

# Düşük Nem Koşullarına Adapte Yerli Entomopatojen Fungus İzolatının *Tenebrio molitor* (Coleoptera:Tenebrionidae) Üzerindeki Etkinliği

## Effectiveness of Native Entomopathogenic Fungus Isolate Adapted to Low Humidity Conditions on *Tenebrio molitor* (Coleoptera:Tenebrionidae)

Mehmet Sedat SEVİNÇ<sup>1\*</sup> , Nuran KARATAĞ<sup>2</sup> , Mesut ALTINDAL<sup>3</sup> 

<sup>1-2</sup> Bitki Sağlığı Bölümü, Meyvecilik Araştırma Enstitüsü, Eğirdir, Isparta, Türkiye

<sup>3</sup> Bitki Sağlığı Toprak ve Su Kaynakları Bölümü, Meyvecilik Araştırma Enstitüsü, Eğirdir, Isparta, Türkiye

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0001-9517-7631>; <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0003-4648-8227>; <sup>3</sup> <https://orcid.org/0000-0002-0332-6677>

### To cite this article:

Sevinç, M.S., Karatağ, N. & Altındal, M. (2024). *Düşük Nem Koşullarına Adapte Yerli Entomopatojen Fungus İzolatının Tenebrio molitor (Coleoptera:Tenebrionidae) Üzerindeki Etkinliği*. Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, 28(4):

DOI: 10.29050/harranziraat.1530026

### \*Address for Correspondence:

Mehmet Sedat SEVİNÇ

e-mail:

mehmetsedat.sevinc@tarimorman.gov.tr

### Received Date:

09.08.2024

### Accepted Date:

28.10.2024

© Copyright 2018 by Harran University Faculty of Agriculture. Available on-line at [www.dergipark.gov.tr/harranziraat](http://www.dergipark.gov.tr/harranziraat)



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

### ÖZ

Düşük nemli ortamlarda özellikle depolama koşullarında yapılacak olan mücadele için düşük nemde virülensliğini sürdüren fungus izolatları elde etmek önemlidir. Bu çalışmada; standart toprak analizi yapılmış toprak örneklerinin, *Tenebrio molitor* kullanılarak düşük toprak nemi koşullarında virülensliğini sürdüren entomopatojen fungus izolatı elde etmek amaçlanmıştır. Bu kapsamda incelenen 16 toprak örneğinde, düşük bağıl nemde toprak nemi artırılmadan 4 toprak örneğinde fungal gelişim görülmüştür. Morfolojik tanılama sonucu; *Beauveria bassiana*, *Cordyceps fumosorosea* ve iki adetinin de *Metarhizium anisopliae* türü olduğu görülen izolatların, *Tenebrio molitor* larvaları üzerinde petri kaplarında biyoassay çalışmaları ile %100 ölüme sebep olduğu görülmüştür. Kadavra üzerinde misel gelişimi görülen *Beauveria bassiana* izolatı, plastik kaplarda steril toprak koşullarında 5 farklı spor yoğunluğunda denenmiş;  $10^8$ ,  $10^7$ ,  $10^6$ ,  $10^5$ ,  $10^4$  konidi  $ml^{-1}$  dozları 9. günde sırasıyla; %60, %23.34, %19.34, %12.15 ve %14.17 bulunurken, 18 gün sonunda ise bu oranlar; %64, %43.34; %19.34; %15.72 ve %14.17 olarak tespit edilmiştir. Kontrol grubunda ölüm oranı; %0' dır. Elde edilen izolatın  $10^8$  konidi  $ml^{-1}$  ve daha yüksek yoğunlukta kullanımının gıda depolama gibi düşük nem koşullarında yapılacak diğer çalışmalar için önemli bir potansiyeli olduğu ve detaylı çalışmalara ihtiyaç duyulduğu düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** *Cordyceps*, *Beauveria*, *Metarhizium*, Ölümcül etkiler, Virülenslik

### ABSTRACT

Especially for pest management in low humidity environments such as storage conditions, it is of great importance to obtain entomopathogenic fungal isolates that can maintain their virulence despite low humidity conditions. In this study; It was aimed to obtain entomopathogenic fungus isolate that maintains its virulence at low soil moisture conditions using *Tenebrio molitor* from soil samples that have undergone standard soil analysis. In this context, fungal growth was observed in 4 soil samples without increasing the soil moisture at low relative humidity in 16 soil samples examined. As a result of morphological identification; It was observed that the isolates, which were found to be *Beauveria bassiana*, *Cordyceps fumosorosea* and two *Metarhizium anisopliae* species, caused 100% mortality on *Tenebrio molitor* larvae in petri dishes with bioassay studies. *Beauveria bassiana* isolate, on which mycelial development was observed on cadavers, was tested at 5 different spore densities in sterile soil conditions in plastic containers; On the 9th day;  $10^8$ ,  $10^7$ ,  $10^6$ ,  $10^5$ ,  $10^4$  conidia  $ml^{-1}$  doses were found to be 60%, 23.34%, 19.34%, 12.15% and 14.17%, respectively, while at the end of 18 days these rates were determined as 64%, 43.34%, 19.34%, 15.72% and 14.17%. The mortality rate in the control group was 0%. It is

thought that the use of the isolate obtained at  $10^8$  conidia  $ml^{-1}$  and higher densities has an important potential for other studies to be conducted in low humidity conditions such as food storage and that detailed studies are needed.

**Key Words:** *Cordyceps*, *Beauveria*, *Metarhizium*, Lethal effects, Virulence

## Giriş

Biyçeşitlilik tepkileri; su, sıcaklık, ışık ve su gibi organizmaların gelişimini kontrol eden temel (Harvell ve ark., 2002, Rosenzweig ve ark., 2001) çevresel parametrelere bağlı olarak değişebilir (Lepetz ve ark., 2009). Son yıllarda artan iklim değişikliği (Wang ve ark., 2009) türler arası ilişkilerde değişikliklere (Lepetz ve ark., 2009) dolayısıyla gıda kaynaklarında azalma ve mikrobiyal veya toksik kirleticilerin artışına yol açabilir (Hall ve ark., 2002). Modern tarımın üstesinden gelmesi gereken kritik zorluklar temelde; iklim değişikliğinin azaltılması ve buna uyum sağlanması (Morales-Ramos ve ark., 2024) olarak düşünülmektedir. Bu değişime bağlı olarak eklem bacaklıların zararları tarım ve ormancılık alanlarında önemli ölçüde artmaktadır (Savary ve ark., 2019). İklim değişikliğinin insektisit kullanımını ve ürünlerdeki kimyasal kalıntı oranını etkileme ihtimali; böcek zararlılarının genişleyen dağılımı, daha fazla çeşitlilikte insektisit artan oran ve sıklıkta kullanılmasını teşvik ederken, aynı zamanda direnç geliştirme olasılığını da artırabilir (Delcour ve ark. 2015). Birim alandan yüksek verim almak ve depolanan ürünleri de korumak amacıyla artan mücadele çabalarında, son yıllarda kimyasalların olumsuzluklarının ortaya çıkardığı sonuçlar (Zettler ve Arthur, 2000; Ayvaz ve ark., 2008; Berber Tortop & Yorulmaz, 2024) alternatif mücadele arayışını beraberinde getirmektedir. Bu alternatif mücadele kapsamında entomopatojen fungus (EPF) türleri ile tarımsal zararlıların mücadelesi konusunda da yapılan araştırmalar hız kazanmıştır. EPF'ların çoğunluğu doğadaki böcekler için patojeniktir (Shah ve Pell, 2003; Scholte, 2004; Vega; 2009; Dash ve ark., 2018). Zararlı popülasyonunu en aza indirmek için konukçularını enfekte etmede yüksek etkinlik sergileyen EPF'lar, özellikle de hipokrealean askomisetler, konidiaları ile kütiküle yapışır, çimlenir, böcek hemoselinin içinde gelişir ve son

