



## Türk Bilim ve Mühendislik Dergisi Turkish Journal of Science and Engineering

www.dergipark.org.tr/tjse

### Bazı Entomopatojen Fungusların Entomopatojen Nematod *Steinernema feltiae* ile Etkileşimlerine İlişkin Bir Ön Çalışma

Şerife Evrim ARICI<sup>1\*</sup>, Fatma Gül GÖZE ÖZDEMİR<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Isparta, TÜRKİYE

\*Sorumlu yazar: evrimarici@isparta.edu.tr

#### MAKALE BİLGİSİ

Alınış tarihi: 21/11/2024

Kabul tarihi: 18/12/2024

**Anahtar Kelimeler:** *Beauveria spp.*,  
*Biyolojik mücadele*, *Fusarium*  
*subglutinans*, *Metarhizium spp.*,  
*Purpureocillium lilacinum*

**DOI:** 10.55979/tjse.1589147

#### ÖZET

Entomopatojen funguslar (EPF) ve entomopatojen nematodlar (EPN), çok çeşitli böcekleri enfekte edebilen ve öldürebilen toprak organizmalarıdır. Bu organizmalar böcek zararlılarının yönetiminde sıklıkla biyolojik kontrol etmenleri olarak kullanılır. Hem EPF hem de EPN'ler aynı toprak ortamında bulunabilirler ve aynı böcek konukçusu içerisinde rekabet edebilir; sinerjik etkilere antagonistik etkiye kadar değişen sonuçlar gösterebilirler. Bu çalışma EPN *Steinernema feltiae* ile farklı EPF türleri arasındaki ilişkiyi belirlemek ve biyolojik kontrolde kullanımları üzerindeki olası etkilerini araştırmak için yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre nematod yumurta patojeni olan *Purpureocillium lilacinum* uygulamalarında EPN ölümü belirlenmemiş ve reizolasyon çalışmalarında fungus elde edilememiştir. *Fusarium subglutinans* Fs-8 izolatu *S. feltiae*'da infektif juvenil (IJs) ölümlüne (3.5) en az etkili olan fungus olmuştur. *Beauveria bassiana* BIM-001, *Metarhizium robertii*, *M. anisopliae* ISP-12 ve *B. varroe* izolatları *S. feltiae* üzerinde ölümlere neden olmuştur. *M. anisopliae* ISP-1'de 15.3 IJs, *B. bassiana* BY-2 'de 15.5 IJs, *M. anisopliae* ISP-17'de 16.3 IJs ölümler, *P. lilacinum*'de 0.75 IJs, *F. subglutinans* Fs-8'de ise 3.5 IJs ölümleri gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, EPF'lerin *S. feltiae* üzerinde öldürücü etkisinin olabileceği ve bu etkinin tür bazında değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. Bunun nedeni EPF'ler arasındaki mekanizma, patojenite ve toksin farklılığı olabilir. Zararlıların biyolojik kontrolünde EPF ve EPN kombinasyonlarına yönelik ayrıntılı çalışmaların yapılması gerekmektedir.

### A Preliminary Study on the Interactions Between Some Entomopathogenic Fungi and the Entomopathogenic Nematode *Steinernema feltiae*

#### ARTICLE INFO

Received: 21/11/2024

Accepted: 18/12/2024

**Keywords:** *Beauveria spp.*, *Biological control*, *Fusarium subglutinans*, *Metarhizium spp.*, *Purpureocillium lilacinum*

**DOI:** 10.55979/tjse.1589147

#### ABSTRACT

Entomopathogenic fungi (EPF) and entomopathogenic nematodes (EPN) are soil organisms that can infect and kill a wide variety of insects. These organisms are frequently used as biological control agents in the management of insect pests. Both EPF and EPN can be found in the same soil environment and can compete within the same insect host; they can show synergistic to antagonistic effects. This study was conducted to determine the relationship between EPN *Steinernema feltiae* and different EPF species and to investigate their possible effects on their use in biological control. According to the results obtained, EPN mortality was not detected in the applications of *Purpureocillium lilacinum*, the nematode egg pathogen, and the fungus could not be obtained in reisolation studies. *Fusarium subglutinans* Fs-8 isolate was the least effective fungus in *S. feltiae* infective juvenile (IJs) mortality (3.5). *Beauveria bassiana* BIM-001, *Metarhizium robertii*, *M. anisopliae* ISP-12 and *B. varroe* isolates caused mortality on *S. feltiae*. While 15.3 IJs died in *M. anisopliae* ISP-1, 15.5 IJs died in *B. bassiana* BY-2, 16.3 IJs died in *M. anisopliae* ISP-17, 0.75 IJs died in *P. lilacinum*, and 3.5 IJs died in *F. subglutinans* Fs-8. According to the results obtained, it was determined that EPFs may have a lethal effect on *S. feltiae* and this effect varies depending on the species. This may be due to the differences in mechanism, pathogenicity, and toxin among EPFs. Detailed studies should be conducted on EPF and EPN combinations in the biological control of pests.

