MANTAR ÜRETİM ALANLARINDA MANTAR SİNEĞİ *Lycoriella ingenua* Dufour (DIPTERA: SCIARIDAE)'A KARŞI ENTOMOPATOJEN NEMATOD *Steinernema feltiae* Filipjev (RHABDITIDA: STEINERNEMATIDAE)'İN KULLANIMININ MANTAR VERİMİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Görkem ATEŞ

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MANTAR ÜRETİM ALANLARINDA MANTAR SİNEĞİ *Lycoriella ingenua* Dufour (DIPTERA: SCIARIDAE)'A KARŞI ENTOMOPATOJEN NEMATOD *Steinernema feltiae* Filipjev (RHABDITIDA: STEINERNEMATIDAE)'İN KULLANIMININ MANTAR VERİMİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Görkem ATEŞ
0009-0000-6203-8678

Prof. Dr. İsmail Alper SUSURLUK
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİTKİ KORUMA ANABİLİM DALI

BURSA – 2024
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans

MANTAR ÜRETİM ALANLARINDA MANTAR SİNEĞİ *Lycoriella ingenua* Dufour (DIPTERA: SCIARIDAE)'A KARŞI ENTOMOPATOJEN NEMATOD *Steinernema feltiae* Filipjev (RHABDITIDA: STEINERNEMATIDAE)'İN KULLANIMININ MANTAR VERİMİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Görkem ATEŞ

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Bitki Koruma Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İsmail Alper SUSURLUK

Bu çalışma, Türkiye'de kültür mantarı *Agaricus bisporus* üretiminde mantar sineklerine *Lycoriella ingenua* Dufour (Diptera: Sciaridae) karşı entomopatojen nematod (EPN) *Steinernema feltiae* Filipjev (Rhabditida: Steinernematidae) farklı dozlarının mücadele potansiyelini ve bu potansiyelin mantar verimi üzerindeki etkilerini hedeflemektedir. Bu çalışma kapsamında, çift doz uygulamaları üretimi takip eden 3-7, 7-14, ve 3-14 günlerde her uygulamada 2.50 × 10^8 EPN/300 m² nematod ve tek doz uygulamaları üretimi takip eden 3, 7, ve 14. günlerde 5.00 × 10^8 EPN/300 m² dozları kullanılarak, mantar üretim odalarında uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Kontrol için mantar sineklerine ruhsatlı olan Rufast isimli Acrinathrin etken maddeli kimyasal ilaç tek doz şeklinde kullanılmıştır. Farklı doz ve farklı zamanlarda yapılan uygulamalar sonucunda kompostun mantar verim ölçümleri, en yüksek 3-7. günde %28.56 ile her günde 2.50 × 10^8 EPN/300 m² dozunda, en düşük verimin ise %22.78 ile kontrol grubunda olduğunu göstermiştir. Kompost veriminde EPN uygulamaları ortalama en yüksek %3.5 verim farkı gözlenmiştir. Ek olarak mantar sapından gözlemlenen mantar kalitesinde de artış gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, EPN uygulanmasının kimyasal mücadeleye göre mantar veriminde anlamlı bir artış sağlandığını ortaya koymaktadır. Literatürde yer alan benzer çalışmalarla uyumlu olarak, EPN'lerin mantar sineklerini etkin bir şekilde mücadele ettiği ve mantar üretiminde verim artışı sağladığı doğrulanmıştır. Çalışmanın özgün değeri, *S. feltiae'n*in biyolojik mücadele ajanı olarak kullanımının kimyasal pestisitlere sürdürülebilir bir alternatif sunması ve ekonomi ile çevresel açıdan faydalı bir çözüm olmasıdır. Bu bulgular, *S. feltiae'n*in mantar üretiminde yaygın olarak kullanılması için önemli bir temel oluşturarak, biyolojik mücadele stratejilerinin tarımda daha etkili ve yaygın kullanılmasına katkıda bulunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Steinernema feltiae, Agaricus bisporus*, Mantar Sineği (Sciaridae), Biyolojik Mücadele, Tarımda Sürdürülebilirlik
2024, xiii + 40 Sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

INVESTIGATIONS ON THE EFFECTS OF THE USE OF ENTOMOPATHOGENIC NEMATODE *Steınernema feltıae* Filipjev (RHABDITIDA: STEINERNEMATIDAE) AGAINST MUSHROOM FLY *Lycoriella ingenua* Dufour (DIPTERA: SCIARIDAE) ON MUSHROOM YIELD IN MUSHROOM GROWING AREAS

Görkem ATEŞ

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Plant Protection

Supervisor: Prof. Dr. İsmail Alper SUSURLUK

This study aims to investigate the potential control effects of different doses of the entomopathogenic nematode (EPN) *Steinernema feltiae* Filipjev (Rhabditida: Steinernematidae) against mushroom flies (*Lycoriella ingenua* Dufour, Diptera: Sciaridae) in the cultivation of *Agaricus bisporus* in Turkey, and to evaluate its impact on mushroom yield.Within the scope of this study, double dose applications were carried out in mushroom production rooms using 2.50 × 10^8 EPN/300 m² nematodes in each application on days 3-7, 7-14 and 3-14 following production and single dose applications were carried out in mushroom production rooms using 5.00 × 10^8 EPN/300 m² on days 3, 7 and 14 following production. For control, a single dose of a chemical pesticide called Rufast containing Acrinathrin, which is licensed against mushroom flies, was used. As a result of applications made at different doses and at different times, the mushroom yield measurements of the compost were the highest on days 3-7. 28.56% per day at a dose of 2.50 × 10^8 EPN/300 m² per day, and the lowest yield was 22.78% in the control group. In compost yield, an average of 3.5% yield difference was observed between EPN applications. In addition, an increase was observed in the quality of mushrooms observed from the mushroom stem. These results show that EPN application provides a significant increase in mushroom yield compared to chemical control. In line with similar studies in the literature, it has been confirmed that EPNs effectively control mushroom flies and increase yields in mushroom production. The unique value of this study lies in the use of *S. feltiae* as a biological control agent, offering a sustainable alternative to chemical pesticides while benefiting both the economy and the environment. These findings provide a solid foundation for the wider adoption of *S. feltiae* in mushroom production, contributing to the more effective and widespread implementation of biological control strategies in agriculture.

Key words: *Steinernema feltiae*, *Agaricus bisporus*, Fungus Gnat (Sciaridae), Biological Control, Sustainability in Agriculture
2024, xiii + 40 pages.

ÖNSÖZ

Lisansüstü eğitimim süresince desteğini üzerimden esirgemeyen Değerli Danışman Hocam Sayın Prof. Dr. İsmail Alper SUSURLUK'a sonsuz saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim sürecimde bilgi birikiminden yararlandığım, üzerinde gerçek manada emeği olup yardımlarını esirgemeyen ve her konuda bana destek olan Sevgili Hocam Doç. Dr. Tufan Can ULU'ya sonsuz saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tezim süresince yardımlarını esirgemeyen Kıymetli Dostum Emre DEDE'ye teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam süresince gerekli ortamı sağlayan Bioglobal A.Ş. ve Sayın Özgür ATEŞ'e teşekkürlerimi sunuyorum.

Son olarak bu tez çalışmamı beni her koşulla destekleyen biricik aileme armağan ediyorum.

Görkem ATEŞ
…/…/…….

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iii
ABSTRACT iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ vii
ŞEKİLLER DİZİNİ viii
Sayfa viii
1. GİRİŞ 1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI 10
3.1. Çalışmada Kullanılan Ticari EPN Paketleri 14
3.2. Deneme Odaları 16
3.3. Mantar Üretimi 18
3.4. Nematac Uygulama Denemeleri 22
3.5. Sciarid Popülasyonu İzleme 23
3.6. Hasat Veriminin Belirlenmesi 24
3.7. İstatistiksel Analiz 26
4. BULGULAR 27
4.1. Dozajların ve Uygulama Günlerinin Mantar Verimine Etkisi 27
4.2. Dozajların ve Uygulama Günlerinin Mantar/Kompost Verimine Etkisi .... **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**
4.3. Dozajların ve Uygulama Günlerinin Mantar Kalitesine Etkisi ..... **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**
5. TARTIŞMA VE SONUÇ 33
KAYNAKLAR 36
ÖZGEÇMİŞ 41

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	**Açıklama**
µm	Mikrometre ($1x10^{-6}$ m)
cm	Santimetre
mm	Milimetre
℃	Santigrat Derece
%	Yüzde
ml	Mililitre (1×10^{-3} l)
L	Litre
g	Gram
rh	Oransal Nem

Kısaltmalar	**Açıklama**
EPN	Entomopatojen Nematod
IJ	İnfektif Jüvenil
J1	Birinci Dönem Jüvenil
J2	İkinci Dönem Jüvenil
J3	Üçüncü Dönem Jüvenil
J4	Dördüncü Dönem Jüvenil

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. A: Kompost içerisinde Sciarid larvası. B: Sciarid pupası. C: Ergin Sciarid 3
Şekil 1.2. Mantar sineği yaşam döngüsü (Greenwood Plants,UK). 4
Şekil 3.1. Türkiye'de ithal edilen nematod ürünlerinin tedarik süreci ve kullanımı. 15
Şekil 3.2. Paket ağırlığı (5.00 × 10^8 adet EPN). 16
Şekil 3.3. Sıcaklık verilerinin takibi. 16
Şekil 3.4. Mantar üretim tesisinde mantar sinekleri. 18
Şekil 3.5. A: Topraklanma aşamasında odalar. B: Atık mantar. 20
Şekil 3.6. A: Mantar sineğinin saptaki zararının incelenmesi. B: Mantar sineği larvası 21
Şekil 3.7. A: Işık tuzağı. B: Sarı yapışkan tuzak. 21
Şekil 3.8. Entomopatojen nematod (*S. feltiae*) uygulaması. 22
Şekil 3.9. A: White trap düzeneğinde mantar sinek larvası. B: Enfekte edilen larva içindeki EPN gelişimi. 24
Şekil 3.10. A: Hasat edilen mantarlar. B: Paketlenmiş satışa hazır mantarlar. 25
Şekil 4.1. Tek doz uygulamalarının mantar verimi (± standart hata) üzerine etkisi. 27
Şekil 4.2. Çift doz uygulamalarının mantar verimi (± standart hata) üzerine etkisi. 28
Şekil 4.3. Tek doz uygulamalarının mantar verimi (± standart hata) üzerine etkisi. 29
Şekil 4.4. Çift doz uygulamalarının mantar verimi (± standart hata) üzerine etkisi. 30
Şekil 4.5. Tek doz uygulamanın 100 mantardaki ortalama delik sayısına etkisi. . 31
Şekil 4.6. Çift doz uygulamanın 100 mantardaki ortalama delik sayısına etkisi. . 32

1. GİRİŞ

Kültür mantarı üretimi, dünya genelinde tarımsal faaliyetlerin önemli bir parçası haline gelmiştir. Özellikle son yıllarda artan nüfus ve sağlıklı beslenme eğilimleri, mantar üretimini ve tüketimini önemli ölçüde artırmıştır. Kültür mantarları, düşük kalorili, yüksek proteinli ve çeşitli vitaminler ile mineraller açısından zengin olmaları nedeniyle beslenme biliminde büyük bir öneme sahiptir. Bu mantar türlerinin üretimi hem ekonomik kalkınmaya katkı sağlamakta hem de tarım alanında sürdürülebilirlik açısından çeşitli avantajlar sunmaktadır (Acharya et al., 2019).