olarak besin tükenmesi ve iç doku ve organların istila edilmesi ve/veya böcek öldürücü etkili proteinlerin ve/veya ikincil metabolitlerin salgılanması nedeniyle konukçunun ölümüne neden olur (Vega ve ark. 2012). Günümüzde, *Metarhizium Sorokin*, *Cordyceps Fr.*, *Beauveria Vuill* (Ascomycota: Hypocreales) cinslerindeki türler ticari biyopestisit geliştirilmesinde rol almaktadır (Rath, 2000; Meyling ve ark., 2018; FAO/IAEA, 2019). Pek çok avantajlarına rağmen EPF'lar, kimyasal insektisitlere oranla daha geç öldürme, yüksek nem ihtiyacı, fungusitlerden olumsuz etkilenme, üretimi ve muhafazasının pahalı olması gibi dezavantajlara da sahip (Sevim ve ark., 2015) olmasının yanı sıra, iklim değişikliğinin, çevre koşulları, özellikle sıcaklık, nem ve UV-B radyasyonunun da mikrobiyal kontrol başarısını ciddi şekilde sınırlandırabildiği (Eilenberg, 2006) bilinmektedir. EPF'ların öldürme hızını iyileştirmekle birlikte güneş radyasyonu, düşük nem ve aşırı sıcaklık gibi olumsuz etkilerinin üstesinden gelmek için yeni yollar geliştirmek (Jackson ve ark. 2010; Jaronski, 2010) gerekliliği araştırmacılar tarafından vurgulanmıştır. Bu nedenle, entegre mücadele kapsamında EPF'ların kullanımı hedef alındığında, uygulama sonrası karşılaşılması muhtemel olan çevre koşullarında da etkinliğini gösterebilme yeteneğine sahip izolatların seçimi için yeni çalışmalar yapılması gerekmektedir. Bu durum hem yerel izolatların elde edilmesinde hem de seçim esnasında bazı olumsuzluklara direnç göstermiş izolatların kabulünde önem arz edebilmektedir. Bu çalışmada; 2023 yılında Meyvecilik Araştırma Müdürlüğüne standart toprak analizi amacıyla getirilen topraklardan elde edilen numunelerin, *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) bireyleri üzerinde düşük nem koşullarında virülenslikleri araştırılmış ve enfekte olan böceklerden EPF izolasyonu yapılarak morfolojik tanılamaları ardından tekrar *T. molitor* üzerinde yüzde ölüm oranları hesaplanmıştır.

## Materyal ve Yöntem

### *Tenebrio molitor* kitle üretimi

Entomopatojen fungusların varlığı ve etkinliklerinin tespiti amacıyla Meyvecilik Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü 25°C, %60±5 nem ve 16:8 (aydınlık/karanlık) koşullara sahip iklim odalarında stok kültürde bulunan *Tenebrio molitor* larvalarından faydalanılmıştır. 25x40x10 cm ölçülerinde plastik küvetlerde buğday kepeği ve elma dilimleri ile yapılan rutin üretimde son dönem ve son döneme yakın larvalar denemede kullanılmak üzere ayrılmıştır.

### *Toprakların hazırlanması ve larva üzerinde fungal enfeksiyonlarının takibi*

Meyvecilik Araştırma Enstitüsü Müdürlüğüne toprak besin elementi analizi için getirilen topraklardan 16 adeti denemede kullanılmak üzere tesadüfi seçilmiştir. Yaklaşık 2000 g toprak herhangi bir işleme tabi tutulmadan 22±5°C' de, %30±5 nem koşullarında muhafaza edilmiştir. Topraklar, laboratuvar ortamında 2000 cc'lik plastik sızdırmaz kaplara kabın yarısı dolacak şekilde alınmıştır. Nem ve sıcaklık artışı önlemek amacıyla kapların kapakları kesilerek pencere oluşturulmuş ve tül ile kapatılmıştır. Uzun süre kuru hava koşullarında bekletilen numuneler deneme başlangıcında yüzeye 3 ml saf su el spreyi yardımıyla uygulanmıştır. Her bir plastik kabın içerisine son dönem ve son döneme yakın olduğu bilinen *T. molitor* larvaları her kaba 30 adet eklenmiştir. Bu süreçte larvalara gıda verilmemiştir ve durumları 22±5°C' de, %30±5 bağıl nem koşullarında 120 gün boyunca takip edilmiştir. Düşük neme toleranslı izolatları elde etmenin bir yolu olarak bu çalışmada inkübasyon süresince toprak; oda sıcaklığı ve literatüre göre %10 kabul edilen hava kuru toprak nemi (TSE, 1990) koşullarında tutulmuştur. 10-14 gün içerisinde larvalar üzerinde miselyum gelişen toprak örnekleri ilk aşamadan sonra tekrar nemlendirilmemiştir. Bu süreçte EPF'ların gelişimi görülmeyen toprak örneklerinde yüksek nemde çimlenebilen EPF'ların varlığını teyit etmek amacıyla deneme süresince ilk 14 günden sonra 7

gün ara ile 15±3 ml saf su ile nemlendirilmiştir. Fakat denemede kullanılmak üzere düşük toprak nemi koşullarında virülensliğini sürdürme kapasitesine sahip olduğu düşünülen ilk funguslar kayıt altına alınmış diğerleri deneme dışı bırakılmıştır.

### *Entomopatojen fungus izolasyonu ve morfolojik tanılama*

Steril kabinde yürütülen çalışmalarda üzerinde fungus miselleri geliştiği görülen larvalar kullanılmıştır. Misel gelişimi görülen bu larvalar toplanarak, 5 sn %70'lik etil alkolde 5 sn %5'lik sodyum hipoklorit'te, sonra 3 defa steril saf sudan geçirilerek steril kurutma kağıtları üzerinde fazla suyun emilmesi için bırakılmıştır. Kuruyan larvalar PDA besiyerine aktarılmış ve petrinin üzerlerine toprağın numune kodu yazılarak kaydedilmiştir. Yaklaşık 3 -4 gün sonra larvanın etrafında gelişen misellerden kesitler alınarak saflaştırma işlemi gerçekleştirilmiş ve bu işlem saf koloni oluşturuncaya kadar devam etmiştir.