#### 1. Giriş

Toprakta çok sayıda yararlı organizma bulunmakta ve ekolojik olaylarda önemli rol oynamaktadırlar (Cavigelli vd., 2012). Entomopatojen funguslar ve entomopatojen nematodlar, çok çeşitli böcekleri enfekte edebilen ve öldürebilen, dünyanın her yerinde bulunabilen toprak organizmalarıdır. Entomopatojen nematodlar (EPN'ler) ve funguslar (EPF'ler), doğal alanlardan tarımsal ekosisteme kadar uzanan topraklarda yaygın olarak dağılmış iyi bilinen biyolojik kontrol etmenleridir, bu nedenle, bu organizmalar böcek zararlıları ile mücadelede sıklıkla

tercih edilmektedir (Charnley & Collins, 2007; Campos-Herrera, 2015; Lacey vd., 2015).

*Steinernematidae* ve *Heterorhabditidae* (Takım: Rhabditida) familyalarındaki EPN'ler *Enterobacteriaceae* familyasının *Xenorhabdus* ve *Photorhabdus* bakterileriyle kurdukları simbiyotik ilişki sonucu böcekleri öldürmektedirler ve tarımsal mücadelede ticari olarak kullanılmaktadırlar (Hominick, 2002; Lacey vd., 2015; Stock, 2015, Abd El Azim & Khashaba 2021). Her iki bakteri de antibiyotikler, hücre içi protein kristalleri ve çok sayıda başka ürün üretir (Forst vd., 1997). EPN'ler konukçu

böcek hemosolü içerisine girerler ve simbiyotik ilişkide olduğu bakteriyi içerisine bırakırlar, bu bakteriler hızla üreyerek ürettikleri toksin vb. bileşiklerle böceği 24-48 saat içerisinde kan zehirlenmesinden öldürmektedirler (Kaya & Gaugler, 1993; Shapiro-Ilan vd., 2004). Konukçunun ölümünden sonra da nematod gelişimi ve bakteri üremesi devam eder, yiyecek ve atık ürünleri sınırlayıcı hale gelene kadar böcek cesedinin içinde birkaç jenerasyon tamamlar (San-Blas vd., 2008). Bakteriler kadavra içerisinde hızla çoğaldıktan sonra üreme safhalarının sonuna doğru, buldukları ortamı diğer mikroorganizmalara karşı koruyacak bir takım antimikrobiyal bileşikler üretmektedirler (Forst & Clarke, 2002; Clarke & Eberl, 2006). Bu antimikrobiyal bileşikler diğer, fungus, bakteri virüs ve protozoon'lara karşı etkili olan antimikrobiyallerle *Photorhabdus* türlerine yakın olan bakterilere karşı aktif olan xenorhabdysin ve lumisinler gibi bakteriosinleri içermektedir (Webster vd., 2002). Hem nematod hem de bakteriler, *Xenorhabdus* ve *Photorhabdus* bakterileri tarafından üretilen antibakteriyal (Webster vd. 2002; Boemare & Akhurst 2006; Furgani vd., 2008), antifungal (Chen vd., 1994; Webster vd., 2002; Shaurup vd., 2016) ve sekonder metabolitler (Strasser vd., 2000; Donatti vd., 2008) üzerine yürütülmüş pek çok çalışma bulunmaktadır.

EPF'ler, birçok ülkede 200 yıldan uzun süredir zararlı biyolojik kontrol etmenleri olarak kullanılmaktadır (Donatti vd., 2008; Lacey vd., 2015). EPF'lerin çoğu eklem bacaklı konaklarla etkileşimin farklı parazitik ve saprofitik fazlarını gösterir (Charnley & Collins, 2007). Parazitik faz, EPF sporunun konakla temasıyla oluşan fungus enfeksiyonuyla başlar (Oreste vd., 2012). Bir temas etki modu aracılığıyla böcek hemosölünü istila ederek doğrudan böcek kütikülüne nüfuz eder ve böcek vücut boşluğunun içine, böceği öldürmek için toksik sekonder metabolitler ve kadavrada bakteri çoğalmasını önlemek için antibiyotikler salgılar (Charnley & Collins, 2007; Donatti vd., 2008). Böcek ölümünden sonra, EPF, yeni konaklara dağılmak üzere ortaya çıkan hava misellerinde aktif hif büyümesi ve üreme yapılarının üretimi ile saprofitik bir faza geçer. Böcek daha sonra vücudunun içinde oluşan fungus tarafından öldürülür (Litvin vd., 2020). *Beauveria*, *Metarhizium*, *Paecilomyces* türleri de dahil olmak üzere çeşitli fungal biyolojik kontrol etmenlerinde çeşitli toksik metabolitler tanımlanmıştır. Bu metabolitlerin bazılarının böcek zararlılarına ve hastalıklarına karşı antibiyotik, fungisidal veya insektisidal özellikler gösterdiği bulunmuştur (Maina vd., 2018; Barra-Bucarei vd., 2019; Ma vd., 2024).