Bu bağlamda, kültür mantarı üretiminde kullanılan yöntemler, üretim süreçleri ve bu süreçlerin çevresel etkileri üzerine yapılan araştırmalar giderek önem kazanmaktadır (Katumanyane et al., 2018). Beyaz ve kahverengi mantar olarak da anılan *Agaricus bisporus*, dünyanın en yaygın tüketilen mantar türlerinden biridir. Bu sebeple, birçok ülkede ve çeşitli iklim koşullarında yetiştirilmektedir (San-Blas et al., 2017). FAO'nun (Gıda ve Tarım Örgütü) verilerine göre, dünya genelinde mantar üretimi sürekli bir artış göstermektedir (FAO, 2020). 2020 yılı itibarıyla, dünya genelinde mantar üretimi yaklaşık 10 milyon ton civarındadır. Bu üretim, özellikle Çin, Amerika Birleşik Devletleri, Hollanda ve Polonya gibi ülkelerde yoğunlaşmaktadır. Çin, dünya mantar üretiminde lider konumda olup, toplam üretimin yaklaşık %75'ini gerçekleştirmektedir (Royse, 2020).

Türkiye, mantar üretimi konusunda önemli bir potansiyele sahip ülkelerden biridir. Son yıllarda artan talep ve gelişen üretim teknikleri sayesinde Türkiye'deki mantar üretimi de istikrarlı bir şekilde artış göstermektedir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre, 2020 yılında Türkiye'nin mantar üretimi yaklaşık 75.000 ton olarak gerçekleşmiştir (TÜİK, 2020).

Türkiye'deki mantar üretiminin büyük bir kısmı beyaz şapkalı mantar (*Agaricus bisporus*) ve istiridye mantarı (*Pleurotus* spp.) türlerinden oluşmaktadır. Özellikle Marmara, Ege ve İç Anadolu bölgeleri, mantar üretiminde öne çıkan bölgeler arasındadır. Bursa, Balıkesir, Antalya ve Ankara gibi iller, Türkiye'nin başlıca mantar üretim merkezleri

olarak bilinmektedir. Türkiye'deki mantar üreticileri, modern üretim teknikleri ve sürdürülebilir tarım uygulamalarını benimseyerek üretim verimliliğini artırmaya çalışmaktadır. Ayrıca, organik mantar üretimi de giderek popüler hale gelmekte ve bu alandaki yatırımlar artmaktadır. Türkiye'nin mantar üretimi, iç pazarın yanı sıra ihracat için de önemli bir potansiyel sunmaktadır.

Antalya'nın Korkuteli ilçesi, Türkiye'deki mantar üretiminde önemli bir merkezdir ve bölge, mantar üretiminde yüksek verimlilik ve kaliteli ürünlerle tanınmaktadır. Korkuteli, özellikle beyaz şapkalı mantar (*A. bisporus*) üretiminde öne çıkmaktadır ve bölgedeki üreticiler modern tarım teknikleri ve entegre zararlı yönetimi uygulamaları kullanarak yüksek verimlilik sağlamaktadır. Korkuteli'deki mantar üretimi, bölgenin iklim koşulları ve uygun altyapısı sayesinde oldukça başarılıdır. Korkuteli'de yaklaşık 200 üretici faaliyet göstermekte olup, yıllık üretim kapasitesi yaklaşık 25.000 ton civarındadır. Bu üretim miktarı, Türkiye'nin toplam mantar üretiminin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Bölgedeki mantar üretimi hem iç pazara hem de ihracata yöneliktir ve yüksek kaliteli ürünler dünya pazarında da talep görmektedir. Korkuteli'deki üreticiler, mantar yetiştiriciliğinde hijyenik ve kontrollü ortamlar oluşturmak için modern tesisler ve ileri teknolojiler kullanmaktadır. Ayrıca, organik mantar üretimi de Korkuteli'de giderek yaygınlaşmakta ve bu alandaki yatırımlar artmaktadır. Bölgedeki üreticiler, eğitim programları ve tarım danışmanlık hizmetleri ile bilgi ve becerilerini sürekli olarak geliştirmektedir.

Kültür mantarı üretiminde, verim kayıpları üreticiler için önemli bir sorun teşkil etmektedir. Bu kayıpların başlıca nedenleri arasında zararlılar, hastalıklar, uygun olmayan iklim koşulları ve yetersiz besin maddeleri bulunmaktadır (Nguyen et al., 2018). Özellikle mantar yetiştiriciliğinde yaygın olan yeşil küf (*Trichoderma* spp.) ve bakteriyel enfeksiyonlar, verim düşüklüğüne ve ürün kalitesinde bozulmalara yol açmaktadır (Fletcher, 2017).

Ayrıca, nem, sıcaklık ve havalandırma gibi çevresel faktörlerin optimal seviyelerde tutulamaması da üretim sürecinde ciddi verim kayıplarına neden olabilmektedir. Bu nedenle, kültür mantarı üretiminde başarılı olabilmek için entegre zararlı yönetimi, uygun

iklim kontrolü ve doğru besin yönetimi gibi önlemler alınması gerekmektedir (García et al., 2019).

Agaricus bisporus üretiminde en yaygın zararlılar mantar sinekleridir ve bu sinekler yetiştiricilikte önemli ürün kayıplarına yol açmaktadır. Yetiştiricilikte en sık karşılaşılan zararlılar arasında Sciarid sinekleri (Diptera: Sciaridae), Phorid sinekleri (Diptera: Phoridae) ve Cecid sinekleri (Diptera: Cecidomyiidae) bulunmaktadır (Sharma et al., 2019). Özellikle, Sciarid sineği *Lycoriella ingenua* ve Phorid sineği *Megaselia halterata* en yaygın türler olarak rapor edilmiştir (Yoon et al., 2016), (Erler & Polat, 2016). Bu sinekler, mantar yetiştiriciliğinde ciddi zararlar vererek üretim kayıplarına neden olabilmektedir. (Garcha et al., 1987).

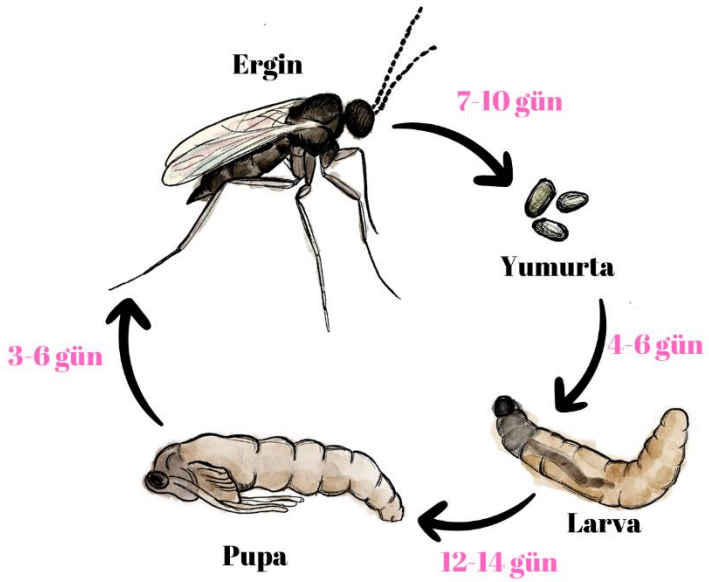


Şekil 1.1. A: Kompost içerisinde Sciarid larvası. B: Sciarid pupası. C: Ergin Sciarid.

Bu sinekler, özellikle mantar üretim tesislerinde ve seralarda yaygın olarak bulunur ve mantarların büyüme sürecine doğrudan ve dolaylı olarak zarar verirler. Sciarid sineklerinin zararı, öncelikle larvalarının mantar miselyumu ve mantarların meyve cisimlerine verdiği fiziksel hasar ile başlar. Larvalar, mantar miselyumunu besin kaynağı olarak kullanarak miselyumu zedeler ve mantarların büyümesini engeller (White ve Gries, 2019). Bu durum, verim kaybına ve mantar kalitesinde düşüşe yol açar. Ayrıca, Sciarid larvaları mantar yüzeyine açtıkları deliklerle mantarın su kaybetmesine neden olur, bu da ürünün raf ömrünü kısaltır ve pazar değerini düşürür. Larvaların doğrudan verdiği zararların yanı sıra, Sciarid sinekleri aynı zamanda çeşitli patojen mikroorganizmaların taşınmasına ve yayılmasına aracılık ederler. Bu sinekler, bakteri,

mantar ve virüs gibi patojenleri taşıyarak mantar yataklarında hastalıkların yayılmasına neden olabilirler. Özellikle *Trichoderma* spp. gibi patojenlerin yayılması, mantar üretiminde büyük kayıplara yol açabilir (Gerson ve Weintraub, 2019). Sciarid sinekleri ayrıca, yetiştirme ortamının hijyenik koşullarını bozarak ikincil zararlıların ve hastalıkların ortaya çıkmasını kolaylaştırır. Bu sineklerin yoğun popülasyonları, mantar üretim ortamında kaotik bir durum yaratarak üretim sürecinin etkinliğini olumsuz etkiler (Sharma et al., 2018).