Entomopatojen fungusların morfolojik tanısı; fungus ile enfekte olmuş larvaların dış görünüşleri, PDA üzerindeki koloni rengi, miselyal gelişme hızı ve şekli esas alınmış, mikroskopik tanılamada ise hif, konidifor ve konidiaların şekil, renk ve büyüklükleri ile ilgili literatür kullanılarak yapılmıştır (Samson, 1974, Samson et al, 1988; Humber, 1997; Humber, 1998; Eken, 2011). Tanısı yapılan kültürler -80°C de %20'lik gliserol içinde saklanmıştır.

### *Spor süspansiyonlarının hazırlanması*

Üretim amacıyla yeni PDA besiyerlerine aktarılan EPF'ların gelişimleri oda sıcaklığında 10-14 gün süreyle takip edilmiştir. Bu süre sonunda izolatlarla ait sporlar öze yardımıyla saf su içerisine kazınarak homojen dağılımının sağlanması için % 0.1 oranında Tween 80 ilave edilerek konidiospor süspansiyonu hazırlanmıştır. Hazırlanan süspansiyonlar mikroskop altında Thoma lamı yardımıyla konidiospor sayıları belirlenmiş ve 1x10<sup>8</sup> konidi ml<sup>-1</sup> spor yoğunluğunda tüm izolatların dozları oluşturulmuştur.

### *İzolatların etkinliklerinin belirlenmesi*

Düşük nem koşullarında *T. molitor* üzerinde 7-10 gün arasında gelişme yeteneği bulunan ve PDA besi ortamında çoğaltımı sağlanan dört izolatin biyoassay çalışmaları petri kaplarında *T. molitor* larvaları üzerinde gerçekleştirilmiştir.  $1 \times 10^8$  konidi  $\text{ml}^{-1}$  spor yoğunlukları petri kaplarına yerleştirilmiş olan filtre kağıtları üzerine el spreyi yardımıyla 2 ml miktarda uygulanmıştır. Kontrol grubuna %0.1 tween 80 içeren su püskürtülmüştür. Her bir fungus tür ve izolatları için deneme 10 tekerrürden oluşmuş ve tesadüf parselleri deneme desenine göre kurulmuştur. Nem artışından kaçınmak üzere petri kaplarının kapaklarına 1 mm boyutlarında 10 adet delik açılmış ve larva aktarımından önce filtre kağıtlarının tamamen kuruması beklenmiştir. Filtre kağıtları kuruduktan sonra her bir petriye 10 adet larva eklenmiş ve aşıktan ölümlerin önüne geçmek üzere toprak örneklerinden ilk izolasyon için yapılan çalışmanın aksine elma parçaları eklenmiştir. Her bir petri kabı bir tekerrür olmak üzere, 10 tekerrürle yürütülen denemelerin takibi  $22 \pm 5^\circ\text{C}$  de,  $\%30 \pm 5$  bağıl nem ve 16:8 saat (aydınlık:karanlık) koşullara sahip laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. Denemeler 30 gün takip edilmiştir. Üzerinde misel gelişimi görülen izolatin farklı dozları toprak ortamında da *T. molitor* larvaları üzerinde denemek üzere seçilmiştir. Ayrıca; ölümlerin uygulanan entomopatojen fungustan meydana geldiğini doğrulamak için ölü bireylerden teyit amacıyla reizolasyon yapılmıştır.

#### *Steril toprak üzerinde denemelerinin kurulması*

Eğirdir Meyvecilik Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü fidan ve fide dikiminde kullanılan topraklar toprak analiz laboratuvarından alınan numune örnekleri gibi analize tabi tutulmuştur. Bu toprak grubu canlı mikroorganizma barındırma ihtimaline karşı 48 saat süresince  $105^\circ\text{C}$ 'ye ayarlı etüv cihazında sterilizasyona tabi tutulmuştur. Ayrıca denemenin düşük nem amacını karşılamasına yönelik 'fırın kuru toprak' olarak ifade edilen toprak neminin %0 olması sağlanmıştır (TSE, 1990). Denemede kullanılmak üzere kapağı kesilerek tül ile kapatılmış 2000 cc'lik

plastik sızdırmaz kaplar 3 cm yükseklik oluşturacak şekilde topraklarla doldurulmuştur. Seçilen izolatin 5 farklı dozu ve kontrol grubu için, 5 tekerrürlü olacak şekilde, 30 adet plastik sızdırmaz kap hazırlanmıştır. Seçilen izolatin  $10^8$ ,  $10^7$ ,  $10^6$ ,  $10^5$ ,  $10^4$  konidi  $\text{mL}^{-1}$  spor yoğunlukları ve kontrol grubunda ise saf su ve tween 80 karışımı 3 ml ölçülerek el spreyi ile 20 cm uzaklıktan uygulanmıştır. Topraklarda spor süspansiyonu uygulaması sonrasında oluşan az miktarda nemliliğin tamamen kuruması beklenmiştir. Aşıktan ölmelerin önüne geçmek üzere hazırlanan elma küpleri ve az miktarda buğday kepeği kutunun merkezine yerleştirilmiştir ve seçilen 20 adet son dönem ve son döneme yakın *T. molitor* larvası toprak yüzeyine bırakılmıştır. Deneme  $22 \pm 5^\circ\text{C}$ , bağıl nemi  $\%30 \pm 5$ 'e ayarlı uzun gün aydınlatmalı 16:8 saat (aydınlık:karanlık) koşullara sahip iklim odalarına bırakılmıştır. 30 gün süresince günlük ergin çıkışları kontrol edilmiştir ve kayıt altına alınmıştır. Denemeler 5 tekerrürlü, tesadüf parselleri deneme desenine göre kurulmuştur.

#### *Verilerin değerlendirilmesi ve analizi*

Larvalarda görülen ölüm oranları (%) her bir doz için hesaplanmıştır. Daha sonra ortalamalar arasındaki farkı belirlemek için Tukey çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır ( $P < 0.05$ ). İstatistiksel analizler SPSS version 23.0 paket programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir (IBM Corp., 2010).