Hem EPN'ler hem de EPF toprak ortamını paylaşır ve bu nedenle aynı böcek konakçısına bulaşabilir ve rekabet edebilir. Konakçılar içindeki etkileşimleri hakkındaki mevcut bilgilerimiz esas olarak laboratuvar deneylerinden gelmektedir. Her iki etmende birlikte böceklerle saldırıda sinerjistik etkiler de gösterilebilir (Shapiro-Ilan vd., 2004; Navarro vd., 2014; Shaurub vd., 2016), antagonistik bir etkide üretebilirler (Sahab, 2012). Böcek zararlılarını hedef alan çalışmalarda, EPN'lerin diğer patojenlerle belirli kombinasyonlarından sinerjik ve antagonistik

etkileşimler gözlemlenmiştir (Ansari vd., 2008). Şimdiye kadar yürütülen çalışmalar, esas olarak laboratuvar koşullarında böcek öldürücü etkinliklerini artırmak için her iki biyolojik kontrol ajanı grubunun birlikte kullanımına odaklanmıştır, ancak etkileşimleri ve EPN'lerin ve EPF'nin doğal koşullar altındaki olası performansları büyük ölçüde bilinmemektedir (Pūza & Tarasco, 2023). Biyolojik kontrol stratejilerinde EPF kullanımına ilişkin en büyük endişeler, predatörler, parazitoitler ve diğer hedef dışı organizmalar gibi böcek zararlılarının doğal düşmanları üzerindeki olası yan etkileri olmuştur. Polinatörler, solucanlar, örümcekler, bal arıları, karıncalar, diğer sosyal böcekler vb. dahil olmak üzere farklı hedef dışı organizmalara karşı olası yan etkiler açısından çeşitli EPF'leri değerlendirmek için laboratuvar, serada ve sahada çeşitli çalışmalar yürütülmüştür. Bu raporlardan birkaçı, EPF'nin bal arıları, bombus arıları, ipek böcekleri ve böcek zararlılarının diğer doğal düşmanları üzerindeki olumsuz etkilerine dair kanıtlar sağlamıştır (Bamisile vd., 2021).

Sonuç olarak, zararlı böceklerin mücadelesinde daha iyi sonuçlar alabilmek amacıyla odaklanılan birlikte kullanımda EPF ve EPN biyolojik kontrol etmenleri arasındaki olası etkileşimlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu etkileşimlerin doğal patojen popülasyonları ve biyolojik kontrolde kullanımları üzerindeki olası etkilerinin araştırılması başarı şansının artırılması yönünden önemlidir. Bu çalışmada *in vitro* da petriyelerle yürütülen denemelerde 4 farklı EPF cinsinin (*Purpureocillium*, *Fusarium*, *Beauveria* ve *Metarhizium*) EPN türü *Steinernema feltiae* IJ üzerindeki patojenitesi değerlendirilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Entomopatojen funguslar

Yapılan bu çalışmada *Purpureocillium lilacinum*, *Fusarium subgulitinans* (Fs-8 ve Fs-12), *Beauveria bassiana* (BY-2 ve BIM-001), *Beauveria varroae*, *Metarhizium robertii*, *Metarhizium anisopliae* (ISP-1, ISP-12, ISP-17) izolatları kullanılmıştır. Bu izolatlar denemede kullanılıncaya kadar +4 C°'de PDA içeren eğik ağar ortamında muhafaza edilmiştir. *Purpureocillium lilacinum*, *Beauveria varroae*, *Metarhizium robertii* Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü'nden tedarik edilmiştir. *Beauveria bassiana* (BY-2 ve BIM-001) izolatları Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü Entegre Mücadele Laboratuvarı'ndan tedarik edilmiştir.

### 2.2. Entomopatojen nematod

Entomopatojen nematod olarak kullanılan *Steinernema feltiae* Bioglobal Zirai Biyolojik Sistemler Tar. Dan. Gıd. Tar. San. ve Tic. A.Ş. den ticari olarak tedarik edilmiştir. Her bir uygulamada *Steinernema feltiae* her tüpe 100 adet infektif juvenil (IJs)/100 mikrolitre konulmuştur.