Sciarid sinekleri, özellikle *L. ingenua*, kompost tesislerinden üretim alanlarına taşınarak yayılmaktadır. Erginler genellikle 3-4 mm uzunluğunda olup, siyah veya koyu gri renktedir. Kanatları saydamdır ve belirgin bir damarlanma gösterir. Uzun ve tüylü antenlere sahiptirler. Larvalar ise beyaz renkli olup, siyah başları ile tanınır (Şekil 1.1), (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Mantar sineği yaşam döngüsü (Greenwood Plants,UK).

Bu sinek türü, kompostun hazırlanması sırasında ve sonrasında mantar üretim tesislerine girmektedir ve yumurtalarını bırakmaktadır. Yumurtalardan çıkan larvalar, mantar miselyumunu ve genç mantarları tahrip ederek ciddi verim kayıplarına neden olmaktadır.

Araştırmalar, *L. ingenua* sineğinin popülasyonlarının, kompostun sıcaklık ve nem seviyelerinin uygun olduğu dönemlerde hızla arttığını göstermektedir. Mantar üretim tesislerinde bu sinekler, kompost, miselyum ve sporoforları tahrip ederek %20-30 oranında verim kayıplarına yol açabilir (Shamshad, 2010), (Jess & Kilpatrick, 2000), (Jess et al., 2007). Ayrıca, bu sinekler, akarlar ve mantar hastalıkları için vektör olarak da görev yaparak mücadele önlemlerini zorlaştırmaktadır. (Cloonan et al., 2016), (Mazin et al., 2018).

Sciarid sinekleriyle etkili mücadele, temizlik, dışlama, izleme ve zararlı mücadelesini içeren entegre zararlı yönetimi (IPM) stratejilerini gerektirir. Araştırmalar, avcı akarlar ve EPN'ler gibi biyolojik mücadele ajanlarının kimyasal mücadele ile birlikte kullanılmasının, Sciarid popülasyonlarını azaltarak zararı en aza indirebileceğini göstermektedir (Richardson & Grewal, 1991; Fenton et al., 2002; Scheepmaker et al., 1998). Ancak, bu uygulamaların zamanlaması ve yöntemi başarı için kritik öneme sahiptir. Ambalajlı mantarlarda ergin sinekler kalıntı ve kirletme gibi nedenlere yol açmaktadır. Ayrıca, ambalajlı mantarlarda sinek kalıntıları ve kontaminasyon sorunları, mantarların kalite ve hijyen standartlarını olumsuz etkileyebilir.

Lycoriella ingenua sinekleri, yetiştiricilikte ciddi ekonomik kayıplara yol açabilirler.
L. ingenua sineklerinin yaşam döngüsü dört ana aşamadan oluşur: Yumurta, larva, pupa ve ergin. Dişi sinekler, yumurtalarını mantar kompostuna veya nemli organik maddelere bırakır ve yumurtalar birkaç gün içinde larvaya dönüşür. Larva evresi yaklaşık 10-14 gün sürer ve bu sürede larvalar, mantar miselyumu ve kompost ile beslenir. Larvalar büyüdükten sonra pupa evresine geçerler ve bu dönem 7-10 gün sürer. Pupadan çıkan erginler, birkaç gün içinde yumurta bırakmaya başlar ve yaşam döngüsü tekrar eder.

Mantar üretiminde Sciarid sinekleri için ekonomik eşik, yapışkan sarı tuzaklar kullanılarak belirlenmektedir ve bu eşik neredeyse sıfıra yakındır. *Lycoriella ingenua* larvaları, mantar miselyumu ve kompost içinde ciddi zararlara yol açarak, mantar üretiminde önemli verim kayıplarına neden olur. Yapılan çalışmalar, bu zararlıların düşük popülasyonlarında bile kimyasal mücadele gerektirdiğini göstermektedir (White, 1986; Katumanyane et al., 2018). *L ingenua* sineklerinin etkin yönetimi, sarı yapışkan tuzaklar

kullanılarak popülasyonlarının izlenmesi ve düşük yoğunluklarda bile kimyasal mücadele ile sağlanmaktadır.

Kültür mantarı üretiminde zararlılarla mücadelede kimyasal yöntemler yerine biyolojik mücadele tercih edilmektedir ve bu seçimin birkaç önemli nedeni vardır. Öncelikle, kimyasal pestisitler mantarların büyüme ortamında kalıntı bırakabilir ve bu kalıntılar insan sağlığına zarar verebilir. Kimyasal kalıntılar ayrıca mantarların pazar değerini düşürebilir ve ihracat olanaklarını kısıtlayabilir. İkinci olarak, kimyasal insektisitlerin sürekli kullanımı, zararlı böceklerin bu kimyasallara karşı direnç geliştirmesine yol açabilir. Direnç gelişimi, kimyasal mücadeleyi zamanla etkisiz hale getirebilir ve daha yüksek dozda ya da daha güçlü kimyasalların kullanılmasını gerektirebilir, bu da çevresel ve ekonomik maliyetleri artırır (Gazit et al., 2000; Kamali et al., 2013). Biyolojik mücadele ise doğrudan çevreye ve insan sağlığına daha az zarar veren yöntemler sunar. Biyolojik mücadelede kullanılan doğal düşmanlar, zararlıların popülasyonları ile mücadele ederek dengeyi sağlar ve ekosistemi korur. Ayrıca, biyolojik mücadele yöntemleri uzun vadede daha sürdürülebilir bir çözüm sunar çünkü direnç gelişimi riski daha düşüktür. Bu yöntemler, doğal düşmanlar, parazitoidler ve biyopestisitler gibi çeşitli unsurlar içerir ve entegre zararlı yönetimi stratejileri ile birleştirildiğinde etkinliği artırılabilir (Minas et al., 2011; Rohde et al., 2015).

Biyolojik mücadelede kullanılan organizmalar biyolojik mücadele ajanları olarak adlandırılmaktadır ve bu kapsamda birçok farklı organizma bulunmaktadır (Ulu vd., 2016).

Bu ajanlar arasında Entomopatojen Nematodlar, kültür mantarı üretiminde Sciarid larvaları gibi zararlılara karşı etkili bir biyolojik mücadele ajanıdır. Bu nematodlar, doğal olarak toprakta bulunan ve zararlı böceklerin içinde yaşayarak onları öldüren parazitlerdir. Özellikle *Steinernema feltiae* ve *Heterorhabditis bacteriophora* gibi türler, Sciarid larvalarına karşı yüksek etkinlik göstermektedir (Grewal et al., 2018).

Entomopatojen nematodlar, zararlı böceklerle biyolojik mücadelede önemli bir role sahip olan mikroskobik parazitlerdir. Bu nematodlar, genellikle iki ana cins altında

sınıflandırılır: *Steinernema* ve *Heterorhabditis*. Morfolojik özellikleri bakımından bu iki cins arasında bazı farklılıklar bulunur. *Steinernema* türleri, genellikle silindirik ve ince yapılıdır, dişi bireyleri daha büyük ve geniş bir gövdeye sahipken erkek bireyler daha küçüktür (Grewal et al., 1994). *Heterorhabditis* türleri ise daha kalın ve kavisli bir yapıya sahiptir. Bu nematodların infektif jüvenil (IJ)'leri, konukçu böceğin içine girip simbiyotik bakteriler salgılarak böceğin ölümüne neden olur. Morfolojik olarak, *Heterorhabditis* türleri daha koyu renklidir ve kutikula yapısı daha kalın bir görünüm sergiler (Poinar, 1990). Her iki cinsin de IJ evresi, zararlı böcekleri etkili bir şekilde bulup enfekte edebilmelerini sağlayan belirgin bir esnekliğe sahiptir.

Entomopatojen nematodlar, tarımsal zararlılarla biyolojik mücadelede önemli bir yer tutmaktadır. Avrupa'da, Almanya, Hollanda ve İspanya gibi ülkelerde bu nematodlar ruhsatlı ürünler olarak mevcuttur ve geniş bir kullanım alanına sahiptirler (Campos-Herrera, 2015). Türkiye'de de EPN'ler tarımsal zararlılarla biyolojik mücadelede yaygın olarak kullanılmakta ve bazı ürünler ruhsatlandırılmıştır. Türkiye'de ruhsatlı EPN ürünleri arasında *Steinernema* ve *Heterorhabditis* cinslerine ait nematodlar bulunmaktadır. Özellikle, *H. bacteriophora* ve *S. feltiae* türleri, tarımda yaygın olarak kullanılmaktadır ve bu ürünler zararlı böceklerin kontrolünde etkili olmaktadır (Özdemir & Bayram, 2017).

Entomopatojen nematodların enfeksiyon döngüsü, nematodun IJ evresinde başlar. Bu larvalar, zararlı böceklerin vücut boşluklarına girerek simbiyotik bakterilerini salar. *Steinernema* türleri *Xenorhabdus* spp. bakterilerini, *Heterorhabditis* türleri ise *Photorhabdus* spp. bakterilerini taşır (Burnell ve Stock, 2000). Bu bakteriler, böceğin iç dokularını hızla parçalayıp nematodların beslenmesine olanak tanır. Enfeksiyon süreci boyunca, nematodlar böceğin vücudunda çoğalır ve yeni IJ'ler üretir. Bu döngü, zararlı popülasyonunu kontrol altında tutmak için son derece etkilidir (Lewis ve Clarke, 2012).

Entomopatojen nematodlar mantar sineklerine karşı çeşitli sıcaklık ve ortam koşullarında etkinlik göstermektedir (Harris et al., 1995), (Jagdale et al., 2007), (Acharya et al., 2019). Ayrıca, bu nematodlar çeşitli mantar türleri ve diğer biyolojik ajanlarla kombine edildiğinde daha yüksek kontrol etkinliği sağlanabilir (Bueno-Pallero et al., 2018).