#### **Araştırma Bulguları ve Tartışma**

##### *Düşük bağıl nemde virülans olan EPF'ların bulunduğu toprak kimyasal bileşenleri*

Entomopatojen fungus izolatu elde edilmiş toprakların, saturasyon, tuzluluk, pH, kireç, organik madde, potasyum oranları gibi parametrelerin yüzdelik ve ppm cinsinden değerleri, mevkisi, üretim deseni ve numunelerden izole edilen entomopatojen fungus türü Çizelge 1.'de gösterilmektedir. Saflaştırma sonucu yapılan morfolojik gözlemlerde elde edilen izolatlardan 91 kodlu toprak örnekten

(saturasyon: %55, potasyum: 659 ppm, organik madde: %1.46) *Beauveria bassiana*, 87 kodlu (saturasyon: %57.2, potasyum: 378 ppm, organik madde: %1.32) ve 90 kodlu (saturasyon: %59.4, potasyum: 370 ppm, organik madde: 1.25) elma yetiştiriciliği yapan Karaman'dan alınan toprak örneklerinden *Metarhizium anisopliae*, ve 49 kodlu (saturasyon: % 69.3, potasyum: 466 ppm, organik madde: %3.18) organik yağlık gül yetiştiriciliği yapılan Gökçehöyük toprak numunelerinden ise; *Cordyceps fumosorosea* türü fungus izolatu elde edilmiştir (Çizelge 1).

115, 116, 117 kodlu toprak örneklerinde toprağın 1 hafta arayla 4 ila 5 kez, yaklaşık 15 ±3 ml saf su ile ıslatıldıktan sonra larvaların ölümüne sebep olacak EPF'ların geliştiği tespit edilmiştir. Toprak analizleri sonucu elma üretimi yapılan bu toprakların sırasıyla saturasyon; %60.5, 66, 67.1 oranında; potasyum; 688, 616, 308 ppm oranında; organik madde; %3.38, 4.78 ve 2.23 oranında bulunduğu görülmüştür. 115 kodlu topraktan, *B. bassiana* ve *M. anisopliae*, 116 kodlu topraktan *B. bassiana*, 117 kodlu topraktan ise *M. anisopliae* türüne ait olduğu görülen EPF elde edilmiş fakat düzenli nemli koşullar sağlanması sonucu gelişim gösterdikleri için biyoassay çalışmalarına dahil edilmemiştir.

Daha önceki çalışmaların büyük bir kısmı da Dünya üzerinde geniş bir alana yayılan benzer fungus türlerinin izolasyonundan bahsetmektedir (Keskin ve ark., 2019; Baki ve ark., 2020; Qayyum ve ark., 2021). Toprakta entomopatojen fungal oluşumunun, organik madde, özellikle C/N oranı, farklı lokasyonlardaki topraklarda EPF'ların başlıca öngörücüleri (Quesada-Moraga ve ark. 2007; Uzman ve ark. 2019; Fernandez-Bravo ve ark. 2021) olduğu ifade edilmektedir. Örneğin; Kılıç, (2021) Erzincan ilinde EPF'ların toprak parametrelerine göre dağılımına yönelik yaptığı bir çalışmada; kullandığı toprakların pH 'nın 6.69-

7.77 oranında değiştiği ve fungus yoğunluğunun asidik ortamlarda bazik ortamdan daha da dirençli olduğuna vurgu yapmaktadır (Foth, 1984). Bu çalışmada kullandığımız toprakların tamamına yakını analiz sonucunda 'hafif alkalin' değerde bazıları ise nötr (7.5) bulunmuştur. Kireçli topraklar içeriğinde kil, kum, kireç bulundurması ve kilin entomopatojen fungusların toprakta varlığını ve sayısını artırdığı, küçük konidialara sahip fungusların toprakta daha fazla sayıda bulunmasını sağladığı (Quesada-Moraga ve ark. 2007) rapor edilmiştir. Topraklarımızdan 87 ve 89 numaralı numunelerin kireç oranlarının çok daha yüksek olması ve düşük nem koşullarında izole edilen 2 fungusun da *M. anisoplia* olması bu türün çevresel istekleri yönüyle de literatüre paralel olmakla birlikte, araştırmaları derinleştirmek gerekliliğini göstermektedir (Çizelge 1). Çalışmamızda 91 kodlu numunenin organik madde miktarı 1.46 ve kireç oranı diğerlerinden çok daha düşüktür. Bu numuneden izole edilen *B. Bassiana* türü ile ilgili olarak geniş bir alanda toleranslı bir şekilde yaşadığı ifade edilmekte ve hem arazi dışı hem de ekili topraklarda yaşayan bir tür olduğu, *M. anisopliae* 'nın ise ekili toprak alanlarında yaşamını sürdürme yeteneğinde olduğu tespit edilmiştir (Quesada-moraga ve ark., 2007; Jarmuł-Pietraszczyk ve ark., 2011; Medo ve Cagaň, 2011; Keyser ve diğerleri, 2015). Kireçli toprakta nem tutma kapasitesinin yüksek olması, ayrıca ekili alanda bitki yaprak ve çevresinde tutulan nem oranının yüksek olması (Quesada-Moraga ve ark., 2024) *M. anisoplia*'nın daha yüksek nemli ortam da daha işlevsel olabileceğine işaret ediyor olabilir. Bununla birlikte önceki çalışma da fungus türü oluşumu ve dağılımının potasyum ve toprak saturasyonu ile ilişkili olduğunu rapor etmiştir (Kılıç, 2021). Çalışmada EPF izolasyonu gerçekleştirilen toprak numuneleri yüksek ve çok yüksek potasyum içeriğine sahiptir.

Çizelge 1. Denemede kullanılan toprak numunelere ait bilgiler.

Table 1. The information on soil samples used in the experiment.

Toprak kodu	Saturasyon (%)	Tuzluluk (%)	pH	Kireç (%)	Organik Madde (%)	Potasyum (ppm)	Mevki	Ürün deseni
Soil code	Saturation (%)	Salinity (%)	pH	Lime (%)	Organic Matter (%)	Potassium (ppm)	Location	Product pattern
46	72.6	0.022	7.9	18.68	0.81	252	Gökçeşüyük	Yağlık gül
47	63.8	0.029	7.6	5.69	1.69	383	Gökçeşüyük	Yağlık gül
48	46.2	0.012	7.1	3.25	2.80	311	Gökçeşüyük	Yağlık gül
49*	69.3	0.023	7.7	5.69	<b>3.18</b>	466	Gökçeşüyük	Yağlık gül
50	68.2	0.030	7.8	17.06	3.20	292	Gökçeşüyük	Yağlık gül
51	75.9	0.031	7.7	5.69	3.47	327	Gökçeşüyük	Yağlık gül
86	68.2	0.024	7.2	1.69	1.71	442	Sorkuncak	Elma
87**	57.2	0.019	7.8	50.27	<b>1.32</b>	378	Karaman	Elma
88	56.1	0.018	7.9	51.09	0.98	268	Sorkuncak	Elma
89	55	0.019	7.9	57.75	1.60	450	Karaman	Elma
90**	59.4	0.022	7.9	59.4	<b>1.25</b>	370	Karaman	Elma
91***	55	0.021	7.5	2.43	<b>1.46</b>	659	Kozluçay	Yonca
92	50.6	0.018	7.2	1.62	1.24	296	Kozluçay	Mısır
115****	60.5	0.014	7.4	10.32	3.38	688	Eğirdir-Merkez	Elma
116****	66	0.021	7.4	8.33	4.78	616	Eğirdir-Akdere	Elma
117****	67.1	0.015	7.5	12.30	2.23	308	EğirdirSarıhasan	Elma