### 2.3. Entomopatojen fungusların spor süspansiyonlarının hazırlanması

Entomopatojen funguslar  $25\pm 1^\circ\text{C}$  sıcaklıkta 10 gün PDA ortamı üzerinde kültüre alınmıştır. Gelişme periyodunun sonunda, her bir petri üzerine 5 mL steril saf su eklenmiş ve cam bağıet yardımıyla kazınarak sporların su içerisine geçmesi sağlanmış, spor süspansiyonları iki katlı tülbent ile süzülerek misel yapıları uzaklaştırılmıştır. Elde edilen spor süspansiyonları hemositometre kullanılarak  $1\times 10^8$  spor/ mL konsantrasyona ayarlanmıştır (Thungrabeab & Tongma, 2007). Denemede kullanılacak olan spor süspansiyonlarının içerisine % 0.02 Tween 20 ilave edilmiştir.

### 2.4. Entomopatojen fungusların *Steinernema feltiae* üzerine uygulanması

Denemede 2 mL'lik tüplere *S. feltiae* her tüpe 100 adet IJs/100 mikrolitre gelecek şekilde konulmuştur. Spor süspansiyonu hazırlanan izolatlardan hazırlanmış  $1\times 10^8$  spor/mL konsantrasyondan 1.9 mL alınarak tüpler içerisinde bulunan 100 adet IJs nematodun üzerine konulmuştur. Kontrol grubu tüplere ise, aynı yöntem ile 1.9 mL %0.02 Tween 20 içeren steril saf su uygulanmıştır. Deneme tesadüf parselleri deneme deseninde her EPF için 5 tekrür olacak şekilde kurulmuş ve  $25\pm 1^\circ\text{C}$  sıcaklıkta inkübe edilmiştir. İnkübasyonun 3. gününde sayımlar yapılmış, 5. günün sonunda ölümlerin uygulanan entomopatojen fungustan meydana geldiğini doğrulamak için ölü bireylerden teyit amacıyla reizolasyon yapılmıştır.

### 2.5. Verilerin analizi

Bu çalışmada elde edilen veriler IBM SPSS® Statistics (Version 20.0, August 2011, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) paket programı yardımıyla tek yönlü varyans analizi (One-Way ANOVA) gerçekleştirildikten sonra Tukey çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır ( $p\leq 0.05$ ).

### 3. Bulgular ve Tartışma

Yapılan bu çalışmada farklı EPF türlerinin *S. feltiae*'ye etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre nematod yumurta patojeni olan *P. lilacinum* uygulamalarında *S. feltiae* ölümü belirlenmemiş ve reizolasyon çalışmalarında fungus elde edilememiştir. Yapmış olduğumuz uygulamalarda *F. subglutinans* Fs-8 izolatı *S. feltiae*'da 3.5 IJs ölümüne neden olarak en az etkili olan funguslardan birisi olmuştur. Bunun yanısıra *B. bassiana* BIM-001, *M. robertii*, *M. anisopliae* ISP-12 ve *B. varroe* izolatlarının *S. feltiae* üzerinde az da olsa ölüme neden olduğu saptanmıştır. Bu çalışmada istatistiksel olarak en fazla *S. feltiae* ölümlerine *B. bassiana* BY-2 izolatı, *M. anisopliae* ISP-1 ve ISP-17 izolatlarının neden olduğu görülmüştür (Çizelge 1). *Metarhizium anisopliae* ISP-1 uygulamasında 15.3 IJs, *Beauveria bassiana* BY-2 uygulamasında 15.5 IJs, *Metarhizium anisopliae* ISP-17 uygulamasında 16.3 IJs ölümleri gözlenmiştir. Bu da uygulamada kullanılan entomopatojen fungusların izolat farklılığından, mekanizmalarından veya toksin izolatların

salgıladığı toksin bileşik ve miktarlarının farklılığından kaynaklanabilir (Donatti vd., 2008; Shaurup vd., 2016; Litvin vd., 2020; Ma vd., 2024).

Ayrıca elde edilen sonuçlara göre, aynı EPF fungusunun farklı türlerinin entomopatojen nematod üzerinde etkisi farklı olmuştur. Denemede iki adet *F. subglutinans* izolatı kullanılmıştır. Bu izolatlardan Fs-8 izolatının *S. feltiae* nematodu üzerinde düşük oranda ölümlere (3.5 IJs) neden olduğu tespit edilirken Fs-12 izolatının nematodlarda (11.0 IJs) istatistiksel olarak farklı düzeyde ölümlere neden olduğu belirlenmiştir. Diğer bir fungus *B. bassiana* BY-2 izolatı 15.5 IJs ölümlerine neden olurken, *B. bassiana* BIM-001 izolatı ise 7.8 IJs ölümüne neden olmuştur. *Metarhizium anisopliae* ISP-12 izolatında 10.8 IJs ölümleri, *M. anisopliae* ISP-1 ve *M. anisopliae* ISP-17 izolatlarında sırasıyla 15.7 ve 16.3 IJs ölümleri gözlenmiştir (Çizelge 1). Bunun izolatların patojenite farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu da EPF ve EPN kombinasyonlarında EPF'nin virülensliğinin önemli olduğunu ve antagonist ilişki olabileceğini göstermektedir. Çeşitli EPF ve EPN türü kombinasyonları ile çalışılıp biyolojik mücadele için antagonistik ilişki oluşturmaya meydana getirilmesi entegre mücadele açısından yeni stratejilerin belirlenmesini sağlayacaktır.