Entomopatojen nematodlar, mantar sineklerine (Sciarid larvaları) karşı ilk olarak 1980'lerin sonlarında kullanılmaya başlanmıştır. Bu dönemde, özellikle *S. feltiae* türü nematodların, Sciarid sineklerinin larvalarını hedef alarak onları etkili bir şekilde kontrol edebildiği gösterilmiştir (Hara et al., 1993). Nematodların biyolojik mücadeledeki başarısı, çevre dostu ve kimyasal kalıntı bırakmayan bir yöntem olmaları nedeniyle hızla ilgi görmüştür. *Steinernema feltiae*, mantar sineklerinin larvalarına karşı oldukça etkili olduğu için ticari olarak üretilip mantar yetiştiriciliğinde yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Bu biyolojik kontrol ajanının uygulanması, zararlı popülasyonlarını doğal yollarla azaltarak mantar üretiminde verimliliği artırmış ve kimyasal pestisitlerin kullanımını azaltmıştır (Kaya ve Gaugler, 1993).

Nematac adı verilen biyolojik mücadele ürünü *S. feltiae* türü nematod içermektedir ve mantar sineği (*L. ingenua*) dışında süs bitkileri ve biberde çiçek tripsi (*Frankliniella occidentalis*) larvalarının kontrolünde kullanılmaktadır. Nematac, *S. feltiae* türü EPN içermekte olup, çevreye ve insan sağlığına zarar vermeden etkili bir zararlı yönetimi sağlamaktadır. Bu tür ürünler, kimyasal pestisitlerin yerini alarak sürdürülebilir tarım uygulamalarına katkı sağlamaktadır. Türkiye'deki araştırmalar ve saha çalışmaları, EPN'lerin çeşitli zararlılar üzerinde yüksek etkinlik gösterdiğini ve tarım ürünlerinin verimliliğini artırdığını göstermektedir. Özellikle, *Steinernema* ve *Heterorhabditis* türlerinin, çeşitli zararlılara karşı etkili olduğu ve kullanımının yaygınlaştığı bildirilmektedir (Özdemir & Bayram, 2017).

Bu çalışma, kültür mantarı üretiminde ciddi zararlara yol açan mantar sinekleri (*L. ingenua*) ile mücadelede Türkiye'de ruhsatlı EPN olan *S. feltiae'*nin mantar üretimini takiben farklı kullanım zamanın ve farklı kullanım dozlarının mantar verimine etkisinin belirlenmesi amaçlamaktadır. Kontrol gurubunda ise mantar sinekleri ile kimyasal mücadelede kullanılan Rufast® isimli Acrinathrin etken maddeli kimyasal tercih edilmiştir. Mantar sinekleri, mantar üretiminde verim kayıplarına ve ürün kalitesinde düşüşe neden olan başlıca zararlılardandır. Bu bağlamda, EPN'lerin biyolojik kontrol ajanı olarak kullanılması, kimyasal pestisitlere alternatif, çevre dostu ve sürdürülebilir bir çözüm sunmaktadır. Çalışmanın önemi, EPN'lerin uygulama stratejileri ile mantar sineklerine karşı etkinliklerini araştırarak, mantar üretiminde biyolojik kontrolün

potansiyelini ortaya koymaktır. Ayrıca, bu çalışma, EPN'lerin uygulanabilirliği, etkinliği ve ekonomik avantajları üzerine kapsamlı veriler sunarak, tarım sektöründe biyolojik mücadele yöntemlerinin benimsenmesine katkı sağlamayı hedeflemektedir. Sonuç olarak, bu araştırma, *S. feltiae*'nin mantar sineklerine karşı kullanımının etkili ve sürdürülebilir bir zararlı yönetimi yöntemi olarak değerlendirilebileceğini vaat etmektedir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Shamshad, Clift ve Mansfield (2008), Avustralya'nın New South Wales bölgesinde *Lycoriella ingenua* (Diptera: Sciaridae) türünün üçüncü evre larvalarına karşı altı ticari insektisit ve biyopestisit formülasyonunun toksisitesini incelemiştir. Çalışma, mantar üretiminde büyük ekonomik kayıplara yol açan bu zararlıya karşı etkili mücadele yöntemlerini belirlemeyi amaçlamaktadır. Değerlendirilen biyopestisitler arasında *S. feltiae* nematodları da yer almıştır. Sonuçlara göre, kimyasal insektisitler yüksek toksisite gösterirken, *S. feltiae* gibi biyolojik ajanların da larvalar üzerinde başarılı olduğu görülmüştür. Nematodların etkili bir biyokontrol ajanı olarak kullanılabileceği vurgulanmış ve biyolojik kontrol yöntemlerinin sürdürülebilir tarımda önemli bir rol oynayabileceği belirtilmiştir. (Shamshad, Clift & Mansfield, 2008)

Steinernema feltiae nematodlarının mantar sineğine karşı biyolojik kontrol potansiyeli üzerine yapılan bir çalışmada, ticari mantar üretim koşullarında farklı uygulama oranlarının sinek popülasyonları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bulgular, nematodların uygulama oranı arttıkça mantar sineği çıkışının önemli ölçüde azaldığını göstermiştir. Herhangi bir nematod uygulama oranı, kontrolsüz tepsilere kıyasla sinek çıkışını önemli ölçüde azaltmıştır. Ayrıca, kimyasal insektisitlerin mantar verimini önemli ölçüde düşürdüğü, ancak nematodların verimi artırdığı belirlenmiştir. Özellikle 3 x 10^6 nematod/tray uygulama oranında, mantar veriminde %8'lik bir artış ve toplam mantar sayısında %11'lik bir artış gözlemlenmiştir. Nematodlar ayrıca mantarların bozulmasına neden olan tünel açan larva sayısını da azaltmıştır (Grewal & Richardson 1993).

Mantar sineklerinin önemli ekonomik kayıplara neden olabilecek zararlılar olduğunu gösteren bir başka çalışmada, EPN'lerin kullanımı avantajlı bulunmuştur. Mantar sineklerinin kontrolünde EPN'lerin kullanımı, kısa yaşam döngüsüne sahip olmaları ve pestisit uygulamasının uygun olmadığı başka kültür bitkilerinin zararlıları olmaları nedeniyle avantajlıdır. Güney Afrika'da yapılan bir çalışmada, sekiz yerel EPN türü ve yerli olmayan bir EPN türü olan *S. feltiae*'nin mantar sinekleri larvalarını farklı sıcaklıklarda öldürme yetenekleri test edilmiştir. Sonuçlar, özellikle 25 °C ve 30 °C'de

dört yerel EPN türünün %80'den fazla mortalite elde ettiğini göstermiştir (Katumanyane, Ferreira, & Malan, 2018).

Kore'de yapılan bir çalışmada, EPN'lerin mantar yetiştiriciliğinde Sciarid sineği popülasyonunu kontrol etmek için etkili bir biyolojik ajan olarak kullanılabileceği gösterilmiştir. Yüksek dozlarda (%96.8 kontrol etkisi) uygulandığında neredeyse tamamen kontrol sağladığı ve düşük dozlarda (%51.9 kontrol etkisi) bile önemli ölçüde etkili olduğu belirlenmiştir. Bu biyolojik kontrol yöntemi, kimyasal insektisitlere karşı çevre dostu ve sürdürülebilir bir alternatif sunmaktadır (Choi et al., 2018).

Richardson (1987) tarafından yapılan bu çalışmada, iki tür EPN'lerin (*S. feltiae* ve *H. heliothidis*) mantar sinekleri üzerindeki biyolojik kontrol potansiyeli pot denemeleri ile incelenmiştir. Çalışmada, mantar ürünlerini yaygın olarak istila eden üç Diptera türü (*Megaselia halterata, Heteropeza pygmaea* ve *Lycoriella auripila*) kullanılmıştır. Tüm türlerin larvaları, her iki nematod türü tarafından parazitlenmeye duyarlı bulunmuştur. Kompost nematodlarla işlem gördüğünde, yetişkin Phoridler ve Sciaridlerin çıkışı azalmıştır. Özellikle *Lycoriella auripila*'ya karşı yapılan uygulamalarda, kılıflama tedavileri daha etkili olmuştur. İki kez nematod uygulamanın çok az ek fayda sağladığı belirlenmiştir. *Heteropeza pygmaea*'nın paedogenetik larva popülasyonları, işlenmemiş kompostta hızla artarken, *S. feltiae* uygulandığında azalmış ve *H. heliothidis* ile tamamen yok edilmiştir. (Acharya et al., 2019; San-Blas et al., 2017; Bueno-Pallero et al., 2018).

Scheepmaker, Geels, Rutjens, Smits ve Griensven (1998) tarafından yapılan bu çalışmada, farklı entomopatojen nematod türlerinin mantar sinekleri *M. halterata* ve *Lycoriella auripila* larvalarına karşı etkinliği test edilmiştir. Sciarid larvaları, *A. bisporus*'un kolonizasyonu sırasında kılıflama toprağında bulunan infestasyonlardan kaynaklanmış ve *S. feltiae* uygulamaları ile neredeyse tamamen kontrol altına alınmıştır. Taze ekilmiş kompostta bulunan larvalar ise, spawnrunning sürecinin yarısında yapılan kompost uygulamaları ve çok erken kılıflama tedavileri ile kontrol edilebilmiştir. Phoridlerin kompost içerisindeki kontrolü, 3 x 10^6 nematod/m² konsantrasyonunda infeste kompost içine karıştırıldığında %31 ile sınırlı kalmış, ancak daha yüksek konsantrasyonlarda sadece biraz daha yüksek azaltma oranları elde edilmiştir. Phoridlerin

kılıflama katmanındaki kontrolü daha umut verici bulunmuş. Bu bulgular, *S. feltiae*'nin mantar sinekleri üzerinde önemli biyolojik kontrol ajanları olduğunu ve özellikle kılıflama uygulamalarında etkili olduklarını göstermektedir (San-Blas et al., 2017; Kumar et al., 2015; Chen et al., 2020).

