonunda en yüksek ölüm oranı %94 olarak kaydedilmiştir (Sammaritano ve ark., 2017).

5. Sonuç

Düzce ilinin farklı ekolojik özelliklere sahip bölgelerinden izole edilen *Beauveria bassiana* ve *Metarhizium anisopliae* izolatları püskürtme yöntemi ile toprağa uygulanmış ve *Tenebrio molitor* larvalarına karşı topraktaki etkinlikleri araştırılmıştır. Yapılan araştırma sonucu yüksek etki gösteren izolatların olduğu görülmüştür. Bu izolatların tarımsal zarara neden olan ve toprak ortamında yaşayan böceklerle karşı mücadelede kullanılabileceğine yönelik bulgular ortaya çıkmıştır. Ancak, bu izolatların toprak altı tarımsal zararlılara karşı kullanımına ve formülasyon çalışmalarına yönelik detaylı araştırmaların yürütülmesi gerekmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje no: 2017.11.02.651). Yazarlar, böcek kültürü temini için Dr. Öğr. Üyesi Barış Gülcü'ye ayrıca teşekkür etmektedir.

Kaynaklar

- Arthur, F.H., 1996. Grain protectants: current status and prospects for the future. *Journal of Stored Products Research*, 32: 293-302.
- Ayvaz, A., Albayrak, S., Karaborklu, S., 2008. Gamma radiation sensitivity of the eggs, larvae and pupae of Indian meal moth *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae). *Pest Management Science*, 64: 505–512.
- Azizoglu, U., Yilmaz, S., Karaborklu, S., Ayvaz A., 2011. Ovicidal activity of microwave and UV radiations on mediterranean flour moth *Ephestia kuehniella* Zeller, 1879 (Lepidoptera: Pyralidae). *Türkiye Entomoloji Dergisi-Turkish Journal of Entomology*, 35: 437-446.
- Batta, Y., Murdoch, G., Mansfield, S., 2010. Investigations into the formulation and application of entomopathogenic fungi against larvae of yellow meal worm (*Tenebrio molitor* L., Coleoptera: Tenebrionidae). *General and Applied Entomology*, 39: 5–8.
- Batta, Y.A., Kavallieratos, N.G., 2018. The use of entomopathogenic fungi for the control of stored-grain insects. *International Journal of Pest Management*, 64(1): 77-87.
- Goettel, M.S., Eilenberg, J., Glare, T., 2005. Entomopathogenic fungi and their role in regulation of insect populations (Ed: L.I. Gilbert, K. Iatrou, S.S. Gill), *Comprehensive Molecular Insect Science*, Elsevier, Amsterdam, pp. 361-405.
- Jackson, M.A., Jaronski, S.T., 2009. Production of microsclerotia of the fungal entomopathogen *Metarhizium anisopliae* and their potential for use as a biocontrol agent for soil-inhabiting insects. *Mycological Research*, 113: 842-850.
- Karabörklü, S., Azizoglu, U., Azizoglu, Z.B., 2018. Recombinant entomopathogenic agents: a review of biotechnological approaches to pest insect control. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 34(1): Article 14.
- Lacey, L.A., Goettel M.S., 1995. Current developments in microbial control of insect pests and prospects for the early 21st century. *Entomophaga*, 40: 3-27.

- Meyling, N.V., Arthur, S., Pedersen, K.E., Dhakal, S., Cedergreen, N., Fredensborg, B.L., 2018. Implications of sequence and timing of exposure for synergy between the pyrethroid insecticide alpha-cypermethrin and the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*. *Pest Management Science*, 74: 2488–2495.
- Moore, D., Prior C., 1993. The potential of mycoinsecticides. *Biocontrol News and Information*, 14: 31–40.
- Quesada-Moraga, E., Navas-Cortes, J.A., Maranhao, E.A.A., Ortiz-Urquiza, A., Santiago-Alvarez, C., 2007. Factors affecting the occurrence and distribution of entomopathogenic fungi in natural and cultivated soils. *Mycological Research*, 111: 947-966.
- Rath, A.C., 2000. The use of entomopathogenic fungi for control of termites. *Biocontrol Science and Technology*, 10: 563-581.
- Rice, W.C., Cogburn, R.R., 1999. Activity of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* (Deuteromycota: Hyphomycetes) against three coleopteran pests of stored grain. *Journal of Economic Entomology*, 92: 691–694.
- Rohde, C., Alves, L., Neves, P., Alves, S.B., Da Silva, E., De Almeida J., 2006. Seleção de isolados de *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. e *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorok. contra o Cascudinho *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae). *Neotropical Entomology*, 35(2): 231–240.
- Sammaritano, J.A.A., Leclercq, A., Deymié, M.C., Torrente, K.A., Vazquez, F., Cuthbertson, A.G., Lastra, C.C.L., Lechner, B., 2017. Entomopathogenic fungi: Are polisporic isolates more pathogenic than monosporic strains? *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 76 (3-4): 39-43.
- Sanchez-Pena, S.R., Lara, J.S.J., Medina, R.F., 2011. Occurrence of entomopathogenic fungi from agricultural and natural ecosystems in Saltillo, Mexico, and their virulence towards thrips and whiteflies. *Journal of Insect Science*, 11(1): Article 1.
- Schöller, M., Prozell, S., Al-Kirshi, A.G., Reichmuth, C., 1997. Towards biological control as a major component of integrated pest management in stored product protection. *Journal of Stored Products Research*, 33 (1): 81-97.
- Sevim, A., Sevim, E., Demirbağ, Z., 2015. Entomopatogenik fungusların genel biyolojileri ve Türkiye’de zararlı böceklerin mücadelesinde kullanılma potansiyelleri. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(1): 115-147.
- Shah, P.A., Pell, J.K., 2003. Entomopathogenic fungi as biological control agents. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 61: 413–423.
- Zettler, J.L., Arthur, F.H., 2000. Chemical control of stored product insects with fumigants and residual treatments. *Crop Protection*, 19: 577–582.