EPF ve EPN'lerin beraber kullanımı katkısız (ilave), sinerjik veya antagonistik olmak üzere farklı etkileşim türleri üretebilir: Katkısız etkide tipik olarak etkenler bağımsız hareket ettiği için hedef organizma üzerindeki etkiyi, her birinin etkisinin toplamı olarak ifade eder. Sinerjik ilişkide, sonucun parçaların toplamından daha büyük olduğu bir etkileşimi ifade eder, örneğin bir etkenin hedef organizmayı diğerine karşı daha duyarlı hale getirmesi gibi; ve antagonistik ilişki de, etkenlerin rekabet halinde olduğu veya birbirleriyle olumsuz bir etkileşime girmesi söz konusudur (Ansari vd., 2008; Koppenhöfer & Grewal, 2005; Tarasco vd. 2011). EPN ve EPF, etkilerinin toplamının sinerjik olması konağı karşılıklı olarak zayıflatabilir. Alternatif olarak, her organizmanın (nematod veya fungus) toksinleri veya antibiyotik özellikleri diğerini etkileyebilir ve bu nedenle etkileşimler antagonistik olabilir. Genellikle EPF ve EPN kombinasyon uygulamalarında böceklerde antagonistik etki (Shapiro-Ilan vd., 2004, Ansari vd., 2008, Wu vd., 2014) ya da sinerjistik etki görülmektedir (Ansari vd., 2008, Correa-Cuadros vd., 2016). Choo vd. (2002), Kore'deki golf sahalarında *Ectinohoplia rufipes* (Motschulsky) ve *Exomala orientalis*'e (Waterhouse) karşı iki EPN türü *S. carpocapsae* ve *H. bacteriophora* ile fungus *B. brongniartii*'nin etkinliğini araştırmışlardır. *Beauveria brongniartii* ve *S. carpocapsae*'nin aynı anda kullanılmasında, fungusun tek başına uygulanmasına kıyasla veya her iki nematod *S. carpocapsae* ve *H. bacteriophora*'nın uygulanmasıyla karşılaştırıldığında zararlı ölüm oranında önemli bir artışa yol açtığı tespit edilmiştir. Ansari vd. (2006), fungusdan sonra nematodlarla enfekte olan böceklerdeki sinerji mekanizmasının, fungus enfeksiyonunun besin alımını ve vücut homeostazını etkileyerek konakçıya stres vermesi ve sonuç olarak sağlıklı böcek larvalarında nematod

enfeksiyonunun arttığını ve bunun nedeninin böcek larvalarındaki yenme mekanizmalarını azaltması olarak öne sürmüştür. Ek olarak, fungusla enfekte olan böcekler daha fazla solunum yapar ve karbondioksit gradyanını takip eden entomopatojen nematodları çeker (Ansari vd., 2008). Barbercheck & Kaya (1990), *H. bacteriophora* ve

*S. carpocapsae*'nin ikili enfekteli konaklarda *B. bassiana* ile uyumlu olmadığını, genellikle her iki etkene maruz kalan *G. mellonella*'da sadece nematod veya fungusların gelişip yavru ürettiğini belirtmişlerdir.

Çizelge 1. Farklı entomopatojen fungus türlerinin *Steinernema feltia* üzerindeki ölüm etkisi.

Entomopatojen Fungus	Ölü birey sayısı (IJs)+Standart Hata* (IJs)
<i>Purpureocillium lilacinum</i>	0.75±0.75 a*
<i>Fusarium subgulitinans</i> Fs-8	3.5±1.5 ab
<i>Fusarium subgulitinans</i> Fs-12	11.0±1.6 bc
<i>Beauveria bassiana</i> BY-2	15.5±2.5 c
<i>Beauveria bassiana</i> BIM-001	7.8±1.3 abc
<i>Beauveria varroae</i>	7.7±1.2 abc
<i>Metarhizium robertii</i>	9.5±2.6 abc
<i>Metarhizium anisopliae</i> ISP-1	15.3±2.7 c
<i>Metarhizium anisopliae</i> ISP-12	10.8±1.8 abc
<i>Metarhizium anisopliae</i> ISP-17	16.3±3.9 c
Kontrol	0.75±0.4 a