Fenton, Gwynn, Gupta, Norman, Fairbairn ve Hudson (2002) tarafından yapılan bu çalışmada, EPN olan *S. feltiae*'nin biyolojik kontrol ajanı olarak uygulanması stratejilerinin optimizasyonu incelenmiştir. Çalışmada, teorik modellemeler ve saha denemeleri paralel olarak kullanılmıştır. İlk saha denemesi, sineklerin ve nematodların yaşam döngüsü parametrelerinin tahmin edilmesini sağlamış ve nematod geri dönüşümünün yüksek seviyelerde olduğunu göstererek, kontrolün etkili olduğunu ortaya koymuştur. Önemli bir bulgu, nematod uygulamasının ikiye bölünerek, yarısının başlangıçta ve diğer yarısının 7. günde uygulanması durumunda, toplam nematod dozunun önemli ölçüde azaltılabileceğidir. Model, dozu bölmenin faydalı olacağını ve ikinci uygulamanın yüksek derecede duyarlı sinek larvalarının zirve sayısıyla çakışacak şekilde zamanlanmasının kritik olduğunu doğrulamıştır. Optimal olarak zamanlanmış bölünmüş doz kullanıldığında, toplam dozların %75'e kadar azaltılabileceği ve yine de mevcut önerilen dozlarla karşılaştırılabilir kontrol sağlanabileceği öngörülmüştür. Model öngörüleri, daha düşük sinek yoğunluklarına sahip bağımsız bir saha denemesi ile doğrulanmış ve modellemenin sağlamlığını göstermiştir. Bu çalışma, basit bir modelin tekrar eden saha denemeleri ile birlikte geliştirilerek başarılı kontrolün biyolojik süreçlerini daha iyi anlamaya yol açtığını ve önerilen uygulama stratejilerinde iyileşmelere neden olduğunu göstermektedir (Labaude & Griffin, 2018; Hajek et al., 2020).

Navarro ve Gea (2014) tarafından yapılan bu çalışmada, EPN (*S. feltiae* ve *S. carpocapsae*) mantar sinekleri *Phoridae* ve *Sciaridae*'ye karşı etkinliği değerlendirilmiştir. Araştırma, önceden *M. halterata* ve *Lycoriella auripila* ile infeste edilmiş substratta kontrollü koşullar altında iki mantar yetiştirme denemesi ile gerçekleştirilmiştir. Denemelerde, *S. feltiae*'nin bireysel uygulanması ve *S. feltiae* ile *S. carpocapsae*'nin kombinasyon halinde uygulanması olmak üzere iki farklı tedavi yöntemi kullanılmıştır. Sonuçlar, *M. halterata* popülasyonunda nematod uygulaması ile bir azalma

olmadığını, ancak *L. auripila* popülasyonunun her iki tedavi ile de, özellikle *S. feltiae*'nin bireysel uygulanması ile azaldığını göstermiştir. Ayrıca, EPN'ların mantar üretimi üzerinde olumsuz bir etkisi olmadığı belirlenmiştir. Bu bulgular, *S. feltiae* ve *S. carpocapsae*'nin özellikle *L. auripila*'ya karşı etkili biyolojik kontrol ajanları olduğunu ve mantar üretiminde güvenle kullanılabileceğini göstermektedir (Katumanyane et al., 2018; Usman et al., 2020).

Grewal, Tomalak, Keil ve Gaugler (1993) tarafından yapılan bu çalışmada, genetik olarak seçilmiş bir *S. feltiae* suşunun mantar sineği (Sciarid) *Lycoriella* mali'ye karşı kontrol potansiyeli değerlendirilmiştir. Çalışma, yüksek ve düşük düzeyde sinek istilası olan iki ticari mantar çiftliğinde gerçekleştirilmiştir. ScP suşunun etkinliği, *S. feltiae*'nin SN suşu ve kitin sentez inhibitörü diflubenzuron ile karşılaştırılmıştır. Düşük *Lycoriella* yoğunluklarında, iki suş arasında etkinlik farkı gözlenmemiş ve sinek popülasyonlarında %85-94 azalma sağlanmıştır. Yüksek sinek yoğunluklarında ve *Megaselia halterata*'nın karışık istilasında, ScP suşu %56-83 azalma sağlarken, SN suşu %51-73 azalma sağlamıştır. İyileştirilmiş suşun iki dozu (0.5 x 10^6 ve 1.0 x 10^6 IJ'ler/m^2) diflubenzurondan farklı olmamış ve *L. mali* popülasyonunda %80 azalma sağlamıştır. SN suşunun daha düşük dozu (0.5 x 10^6) diflubenzurondan daha az etkili olmuştur. ScP suşunun, kılıflama materyalinde kalıcılık açısından SN suşuna göre büyük bir avantajı olduğu belirlenmiştir. Nematodların mantar verimi üzerinde önemli bir etkisi bulunmamıştır (Hussain et al., 2017; Lu et al., 2016).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Çalışmada Kullanılan Ticari EPN Paketleri

Bu çalışma, Türkiye'de *Agaricus bisporus* üretiminde mantar sineğine (*Lycoriella ingenua*) karşı entomopatojen nematod *S. feltiae* etkinliğini değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan ürün ismi Nematac'tır, ürün içeriği nematod türü *S. feltiae* içermektedir. Nematac, Türkiye'de kültür mantarı üretiminde mantar sinekleriyle mücadelede ruhsatlıdır ve ayrıca süs bitkileri ve biber seralarında çiçek tripsi (*Frankliniella occidentalis*) ile mücadelede de kullanılmaktadır. Çalışmada kullanılan EPN ürünleri, Bioglobal A.Ş. firması tarafından Enema firmasından ithal edilmiştir.

Denemelerde toplamda 9 adet 500 milyon ve 18 adet 250 milyon nematod içeren paketler kullanılmıştır. Bu ürünler, üretici firma tarafından soğuk zincir korunarak buz kalıpları ile paketlenmiş ve uçak kargo ile Türkiye'ye gönderilmiştir. Bu yöntem, nematodların canlılığını ve etkinliğini korumak için kritik öneme sahiptir (Şekil 3.1).

Her bir nematod dozu, belirlenen miktarda 600 litre su ile karıştırılarak uygun homojen bir çözelti elde edilmiştir. Nematod uygulamaları, mantar kompostuna ve kılıflama toprağına püskürtme yöntemi ile uygulanmıştır. Uygulama işlemleri sırasında nematodların etkinliğini en üst düzeyde tutmak için, uygulama yapılan alanların sıcaklık ve nem kontrolü sağlanmıştır. Ayrıca, nematodların dağılımının homojen olması için hazırlanan karışım sürekli olarak karıştırılmıştır.

Çalışmada, her bir uygulama grubuna ait karşılaştırma grupları oluşturulmuş ve karşılaştırma gruplarına mantar sineklerine karşı ruhsatlı Rufast tek doz (0,85 ml/1 L. su/m^2) olacak şekilde kullanılmıştır. Uygulama sonrası belirli aralıklarla mantar sineği popülasyonu ve mantar verimi gözlemlenmiş, elde edilen veriler istatistiksel analizler ile değerlendirilmiştir. Nematodların mantar sinekleri üzerindeki etkisi, sinek popülasyonundaki azalma oranı ve mantar verimindeki değişiklikler ile belirlenmiştir.

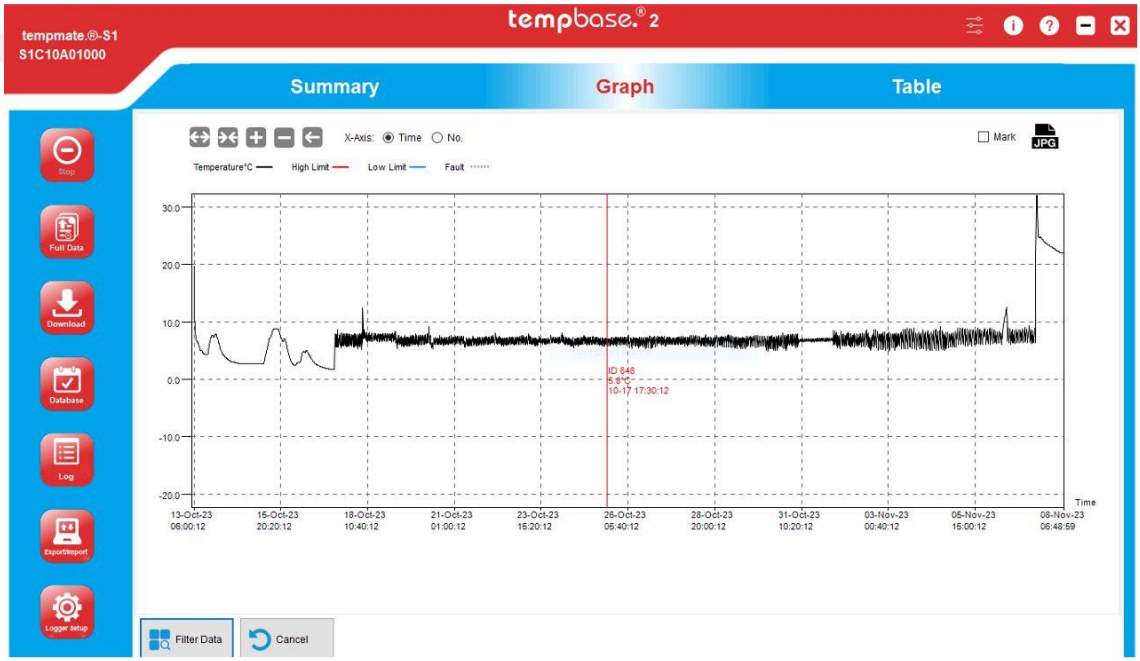


Şekil 3.1. Türkiye'de ithal edilen nematod ürünlerinin tedarik süreci ve kullanımı.

Toplam 500 milyon nematod içeren ürünler, ortalama 594 gram ağırlığındadır ve bu ürünler buz kalıpları ile Türkiye'ye getirilmiştir. Ürünler, üretici firmanın belirttiği şartlara uygun olarak saklanmış ve raflarda özel malzeme ve boya ile kaplanmış yüzeylerde muhafaza edilmiştir. Bu yöntem, ürünlerin raf materyaline yapışmaması ve herhangi bir kimyasal etkileşime girmemesini sağlamıştır (Şekil 3.2.).



Şekil 3.2. Paket ağırlığı (5.00 × 10^8 adet EPN).



Şekil 3.3. Sıcaklık verilerinin takibi.