(\* ) *Cordyceps fumosorosea* izole edilen numune, (\*\* ) *Metarhizium anisoplia* izole edilen toprak numuneleri, (\*\*\*) *Beauveria bassiana* izole edilen toprak numunesi, (\*\*\*\*) Uzun süre toprak nemi sağlanması sonucu entomopatojen fungus çimlenmesi görülen ve deneme dışı tutulan toprak numuneleri

(\* ) The soil sample isolated which *Cordyceps fumosorosea*, (\*\* ) the soil sample isolated which *Metarhizium anisoplia*, (\*\*\*) the soil sample isolated which *Beauveria bassiana*, (\*\*\*\*) the soil samples in which entomopathogenic fungi germinated as a result of long-term soil moisture provision and were excluded from the experiment.

Bu çalışmada sadece düşük bağıl nem (%30±5) ve hava kuru toprak nemi (%10 nem) koşullarında enfeksiyona sebep olan toprak örnekleri izlenmiştir. Bu sebeple 16 toprak örneğinin 9'unda larval ölümlerin hiç birisi fungal sebeplerle olmaz iken geri kalan 7 toprak örneğinden 3'ünde (115-116-117 kodlu toprak örnekleri) daha yüksek toprak nemi sağlanarak EPF varlığı tespit edilmiştir. Diğer toprak örneklerinde larvalar denemenin 105. gününe kadar yaşamlarını sürdürmüşlerdir. Çalışmanın bundan sonraki kısmında 7-14 gün arasında enfeksiyona sebep olan EPF ile çalışmalara devam edilmiştir.

#### Petri kaplarında yürütülen biyoassay denemeleri

Tüm izolatlardan 1x10<sup>8</sup> konidi ml<sup>-1</sup> dozları *T. molitor*'un larvaları üzerinde %100 ölüme sebep olmuştur. Kontrol grubu ise %100 yaşamaya devam etmiştir. Bu sebeple başarı kriteri olarak fungal miselyumun böcekler üzerinde görülmesi baz alınmıştır ve bu durum yalnızca 'yonca tarlası' toprak örneklerinden izole edilmiş olan *B. bassiana* izolatında görülmüştür.

Daha önceki çalışmalar *B. Bassiana*'nın farklı

oranlarda *T. molitor* üzerinde etkili olduğunu göstermiştir (Rodríguez-Gómez ve ark., 2009; Keskin ve ark., 2019). %93-96,5 bağıl nemin fungal gelişim için elzem olduğu ve nem faktörünün konidial çimlenme, kadavra üstünde saprobik büyüme ve spor üretmeyi etkilediği bilinmektedir (Fernández-Bravo ve ark. 2016 ; Jaronski, 2010 ; Vega ve ark. 2012). Fakat düşük nemde etkinliğinin görülmek istendiği çalışmamızda, düşük bağıl neme (%30±5) rağmen *B. bassiana* olduğu tespit edilen izolata maruz kalan larvalar üzerinde misel gelişimi gözle görülebilir olmuştur. Bazı *B. Bassiana* izolatlarının kurak ortamlarda tipik olarak bulunan abiyotik faktörlere çok iyi düzeyde yanıt verdiği ve bunun hem genotipleriyle hem de izolasyon habitatları veya ekosistemleriyle ilişkili olmadığı rapor edilmektedir (Fernández-Bravo ve ark., 2016). Denemelerde kullanılan *B. bassiana* izolatu da misel gelişimi sağlayarak paralel sonuçlar görmemize sebep olmuştur ve farklı dozlarının steril toprak yüzeyine uygulanarak *T. molitor* larvaları üzerindeki etkilerinin takibi yapılmıştır.

*Topraklarda yürütülen Beauveria bassiana izolatının T. molitor üzerindeki etkinliği*

Denemede kurulumunda kullanılan toprak nemi %0 kabul edilen fırın kuru toprağın (TSE, 1990) bazı parametreleri Çizelge 2’de

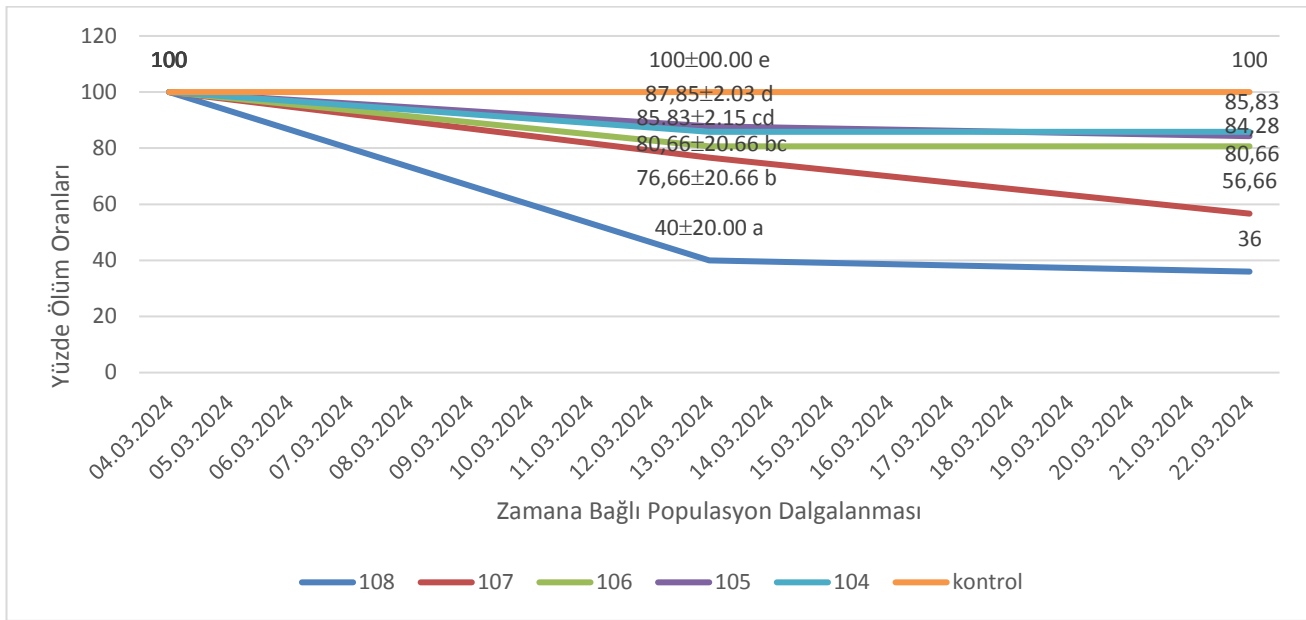
Çizelge 2. Toprak denemelerinin kurulumunda kullanılan steril edilmiş toprağın içerik analizi  
Table 2. Content analysis of sterilized soil used in setting up soil experiments.