\*Aynı sütundaki küçük harfler funguslar arasındaki istatistiksel farkı göstermektedir.  $p \leq 0.05$

#### 4. Sonuç

Entomopatojen funguslar ve nematodların birlikte kullanımı son yıllarda giderek artan bir ilgi görmüştür ve son birkaç yılda birçok çalışma ortaya çıkmıştır. Entomopatojen funguslar ve nematodların ortak uygulamasına ilişkin mevcut araştırmalar, yaklaşık 7 fungus türü ve 10 nematod türünü içermekte olup, çalışmaların çoğunda nematodlar *H. bacteriophora* ve *S. carpocapsae* ile funguslar *B. bassiana* ve *M. anisopliae* kullanılmıştır. Araştırma sonucunda bazı uygulamalarda entomopatojen nematod ve fungus uygulamalarında sinerjik etki bazı uygulamalarda ise antagonistik etki bildirilmiştir. Rekabete yanıt olarak, parazitler ve patojenler rakiplerine göre büyüme veya üreme şanslarını artıran çeşitli stratejiler sergilemişlerdir. *Xenorhabdus* ve *Photorhabdus* bakterilerinin sekonder metabolitlerinin böcek konakçıları içindeki entomopatojen nematodlar ve fungusların rekabeti sırasında etkili olduğu bulunmuştur. Örneğin, *X. nematophila*, agar plakalarında *B. bassiana*'nın büyümesini engellemiştir (Barbercheck ve Kaya, 1990). Başka bir çalışmada, *Photorhabdus luminescens*, *Metarhizium anisopliae*, *B. bassiana*, *B. brongniartii* ve *C. fumosorosea*'nın büyümesini ve konidial üretimini engellemiştir (Ansari vd., 2005). Entomopatojen funguslarla çift enfeksiyonlar sırasında, bazı çalışmalarda nematodlar üzerinde olumsuz etkiler kaydedilmiştir (Husein vd., 2016; Püza ve Tarasco, 2023). Doğal olarak, entomopatojen funguslar böcek konaklarını öldürmek için birçok toksik metabolit üretmektedir. Ansari vd., (2005) *M. anisopliae*'nin *P. luminescens* ve *Xenorhabdus poinarii*'nin büyümesini engellediğini belirtmişlerdir. Benzer şekilde, *B. bassiana*'dan elde edilen sekonder metabolitler *X. bovienii*'nin büyümesini engellemiştir (Tarasco, vd., 2011).

Elde edilen sonuçlara göre, EPF farklılığının EPN üzerindeki etkisinde değişkenlikler olduğu ve aynı EPF fungusunun farklı türlerinin de EPN üzerinde etkisinin farklı olduğu tespit edilmiştir. *Purpureocillium lilacinum* hariç çalışmada kullanılan fungusların *S. feltiae* üzerinde düşüğe olsa ölüme neden olduğu ve 100 IJS inokulum yoğunluğunda 3 gün sonunda ölü IJs sayısının 3.5-16.3 arasında değişim gösterdiği saptanmıştır. Bunda çok sayıda faktör (mekanizma, patojenite, tür, izolat ve salgılanan bileşik) etkili olabilir. EPF lerin sonuçlar EPF ve EPN kombinasyonlarında EPF'nin virülensliğinin önemli olduğu ve antagonist ilişkisi olabileceğini göstermektedir. EPF ve EPN ilişkilerinin daha ayrıntılı çalışılması gerekmektedir. Zararlıların biyolojik kontrolünde yaygın kullanılan EPF ve EPN türü kombinasyonları ile çalışılıp biyolojik mücadele için antagonistik ilişki oluşturmeyen kombinasyonların meydana getirilmesi entegre mücadele açısından yeni stratejilerin belirlenmesini sağlayacaktır.

#### 5. Teşekkür

*Purpureocillium lilacinum*, *Beauveria varroae* ve *Metarhizium robertii*, funguslarının temininde yardımcı olan Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü'nden Prof. Dr. Kubilay ER'e, *Beauveria bassiana* (BY-2 ve BIM-001) izolatlarının temininde yardımcı olan Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü'nden Doç.Dr. Asiye UZUN YİĞİT'e teşekkür ederiz.

#### Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

## 6. Kaynaklar

- Abd El Azim, A. M., Khashaba, E. H., & El Kady, G. A. (2024). Effectiveness study of the dual application of new Indigenous entomopathogenic nematode isolate *Heterorhabditis taysearae* and entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* against armyworm (Spodoptera frugiperda). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 34(1), 41.
- Ansari, M. A., Shah, F. A., & Butt, T. M. (2008). Combined use of entomopathogenic nematodes and *Metarhizium anisopliae* as a new approach for black vine weevil, *Otiiorhynchus sulcatus*, control. *Entomologia Experimentalis Et Applicata*, 129(3), 340-347.
- Ansari, M. A., Shah, F. A., Tirry, L., & Moens, M. (2006). Field trials against *Hoplia philanthus* (Coleoptera: Scarabaeidae) with a combination of an entomopathogenic nematode and the fungus *Metarhizium anisopliae* CLO 53. *Biological Control*, 39(3), 453-459.
- Ansari, M. A., Tirry, L., & Moens, M. (2005). Antagonism between entomopathogenic fungi and bacterial symbionts of entomopathogenic nematodes. *BioControl*, 50, 465-475.
- Ansari, M. A., Tirry, L., & Moens, M. (2004). Interaction between *Metarhizium anisopliae* CLO 53 and entomopathogenic nematodes for the control of *Hoplia philanthus*. *Biological Control*, 31(2), 172-180.
- Bamisile, B. S., Siddiqui, J. A., Akutse, K. S., Ramos Aguila, L. C., & Xu, Y. (2021). General limitations to endophytic entomopathogenic fungi use as plant growth promoters, pests and pathogens biocontrol agents. *Plants*, 10(10), 2119.
- Barberchek, M. E., & Kaya, H. K. (1990). Interactions between *Beauveria bassiana* and the entomogenous nematodes, *Steinernema feltiae* and *Heterorhabditis heliothidis*. *Journal of Invertebrate Pathology*, 55(2), 225-234.
- Barra-Bucarei, L., France Iglesias, A., & Pino Torres, C. (2019). Entomopathogenic fungi. In *Natural Enemies of Insect Pests in Neotropical Agroecosystems: Biological Control and Functional Biodiversity*. (pp. 123-136)
- Boemare, N. O. E. L., & Akhurst, R. (2006). The genera *Photorhabdus* and *Xenorhabdus*. *Prokaryotes*, 6, 451-494.
- Campos-Herrera, R. (2015). Nematode pathogenesis of insects and other pests. In *Ecology and applied technologies for sustainable plant and crop protection*. (pp. 10-1007)
- Cavigelli, M. A., Maul, J. E., & Szlavecz, K. (2012). Managing soil biodiversity and ecosystem services. In *Soil Ecology and Ecosystem Services*. (pp. 337-358)
- Charnley, A. K., & Collins, S. A. (2007). 10 entomopathogenic fungi and their role in pest control. *Environmental and Microbial Relationships*, 4, 159.
- Choo, H. Y., Kaya, H. K., Huh, J., Lee, D. W., Kim, H. H., Lee, S. M., & Choo, Y. M. (2002). Entomopathogenic nematodes (*Steinernema* spp. and *Heterorhabditis bacteriophora*) and a fungus *Beauveria brongniartii* for biological control of the white grubs, *Ectinohoplia rufipes* and *Exomala orientalis*, in Korean golf courses. *Biocontrol*, 47, 177-192.
- Clarke, D. J., & Eberl, L. (2006). Interactions between bacteria and nematodes. In *Intestinal Microorganisms of Termites and Other Invertebrates*. (pp. 55-64)
- Correa-Cuadros, J. P., Sáenz-Aponte, A., & Rodríguez-Bocanegra, M. X. (2016). In vitro interaction of *Metarhizium anisopliae* Ma9236 and *Beauveria bassiana* Bb9205 with *Heterorhabditis bacteriophora* HNI0100 for the control of *Plutella xylostella*. *SpringerPlus*, 5, 1-8.
- Donatti, A. C., Furlaneto-Maia, L., Fungaro, M. H. P., & Furlaneto, M. C. (2008). Production and regulation of cuticle-degrading proteases from *Beauveria bassiana* in the presence of *Rhammatocerus schistocercoides* cuticle. *Current Microbiology*, 56, 256-260.
- Forst, S., Dowds, B., Boemare, N., & Stackebrandt, E. (1997). *Xenorhabdus* and *Photorhabdus* spp.: bugs that kill bugs. *Annual Review of Microbiology*, 51(1), 47-72.
- Furgani, G., Böszörményi, E., Fodor, A., Máthé-Fodor, A., Forst, S., Hogan, J. S., ... & Wolf, S. L. (2008). *Xenorhabdus* antibiotics: a comparative analysis and potential utility for controlling mastitis caused by bacteria. *Journal of Applied Microbiology*, 104(3), 745-758.