3.2. Deneme Odaları

Çalışma, Antalya/Korkuteli mevkiinde 12 ay boyunca sürekli üretim yapan bir mantar üretim tesisinde gerçekleştirilmiştir. Tesis, 300 m² büyüklüğünde 60 adet odadan oluşmakta olup, kompost üretimini kendi bünyesinde gerçekleştirmektedir. Türkiye'de misel üretimi sınırlı olduğundan, bu çalışmada kullanılan miseller yurtdışından ithal edilmiştir.

Deneme yapılan mantar odalarının sıcaklıkları 20 °C civarında tutulmakta ve nem oranı %60-%75 RH arasında değişmektedir. Bu koşullar, mantar sineklerinin yaşamı için oldukça elverişli olup, yoğun popülasyonların oluşmasına neden olmaktadır. Mantar sinekleri, kompost üretim aşamasından itibaren tüm üretim sürecinde varlıklarını sürdürmektedir. Sürekli üretim yapılması, mantar sineklerinin bu bölgede yaşamlarını devam ettirmelerini kolaylaştırmaktadır (Şekil 3.4.).

Çalışma kapsamında, farklı dozlarda ve farklı günlerde EPN uygulanarak mantar sineklerine karşı etkinlikleri değerlendirilmiştir. Uygulamalar sırasında mantar sineği popülasyonu, belirli aralıklarla kontrol edilmiştir, ayrıca 100 mantar sapı incelenerek mantar kalitesi de belirlenmiştir, EPN'lerin etkinliği istatistiksel analizlerle değerlendirilmiştir. Çalışmanın temel amacı, EPN'lerin mantar sineği popülasyonunu ne ölçüde azaltabildiğini ve bunun üretim verimliliğine olan etkisini belirlemektir (Campos-Herrera, 2015; Grewal et al., 2018; Richardson, 1992).



Şekil 3.4. Mantar üretim tesisinde mantar sinekleri.

3.3. Mantar Üretimi

Misel üretimi ve ıslah çalışmaları Türkiye'de oldukça sınırlıdır ve birçok firma, miselleri yurtdışından ithal etmektedir. Buna karşın, kompost üretiminde Türkiye'deki üreticiler kompost ihtiyacını karşılayabilir durumdadırlar. Kompost içeriği genellikle saman (buğday, arpa veya çavdar samanı), at veya koyun gübresi (taze ve kuru), kireç taşı (toprak pH'ını ayarlamak için), gübre (mantar verimini arttırmak için), alçı taşı (mantar gelişmesini teşvik etmek için) ve sudan oluşur. Kompost hazırlanışı şu şekilde gerçekleştirilir: saman ıslatılarak yaklaşık 24 saat bekletilir, ardından diğer içerikler eklenir ve yığın haline getirilir. Bu yığın, ıslak bir bez ile örtülerek 6-10 gün arasında

fermantasyona bırakılır. Bu süre zarfında kompostun sıcaklığı 60-70°C'ye kadar yükselir. Her gün kompost çevrilerek havalandırılır ve nemi kontrol edilir. Kompost olgunlaştığında, amonyak kokusu kaybolur ve kompost kahverengi bir renk alır. Olgunlaşmış kompost, soğuması için 2-3 gün boyunca açık havada bırakılır ve ardından kompost üretim poşetleri ile sarılarak üretim alanına gönderilir.

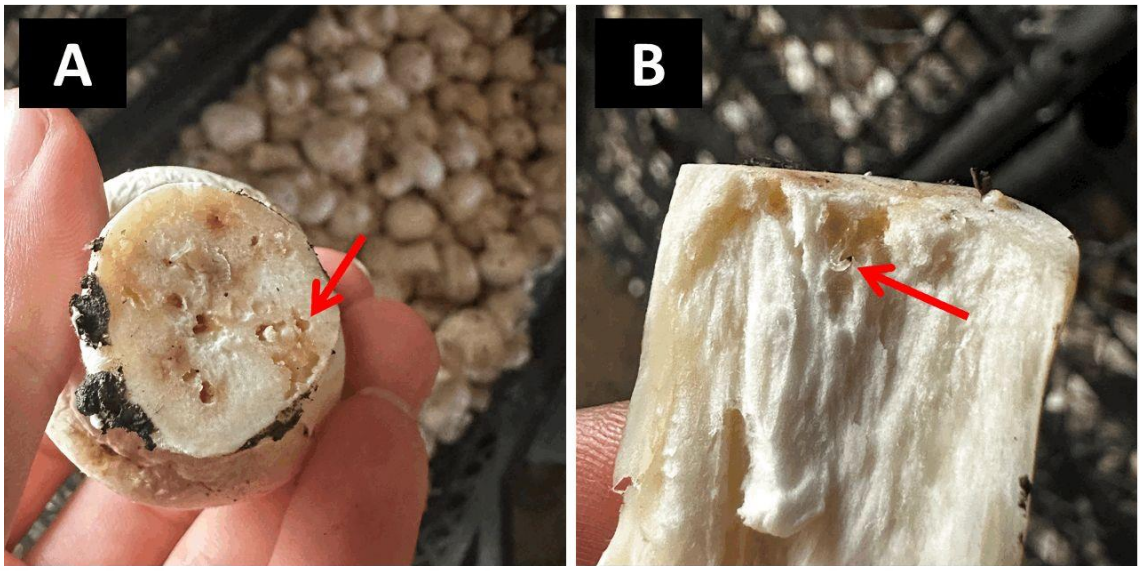
Üretime hazır 300 m² odalar organik maddelerden temizlenir. Bu odalara işletmenin kompost ağırlık ortalaması 23.335 kg'dir. Kompost poşetleri temizlenen tavalara yerleştirilir ve biriken amonyağın uçması için havalandırılır. Havalandırma sağlandıktan sonra tiftikleme (zemin düzleme) işlemi yapılır. Kompost seriminden 14 gün sonra kompost üzerine hazır temin edilen Kütahya toprağı serilir ve oda içerisi toprak serme işleminden sonra su ile yıkanıp temizlenir (Şekil 3.5. A). Toprağa formaldehit uygulaması yapılarak kompost üzerine serilen toprak sterilize edilir. Toprak serilmesinden yaklaşık 7-8 gün sonra, mantarların toplu ve yapışık çıkmaması için toprak yüzeyinden kompost yüzeyine kadar tırmıklanır. Tırmıklama işleminden 2-3 gün sonrasında, kompost içerisinde biriken CO2'nin mantar gelişimini olumsuz etkilememesi için odaya temiz hava verilmeye başlanır. Sulama işlemleri düzenli olarak devam eder. Yaklaşık 40-45 gün içerisinde hasat edilen mantarlar, ilk flaş olarak toplanır. Toplamda 3 flaş hasat edilir; ilk ve ikinci flaş verimi, üçüncü flaşa göre daha yüksektir. Hasat sonrası odadan üretim materyali çıkarılır, oda yeni üretime hazırlanmak üzere temizlenir (Şekil 3.5. B).

Mantar sinekleri, mantar üretiminde ana zararlı konumundadır ve kompost üretiminden itibaren tüm üretim döneminde mantar veriminin azalmasında önemli rol oynar. (Campos-Herrera, 2015; Grewal et al., 2018; Richardson, 1992).



Şekil 3.5. A: Topraklanma aşamasında odalar. B: Atık mantar.

IPM stratejilerinin temel unsurlarından biri hijyen önlemlerinin düzenli ve etkin bir şekilde uygulanmasıdır. Üretim alanlarının temiz tutulması, sinek popülasyonları ile mücadele edilmesinde kritik öneme sahiptir. Bu kapsamda, sarı yapışkan tuzaklar kullanılarak sinek popülasyonları izlenir ve değerlendirilir. Bu tuzaklar, sineklerin sayısının ve hareketlerinin belirlenmesinde etkili bir araçtır. Ayrıca, ışıklı sinek tuzakları kullanılarak sineklerin yakalanması ve popülasyonlarının azaltılması hedeflenir (Şekil 3.7).



Şekil 3.6. A: Mantar sineğinin saptaki zararının incelenmesi. B: Mantar sineği larvası



Şekil 3.7. A: Işık tuzağı. B: Sarı yapışkan tuzak.

3.4. Nematac Uygulama Denemeleri

Agaricus bisporus üretiminde EPN (*S. feltiae*) mantar sineklerine (Sciaridae) karşı etkinliği 2 farklı doz ve üç farklı uygulama zamanında değerlendirilmiştir. Denemeler, üç tekerrürlü olacak şekilde düzenlenmiş ve her bir doz ve zaman diliminde kontrol grupları oluşturulmuştur. Çalışmada kullanılan 2 farklı doz; Tek dozlar 500 milyon, 2 dozlar 250 milyon IJ içeren nematod ürünleridir. Uygulama günleri ise tek dozlar için 3., 7. ve 14. çift uygulama için 3.-7.gün, 7.-14. gün, 3.-14. günler olarak belirlenmiştir.

Temin edilen nematod paketleri, canlılıklarını korumak amacıyla buz kalıpları ile taşınarak mantar üretim odalarının sulama odasında 600 litrelik bir tanka dökülmüştür (Şekil 3.8). Bu tankta hazırlanan nematod çözeltisi, hortum aracılığıyla üretim odalarına taşınmış ve delik çapı 0.5 mm olan sulama başlıkları kullanılarak tüm yüzeye eşit şekilde uygulanmıştır. Bu yöntem, nematodların yüzeyde homojen dağılımını sağlamış ve etkinliklerini maksimize etmiştir.

Uygulama sonrası mantar sineği popülasyonları, belirli aralıklarla izlenmiş ve elde edilen veriler istatistiksel analizlerle değerlendirilmiştir. Bu süreçte, nematodların farklı doz ve uygulama zamanlarında mantar sineği popülasyonunu ne derece etkilediği ve üretim verimliliğine olan etkisi analiz edilmiştir.