Saturasyon(%) Saturation (%)	Tuzluluk (%) Salinity (%)	pH pH	Organik Madde (%) Organic Matter (%)	Potasyum (ppm) Potassium (ppm)
55	0.010	7.5	4.67	272

Farklı zararlılar üzerinde EPF’larla yürütülen diğer çalışmalarda petri ve toprak koşullarındaki ölüm oranlarının farklılığını gösterilmiştir. Örneğin Cherqui ve ark. (2020) yürüttükleri bir çalışmada, *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) larvalarının *B. bassiana*’ya maruz bırakıldığında petri kaplarından %44 ölüm oranı elde ederken, toprak koşullarında denemeyi aynı dozlarla tekrarladığında %33 oranında ölüm elde ettiklerini vurgulamışlardır. Benzer şekilde petri ve toprak ortamlarında *C. capitata* ile yapılan bir çalışma da, Sevinç ve Karaca (2024), petri kaplarında ölüm oranı %100 tespit edilen *Cordyceps* izolatında, steril toprak koşullarında aynı doz %87 oranında olduğunu rapor etmişlerdir. Elbette petri kaplarında hava sirkülasyonunun kısıtlanması sebebiyle nem oranında görülebilecek artış buna sebep olabilmektedir. Aynı zamanda toprak koşullarında konidiosporlara maruz kalma süresi çok daha düşmektedir. Çünkü larvalar toprak yüzeyine yayılan konidiosporlara daha az süre ile maruz kalarak toprak altına doğru hızlı bir geçiş yapmakta olduğu çalışmalarda görülmüştür. Bu çalışmada da toprakta yürütülen çalışmalar petri kaplarına oranla ölüm oranları daha düşük bulunmuştur. Deneme kurulumundan dokuz gün sonra yapılan sayımlarda popülasyonların ölüm

gösterilmiştir. EPF’un canlılığını ve kolonizasyon sağlayabilecek oranlarda tuzluluk, pH, organik madde miktarı ve potasyum oranına sahip olduğu düşünülmektedir.

yüzdeleri hesaplandığında;  $10^8$  konidi  $ml^{-1}$  dozu %60, 18 gün sonunda ise %64 ölüm oranına sahip olmuştur.  $10^7$  konidi  $ml^{-1}$  dozu ise aynı günlerde sırasıyla; %23.34 ve %43.34 ölüme sebep olmuştur.  $10^6$  konidi  $ml^{-1}$  dozunda ise günlere göre ölüm oranları sırasıyla; %19.34, %19.34;  $10^5$  konidi  $ml^{-1}$  dozunda ise bu oranlar; %12.15 ve %15.72;  $10^4$  konidi  $ml^{-1}$  dozunda ise; %14.17 ve %14.17 ölüme sebep olmuştur. Kontrol grubu bu süreçte canlılığını sürdürmüştür (Şekil 1.). Denemenin 18. gününden sonra canlı bireylerin pupa dönemine girdiği ve ilerleyen süreçlerde ergin olduğu görülmüştür. Çalışmanın dokuzuncu günündeki ölüm verileri üzerinden yapılan istatistik analizinde gruplar kontrole oranla farklı bulunmakla birlikte en yüksek etki  $10^8$  konidi  $ml^{-1}$  dozunda görülmüştür. Farklı depo zararlıları ve *B. bassiana* ile yapılan çalışmalarda da benzer şekilde zamana bağlı olarak ölümün arttığı ifade edilmektedir (Bayındır Erol ve ark., 2024). Çalışmamızda da zamana bağlı olarak bazı dozlarda ölüm oranları artmasına rağmen mücadele hızlı sonuçları görmek için denemenin dokuzuncu gününde yapılan sayım sonuçları istatistiki olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 1. Farklı yoğunluklarda *Beauveria bassiana*' ya maruz kalan larvalarda zamana bağlı popülasyon dalgalanmaları. \* Denemenin 9. gününde ölüm verilerini gösteren sütunlardaki farklı harfler Tukey testine göre istatistiki olarak önemli derecede farklı olduklarını belirtmektedir ( $P<0.05$ ).

Table 1. Population fluctuations over time in larvae exposed to different densities of *Beauveria bassiana*. \* Different letters in the columns showing mortality data on the 9th day of the experiment indicate statistically significant differences according to the Tukey test ( $P<0.05$ ).

## Sonuçlar

Entomopatojen fungusların eklembacaklı konukçularını enfekte ettiği alanın mikro iklimi, enfeksiyon başarısı için kritik öneme sahiptir (Boulard ve ark. 2002). Tarımsal ekosistemlerdeki ortam nem koşullarının propagül ölüm oranı veya virülansı üzerinde kritik bir etkisinin bulunmadığı dolayısıyla mikro çevresel nemin genellikle entomopatojen fungal enfeksiyon için ideal düzeyde olduğu (Fargues ve ark. 2005) diğer araştırmacılar tarafından rapor edilmektedir. Her ne kadar bağıl nem, entomopatojen fungusların işlevsel olduğu çevresel alandaki nem oranını temsil etmese de (Queada-Moraga ve ark., 2024), düşük bağıl nem ortamında depolanan ürünlere (Rumbos ve Athanassiou 2017; Singh ve Fielke 2017) eklembacaklılarla mücadele amacıyla kullanılmak üzere düşük nem oranlarında da virülensliğini sürdürme kabiliyeti bulunan EPF'ların yerel olarak izole edilmesinin önemli ve gerekli (Quesada-Moraga ve ark., 2024) olduğu düşünülmektedir. Düşük bağıl ve ortam (toprak, petri) nemi koşulları sağlanarak başarı kriterine göre eleme sonucu elde edilen izolatların *T. molitor* üzerinde öldürücü olduğu görülmüş, misel geliştiren *Beauveria bassiana* izolatının ise

fırın kuru toprak koşullarında da önemli seviyede popülasyonu düşürdüğü anlaşılmıştır. İzolasyonu yapılan EPF'ların gıda depolama alanları gibi düşük bağıl nem koşullarında kullanılma potansiyeli taşıdığı ve çalışma sonuçlarının yapılacak diğer çalışmalara ışık tutacağı düşünülmektedir.

**Çıkar Çatışması:** Yazarlar aralarında herhangi bir çıkar çatışması bulunmadığını beyan ederler.

**Yazar Katkısı:** Yazarlar tarafından katkılar; 'MSS: Deneme planı, böceklerin yetiştirilmesi, denemelerin kurulması ve takibi, verilerin kaydedilmesi ve analizi, makale yazımı, NK: Entomopatojenlerin izolasyonu, morfolojik tanılaması, çoğaltımı, makale kontrol, revizyon ve onaylama, MA: Toprak örnekleri ve analizlerini sağlama, makale kontrol, revizyon ve onaylama' şeklinde beyan edilmektedir.