- Hussein, H. M., Skoková Habušťová, O., Půža, V., & Zemek, R. (2016). Laboratory evaluation of *Isaria fumosorosea* CCM 8367 and *Steinernema feltiae* Ustinov against immature stages of the Colorado potato beetle. *PLoS One*, 11(3), e0152399.
- Hominick, W. M. (2002). Biogeography. In *Entomopathogenic nematology*. (pp. 115-143)
- Kaya, H. K., & Gaugler, R. (1993). Entomopathogenic nematodes. *Annual Review of Entomology*, 38, 181-206.
- Koppenhöfer, A. M., & Grewal, P. S. (2005). Compatibility and interactions with agrochemicals and other biocontrol agents. In *Nematodes as biocontrol agents*. (pp. 363-381)
- Lacey, L. A., Grzywacz, D., Shapiro-Ilan, D. I., Frutos, R., Brownbridge, M., & Goettel, M. S. (2015). Insect pathogens as biological control agents: Back to the future. *Journal of Invertebrate Pathology*, 132, 1-41.
- Litwin, A., Nowak, M., & Różalska, S. (2020). Entomopathogenic fungi: unconventional applications. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 19(1), 23-42.
- Ma, M., Luo, J., Li, C., Eleftherianos, I., Zhang, W., & Xu, L. (2024). A life-and-death struggle: interaction of insects with entomopathogenic fungi across various infection stages. *Frontiers in Immunology*, 14, 1329843.
- Maina, U. M., Galadima, I. B., Gambo, F. M., & Zakaria, D. J. J. O. E. (2018). A review on the use of entomopathogenic fungi in the management of insect pests of field crops. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 6(1), 27-32.
- Navarro, P. D., McMullen II, J. G., & Stock, S. P. (2014). Interactions between the entomopathogenic nematode *Heterorhabditis sonorensis* (Nematoda: Heterorhabditidae) and the saprobic fungus *Fusarium oxysporum* (Ascomycota: Hypocreales). *Journal of Invertebrate Pathology*, 115, 41-47.
- Půža, V., & Tarasco, E. (2023). Interactions between entomopathogenic fungi and entomopathogenic nematodes. *Microorganisms*, 11(1), 163.
- San-Blas, E., Gowen, S. R., & Pembroke, B. (2008). *Steinernemafeltiae*: *Ammonia* triggers the emergence of their infective juveniles. *Experimental Parasitology*, 119(1), 180-185.
- Sahab, A. F. (2012). Antimicrobial efficacy of secondary metabolites of *Beauveria bassiana* against selected bacteria and phytopathogenic fungi. *Journal of Applied Sciences Research*, 8(3), 1441-1444.
- Shapiro-Ilan, D. I., Jackson, M., Reilly, C. C., & Hotchkiss, M. W. (2004). Effects of combining an entomopathogenic fungi or bacterium with entomopathogenic nematodes on mortality of *Curculio caryae* (Coleoptera: Curculionidae). *Biological Control*, 30(1), 119-126.
- Shaurub, E. S. H., Reyad, N. F., Abdel-Wahab, H. A., & Ahmed, S. H. (2016). Mortality and nematode production in Spodoptera littoralis larvae in relation to dual infection with *Steinernema riobrave*, *Heterorhabditis bacteriophora*, and *Beauveria bassiana*, and the host plant. *Biological Control*, 103, 86-94.
- Stock, S. P. (2015). Diversity, biology and evolutionary relationships. In *Nematode pathogenesis of insects and other pests: Ecology and applied technologies for sustainable plant and crop protection*. (pp. 3-27)
- Strasser, H., Abendstein, D., Stuppner, H., & Butt, T. M. (2000). Monitoring the distribution of secondary metabolites produced by the entomogenous fungus *Beauveria brongniartii* with particular reference to oosporein. *Mycological Research*, 104(10), 1227-1233.
- Tarasco, E., Santiago Alvarez, C., Triggiani, O., & Quesada Moraga, E. (2011). Laboratory studies on the competition for insect haemocoel between *Beauveria bassiana* and *Steinernema ichnusae* recovered in the same ecological niche. *Biocontrol Science and Technology*, 21(6), 693-704.
- Thungrabeab, M., & Tongma, S. (2007). Effect of entomopathogenic fungi, *Beauveria bassiana* (Balsam) and *Metarhizium anisopliae* (Metsch) on non target insects. *Current Applied Science and Technology*, 7(1-1), 8-12.
- Webster, J. M., Chen GenHui, C. G., Hu KaiJi, H. K., & Li JianXiong, L. J. (2002). Bacterial metabolites. In *Entomopathogenic Nematology*. (pp. 99-114)
- Wu, S., Youngman, R. R., Kok, L. T., Laub, C. A., & Pfeiffer, D. G. (2014). Interaction between entomopathogenic nematodes and entomopathogenic fungi applied to third instar southern masked chafer white grubs, *Cyclocephala lurida* (Coleoptera: Scarabaeidae), under laboratory and greenhouse conditions. *Biological Control*, 76, 65-73.