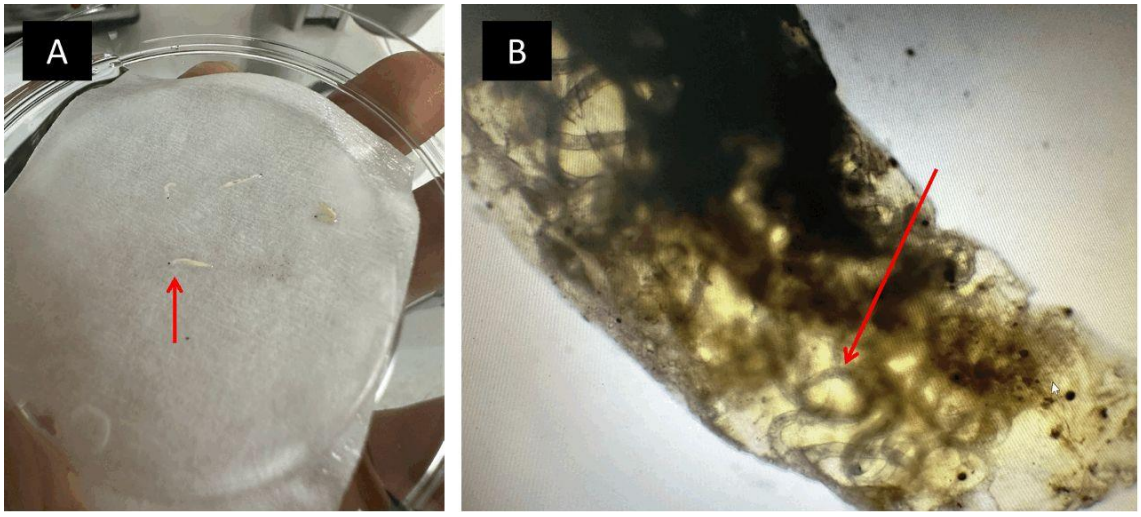
Şekil 3.8. Entomopatojen nematod (*S. feltiae*) uygulaması.

3.5. Sciarid Popülasyonu İzleme

Deneme yapılan mantar odalarının sıcaklıkları 20 °C civarında tutulmakta ve nem oranı %60-%75 RH arasında değişmektedir. Bu koşullar, mantar sineklerinin yaşamı için oldukça elverişli olup, yoğun popülasyonların oluşmasına neden olmaktadır. Mantar sinekleri, kompost üretim aşamasından itibaren tüm üretim sürecinde varlıklarını sürdürmektedir. Sürekli üretim yapılması, mantar sineklerinin bu bölgede yaşamlarını devam ettirmelerini kolaylaştırmaktadır.

Sarı yapışkan tuzaklar kullanılarak ergin mantar sineği popülasyonları gözlemlenmiştir. Enfekte olduğu düşünülen larvalar, White Trap düzeneğine alınarak çıkışları gözlenmiştir. White Trap, Ringer solüsyonu (9.0 g NaCl, 0.42 g KCl, 0.37 g $CaCl_2 \cdot 2H_2O$, 0.2 g $NaHCO_3$, 1 L distile su) içeren, çapı 10 cm olan bir petri kabında tutulan ters bir çapı 6 cm olan petri kabı kapağındaki emici bir substrat yüzeyine (nemli filtre kağıdı) yerleştirilmiştir (Şekil 3.9 B). Bu düzenek, kültürlerin bulaşmasını veya saprofit mikroorganizma gelişimini engellemek için kullanılmıştır.

Uygulamadan sonraki 2 hafta içerisinde, kadavralardan dışarıya çıkan infektif juveniller (IJ'ler), White Trap içerisindeki petri kabını çevreleyen Ringer solüsyonuna geçiş yapmakta ve burada birikmektedirler (Şekil 3.9 A). Bu yöntem, EPN'lerin etkisini ve mantar sineği popülasyonundaki değişiklikleri izlemek için kullanılmıştır. Elde edilen veriler, istatistiksel analizlerle değerlendirildi ve EPN'lerin etkinliği belirlendi.



Şekil 3.9. A: White trap düzeneğinde mantar sinek larvası. B: Enfekte edilen larva içindeki EPN gelişimi.

3.6. Hasat Veriminin Belirlenmesi

Denemeler için gerekli kompost miktarı, kamyon ile taşınan kompostun kantarda tartılması ile belirlenmiştir. Her flaşta kötü kalitede olan mantarlar ayrılarak imha edilmiş, sağlıklı mantarlar ise kasalara doldurulup paketleme alanına taşınmış ve burada tartılarak satışa hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.10). Uygulama yapılan her bir odada serilen kompost miktarı ve hasat edilen mantar verimleri düzenli olarak kaydedilmiştir. Bu veriler kullanılarak, odalardaki mantar veriminin komposta oranı hesaplanmıştır.

Steinernema feltiae uygulamaları, belirlenen dozlarda su ile karıştırılarak uygun bir homojen çözelti elde edilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Nematod çözeltileri, mantar kompostuna ve kılıflama toprağına püskürtme yöntemiyle uygulanmıştır. Uygulama sırasında nematodların etkinliğini en üst düzeyde tutmak amacıyla, uygulama yapılan alanların sıcaklık ve nem kontrolü titizlikle sağlanmıştır. Nematodların homojen dağılımını sağlamak için karışım sürekli olarak karıştırılmıştır (Campos-Herrera, 2015; Grewal et al., 2018).

Çalışma süresince, her bir uygulama grubuna ait kontrol grupları oluşturulmuş ve karşılaştırma gruplarına tek doz Rufast uygulanmıştır. Uygulamalar sonrasında, mantar sineklerinin mantar sapındaki açtığı delikler ve mantar verimine etkileri gözlemlenmiş,

elde edilen veriler istatistiksel analizler ile değerlendirilmiştir. Bu analizler, sinek zararının saplardaki zararın oranı 100 mantarda kontrol edilmiştir ve nematodların ve kimyasal mücadelenin mantar sinekleri üzerindeki etkinliğinin mantar verimindeki değişiklikler ile belirlemiştir.



Şekil 3.10. A: Hasat edilen mantarlar. B: Paketlenmiş satışa hazır mantarlar.

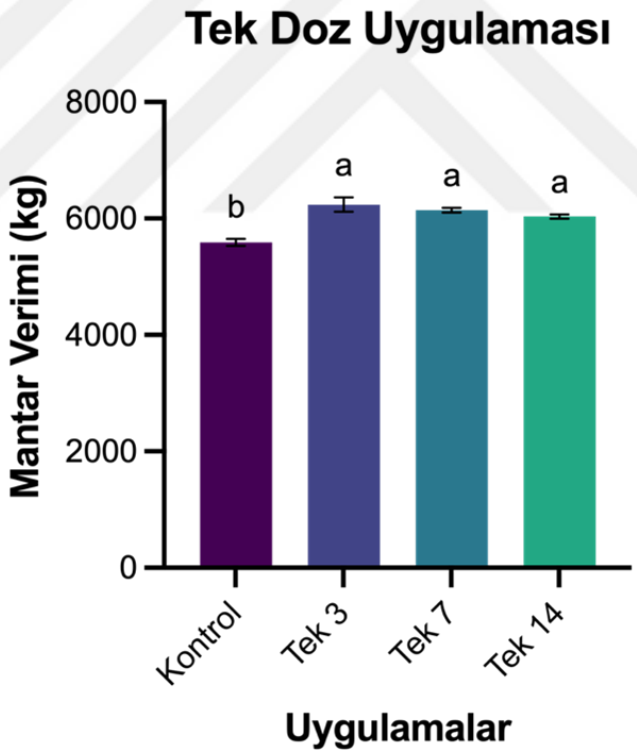
3.7. İstatistiksel Analiz

Analiz öncesinde tüm verilerin normal dağılım gösterip göstermediği Shapiro-Wilk's yöntemi ile uygulama gruplarının varyanslarının homojenliği ise Brown-Forsythe yöntemi ile test edilmiştir. Uygulamaların mantar verimi, mantar/kompost oranı ve mantar delik sayısında etkisinin değerlendirmesinde ANOVA testi, uygulama gruplarının karşılaştırmasında Tukey HSD post-hoc testi kullanılmıştır. Tüm analizler 0.05 seviyesinde gerçekleştirilmiş, grafikler GraphPad Prism v10 programı ile oluşturulmuştur.

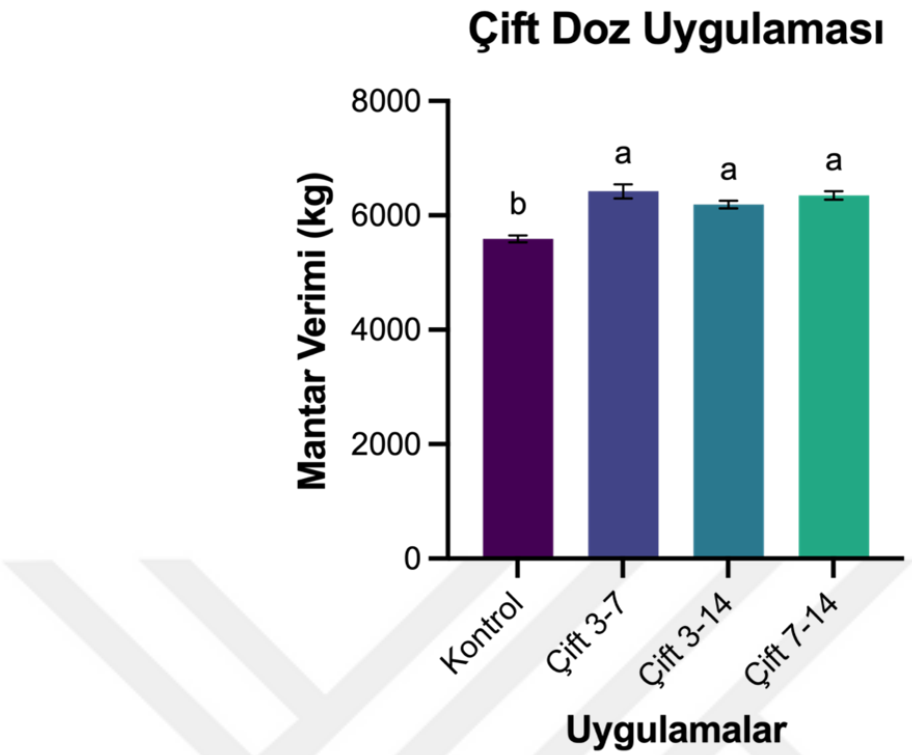
4. BULGULAR

4.1. Dozajların ve Uygulama Günlerinin Mantar Verimine Etkisi

Bu çalışma, Sciaridae familyasına ait mantar sineklerine karşı kullanılan farklı EPN dozajlarının farklı günlerde *A. bisporus* verimi üzerindeki etkilerini incelemektedir. Elde edilen veriler sonucunda Tukey HSD testi sonuçlarına göre, tek doz 5.00 × 10^8 adet EPN/300 m² uygulamasında en yüksek mantar verimi (kg) oranı ortalama 3. günde 6239 olarak belirlenmiştir. En düşük mantar verimi (kg) oranı ortalama ise kontrol grubunda 5602 olarak belirlenmiştir. Kontrol (b) ile nematod uygulamalarının (a) aralarında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık elde edilmiştir ($F(3, 8) = 14.8$; $p<0.0012$) (Şekil 4.1).