**Teşekkür:** Yazarlar; materyal ve altyapı olanağı sağlayarak çalışmayı destekleyen Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Meyvecilik Araştırma Enstitüsü'ne teşekkür ederler.



**Kaynaklar**

- Acheampong, M., Hill, M., Moore, S. & Coombes, C. (2020). UV sensitivity of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* isolates under investigation as potential biological control agents in South African citrus orchards. *Fungal Biology*, 124(5), 304–310. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2019.08.009>
- 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. DOI: 10.1002/ps.1526
- Baki, D., Kırışık, M., & Erler, F. (2020). Antalya ili topraklarından *Galleria mellonella* kullanılarak izole edilen potansiyel entomopatojen fungus izolatlarının *Myzus persicae*'e etkilerinin belirlenmesi. *Türkiye Biyolojik Mücadele Dergisi*, 11(1), 43-54. DOI: <https://doi.org/10.31019/tbmd.620116>
- Bayındır Erol, A., Erdoğan, O., & Sevinç, M. S. (2024). Efficacy of *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. Isolates on Dried Fruit Moth (*Plodia interpunctella* [Lepidoptera: pyralidae]). *Black Sea Journal of Agriculture*, 7(1), 77-81. <https://doi.org/10.47115/bsagriculture.1393389>
- Boulard, T., Mermier, M., Fargues, J., Smits, N., Rougier, M. & Roy, J. C. (2002). Tomato leaf boundary layer climate: implications for microbiological whitefly control in greenhouses. *Agricultural and Forest Meteorology*, 110(3), 159-176. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(01\)00292-1](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(01)00292-1)
- Chergui S., K. Boudjemaa, A. Benzehra & Karaca I, 2020. Pathogenicity of indigenous *Beauveria bassiana* (Balsamo) against *Ceratitis capitata* Wiedemann (Diptera: Tephritidae) under laboratory conditions. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 30(1): 1-7. DOI: <https://doi.org/10.1186/s41938-020-00331-z>
- Dash, C. K., Bamsile, B. S., Keppanan, R., Qasim, M., Lin, Y., Islam, S. U., Hussain, M. & Wang, L. (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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2018.09.044>
- Delcour, I., Spanoghe, P. & Uyttendaele, M. (2015). Literature review: Impact of climate change on pesticide use. *Food Research International*, 68, 7–15. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.09.030>
- Eilenberg, J. (2006). Concepts and visions of biological control. In: Eilenberg J, Hokkanen HMT (eds) *An Ecological and Societal Approach to Biological Control*. Springer, Dordrecht, pp 1–11
- Eken, C., 2011. Isolation, Identification and Preservation of Entomopathogenic Fungi. In: Borgio, J.F., Sahayaraj, K. and Susurluk, I.A. (Eds.), *Microbial Insecticides, Principles and Applications*. Nova Science Publishers Inc., New York, USA, pp. 1-28
- FAO/IAEA, 2019. Use of entomopathogenic fungi for fruit fly control in area-wide SIT programmes (Ed: A. Villaseñor, S. Flores, S. E. Campos, J. Toledo, P. Montoya, P. Liedo & W. Enkerlin, Food and Agriculture Organization of the United Nations/International Atomic Energy Agency: Vienna. 43 pp.
- Fargues, J., Smits, N., Rougier, M., Boulard, T., Ridray, G., Lagier, J., Jeannequin, B., Fatnassi, H. & Mermier, M. (2005). Effect of microclimate heterogeneity and ventilation system on entomopathogenic hyphomycete infection of *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae) in Mediterranean greenhouse tomato. *Biological Control*, 32: 461–472. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2004.12.008>
- Fernández-Bravo, M., Flores-León, A., Calero-López, S., Gutiérrez-Sánchez, F., Valverde-García, P. & Quesada-Moraga, E. (2017) UV-B radiation-related effects on conidial inactivation and virulence against *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera; Tephritidae) of phylloplane and soil *Metarhizium* sp. Strains. *Journal of Invertebrate Pathology*, 148: 142–151. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2017.06.012>
- Foth, H.D., (1984). *Fundamentals of Soil Science*. 7th edition. John Wiley and Sons Inc., New York, pp: 434
- García-Fernández, P., Santiago-Álvarez, C. & Quesada-Moraga, E. (2008). Pathogenicity and thermal biology of mitosporic fungi as potential microbial control agents of *Varroa destructor* (Acari: Mesostigmata), an ectoparasitic mite of honey bee, *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae). *Apidologie* 39: 662–673. DOI: <https://doi.org/10.1051/apido:2008049>
- Hall, G.V., D Souza, R.M., & Kirk, M.D. (2002). Foodborne disease in the new millennium: Out of the frying pan and into the fire? *Medical Journal of Australia*, 177(11/12), 614–619. DOI: 10.5694/j.1326-5377.2002.tb04984.x
- Harvell, C. D., Mitchell, C. E., Ward, J. R., Altizer, S., Dobson, A. P., Ostfeld, R. S. & Samuel, M. D. (2002). Climate warming and disease risks for terrestrial and marine biota. *Science*, 296(5576), 2158–2162. DOI: 10.1126/science.1063699
- Humber, R. A. (1997). Fungi: identification. In: Lacey LA (ed) *Manual of techniques in insect pathology*. Academic Press, San Diego, Chapter V-3, 153–185.
- Humber, R. A. 1998. Entomopathogenic fungal identification. APS/ESA Joint Annual Meeting 8-12 November, Las Vegas, NV.
- IBM Corp. (2010). *SPSS Statistics for Windows*. IBM Corp, Armonk, NY.
- Jackson, M. A., Dunlap, C. A. & Jaronski, S. T. (2010) Ecological considerations in producing and formulating fungal entomopathogens for use in insect biocontrol. *Biocontrol*, 55: 129–145. <https://doi.org/10.1007/s10526-009-9240-y>
- Jarmuł-Pietraszczyk, J., Kamionek, M. & Kania, I., (2011). Occurrence of Entomopathogenic Fungi in Selected Parks and Urban Forests Of The Warsaw District Ursynow. *Ecological Chemistry And Engineering A*, 18(11), 1571–1574.
- Jaronski, S. T (2010) Ecological factors in the inundative use

- of fungal entomopathogens. *Biocontrol*, 55:159–185. <https://doi.org/10.1007/s10526-009-9248-3>
- Keskin, Y., Karabörklü, S., & Altın, N. (2019). Bazı Yerel Entomopatojen Fungusların Toprak Koşullarındaki Etkinliklerinin *Tenebrio molitor* L. (Col.: Tenebrionidae) Larvaları Kullanılarak Araştırılması. *Türkiye Teknoloji ve Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 2(1), 26-31.
- Keyser, C. A., Henrik, H., Steinwender, B. M. & Meyling, N. V. (2015). Diversity within the entomopathogenic fungal species *Metarhizium flavoviride* associated with agricultural crops in Denmark. *BMC Microbiology*, 15, 249.
- Kılıç, E. Erzincan'da Entomopatojen Fungusların Oluşumuna ve Dağılımına Etki Eden Toprak Faktörleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 23, 875-881. DOI: <https://doi.org/10.31590/ejosat.895773>
- Lepetz, V., Massot, M., Schmeller, D.S., & Clobert, J. (2009). Biodiversity monitoring: Some proposals to adequately study species' responses to climate change. *Biodiversity and Conservation*, 18(12), 3185–3203.
- Lu H. L. & St Leger, R. J. (2016). Insect immunity to entomopathogenic fungi. *Advances in Genetics*, 94: 251–285. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.adgen.2015.11.002>
- Medo, J., Cagán, L., 2011. Factors affecting the occurrence of entomopathogenic fungi in soils of Slovakia as revealed using two methods. *Biological Control*, 59, 200–208. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2011.07.020>
- 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. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.4926>
- Ortiz-Urquiza A & Keyhani, N. O. (2013). Action on the surface: entomopathogenic fungi versus the insect cuticle. *Insects*, 4(3); 357–374. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects4030357>
- Qayyum, M. A., Saeed, S., Wakil, W., Nawaz, A., Iqbal, N., Yasin, M., Chaurdhry, M. A., Bashir, M. A., Ahmed, N., Riaz, H., Bilal, H., Hashem, M. & Alamri, S. (2021). Diversity and correlation of entomopathogenic and associated fungi with soil factors. *Journal of King Saud University-Science*, 33(6), 101520. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101520>
- Quesada-Moraga, E., González-Mas, N., Yousef-Yousef, M., Garrido-Jurado, I. & Fernández-Bravo, M. (2024). Key role of environmental competence in successful use of entomopathogenic fungi in microbial pest control. *Journal of Pest Science*, 97, 1–15 (2024). DOI: <https://doi.org/10.1007/s10340-023-01622-8>
- Quesada-Moraga, E., Maranhao, E. A. A., Valverde-García, P. & Santiago-Álvarez, C. (2006). Selection of *Beauveria bassiana* isolates for control of the whiteflies *Bemisia tabaci* and *Trialeurodes vaporariorum* on the basis of their virulence, thermal requirements and toxicogenic activity. *Biological Control*, 36:274–287. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2005.09.022>
- Quesada-Moraga, E., Navas-Cortés, J. A., Maranhao, E. A. A., Ortiz-Urquiza, A. & Santiago-Álvarez, C. (2007). Factors affecting the occurrence and distribution of entomopathogenic fungi in natural and cultivated soils. *Mycological Research*, 111:947–966. <https://doi.org/10.1016/j.mycres.2007.06.006>
- Rath, A.C., (2000). The use of entomopathogenic fungi for control of termites. *Biocontrol Science and Technology*, 10: 563-581. DOI: <https://doi.org/10.1080/095831500750016370>
- Rodríguez-Gómez, D., Loera, O., Saucedo-Castañeda, G. & Viniegra-González, G. (2009) Substrate influence on physiology and virulence of *Beauveria bassiana* acting on larvae and adults of *Tenebrio molitor*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 25:513–518.
- Rosenzweig, C., Iglesias, A., Yang, X., Epstein, P.R., & Chivian, E. (2001). Climate change and extreme weather events; implications for food production, plant diseases, and pests. *Global Change and Human Health*, 2(2), 90–104.
- Rumbos, C. I. & Athanassiou, C. G. (2017). Use of entomopathogenic fungi for the control of stored-product insects: can fungi protect durable commodities? *Journal of Pest Science*, 90:839–854. <https://doi.org/10.1007/s10340-017-0849-9>
- Samson, R. A. (1974). *Paecilomyces* and some allied hypomycetes. *Studies in Mycology*, 6: 1- 119.
- Samson, R.A., H.C. Evans, & J.P. Latge 1988. *Atlas of entomopathogenic fungi*. SpringerVerlag, New York.
- Savary, S., Willocquet, L., Pethybridge, S. J., Esker, P., McRoberts, N. & Nelson, A. (2019). The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nature Ecology & Evolution*, 430:430–439. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0793-y>
- Scholte E. J., B. G. J. Knols, R. A. Samson & W. Takken, (2004). Entomopathogenic fungi for mosquito control: a review. *Journal of Insect Science*, 4(1): 1–24.
- Sevinç, M. S., & İ. Karaca, (2024). Environmental persistence of the conidia of native entomopathogenic fungi and their efficiency on *Ceratitis capitata* (Wiedemann, 1824) (Diptera: Tephritidae). *Turkish Journal of Entomology*, 48(3), 327-342. <https://doi.org/10.16970/entoted.1498947>
- Shah P. A. & J. K. Pell, (2003). Entomopathogenic fungi as biological control agents. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 61(5): 413–423.
- Singh, C. B., Fielke, J. M. (2017). Recent developments in stored grain sensors, monitoring and management technology. *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, 20:32–55. DOI: <https://doi.org/10.1109/MIM.2017.7951690>
- TSE. (1990). *Topraklar- Suyla Doygunluk Tayini*. TS 8333/Nisan-1990, Standardı, Türk Stantları Enstitüsü, Ankara.
- Uzman, D., Pliesterer, J., Leyerb, I., Entling, M. H. & Reineke, A. (2019). Drivers of entomopathogenic fungi presence in organic and conventional vineyard soils. *Applied Soil Ecology*, 133:89–97. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.09.004>

- Vega, F. E., Goettel, M. S., Blackwell, M., Chandler, D., Jackson, M. A., Keller, S., Koike, M., Maniania, N. K., Monz'ón, A. B., Ownley, H., Pell, J. K., Rangel, D. E. N. & Roy, H. E., (2009). Fungal entomopathogens: new insights on their ecology. *Fungal Ecology*, 2(4):149–159. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2009.05.001>
- Vega, F. E., Meyling, N. V., Luangsa-ard, J. J. & Blackwell, M. (2012). Fungal entomopathogens. In: Vega FE, Kaya HK (eds) *Insect Pathology*. 2nd edition. Academic Press, Cambridge, pp. 171–220. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384984-7.00006-3>
- Wang, Y. S., Huang, Y. J., Chen, W. C., & Yen, J. H. (2009). Effect of carbendazim and pencycuron on soil bacterial community. *Journal of Hazardous Materials*, 172(1), 84–91. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.06.142>
- Zettler, J. L., Arthur, F. H. (2000). Chemical control of stored product insects with fumigants and residual treatments. *Crop Protection*, 19: 577–582. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(00\)00075-2](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(00)00075-2)