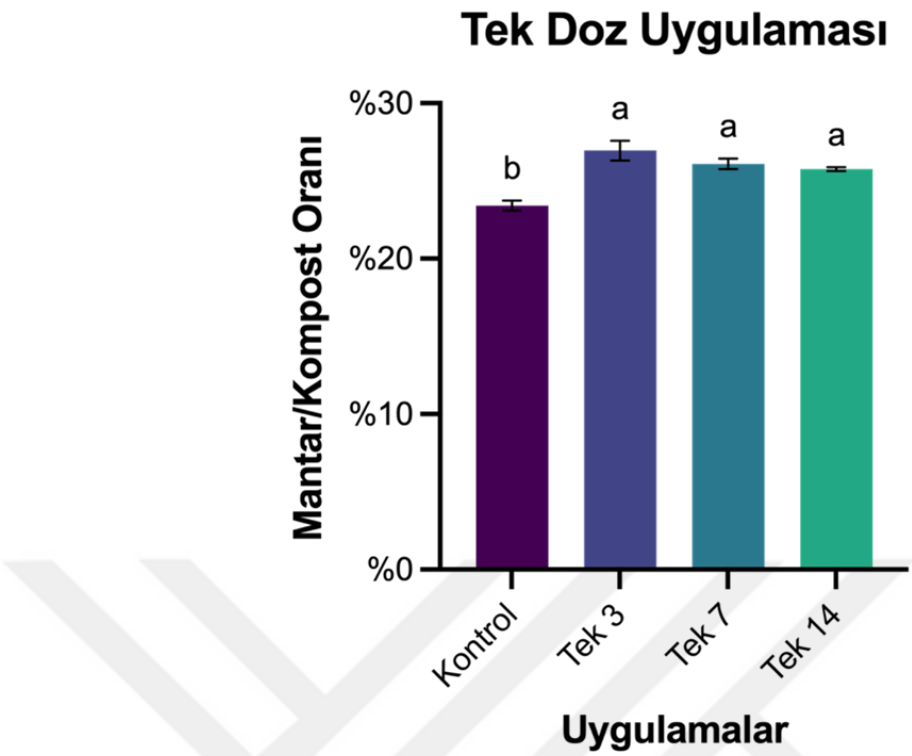


Şekil 4.1. Tek doz uygulamalarının mantar verimi (± standart hata) üzerine etkisi.



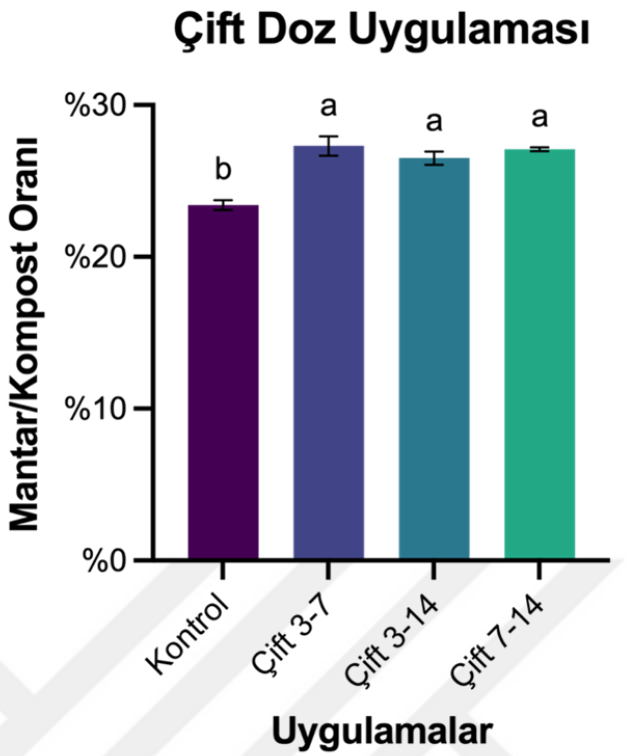
Şekil 4.2. Çift doz uygulamalarının mantar verimi (± standart hata) üzerine etkisi.

Elde edilen veriler sonucunda, farklı günlerde çift doz 2.50× 10^8 adet EPN/300 m² uygulamasında en yüksek mantar verimi (kg) oranı ortalama 3.-7. günde uygulanan denemede 6420 olarak belirlenmiştir. En düşük mantar verimi (kg) oranı ortalama ise kontrol grubunda 5602 olarak belirlenmiştir. Kontrol (b) ile nematod uygulamalarının (a) aralarında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık elde edilmiştir ($F(3, 8) = 19.6$; $p<0.0005$) (Şekil 4.2).



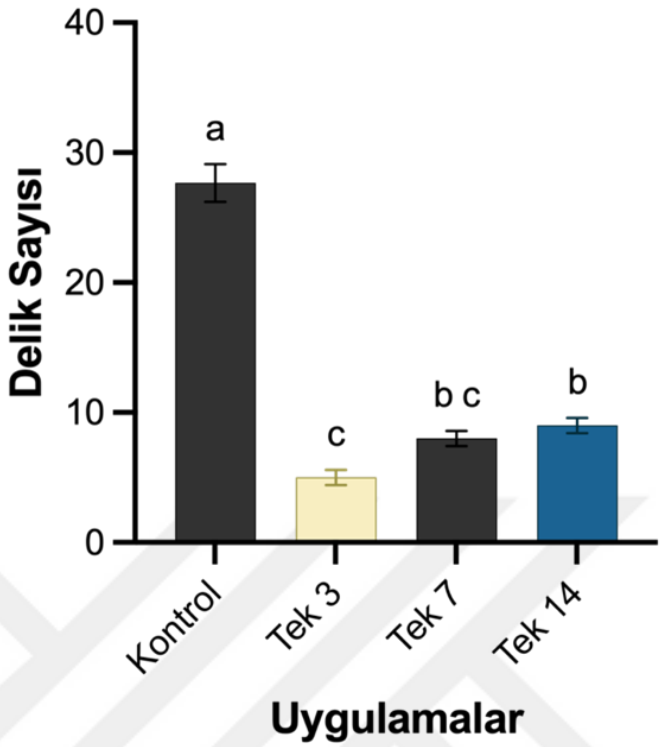
Şekil 4.3. Tek doz uygulamalarının mantar verimi (± standart hata) üzerine etkisi.

Elde edilen veriler sonucunda, tek doz 5.00 × 10^8 adet EPN/300 m² uygulamasında en yüksek mantar verimi (kg) yüzde oranı ortalama 3. günde uygulanan denemede %26.95 olarak belirlenmiştir. En düşük mantar verimi (kg) yüzde oranı ortalama ise kontrol grubunda %23.80 olarak belirlenmiştir. Kontrol (b) ile nematod uygulamalarının (a) aralarında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık elde edilmiştir ($F(3, 8) = 14.5$; $p<0.0013$) (Şekil 4.3).



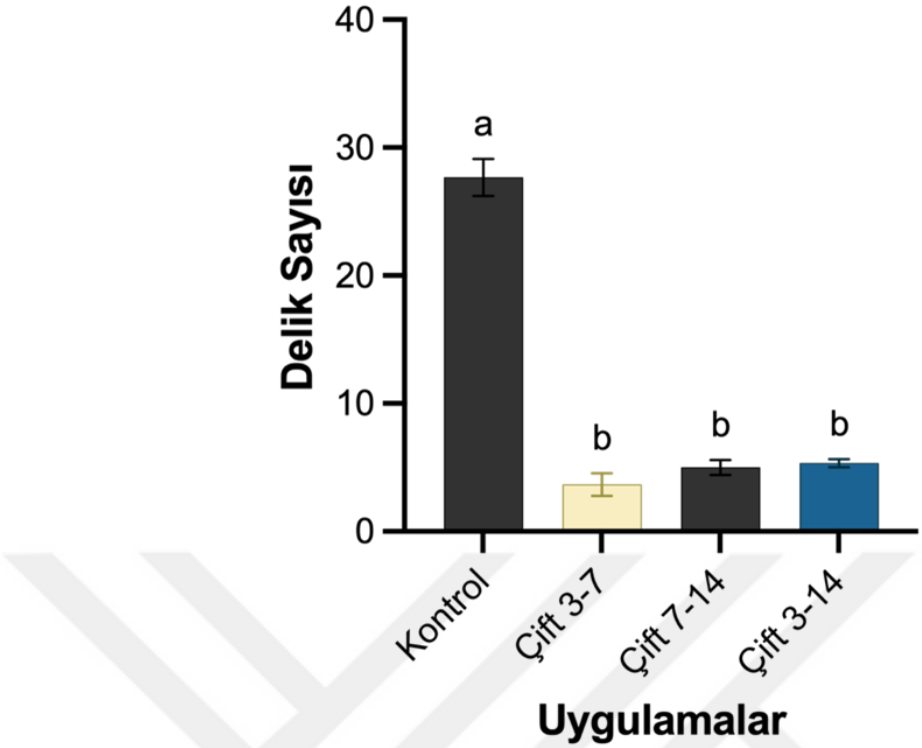
Şekil 4.4. Çift doz uygulamalarının mantar verimi (± standart hata) üzerine etkisi.

Elde edilen veriler sonucunda, farklı günlerde çift doz 2.50× 10^8 adet EPN/300 m² uygulamasında en yüksek mantar verimi (kg) yüzde oranı ortalama 3.-7. günde uygulanan denemede %27.30 olarak belirlenmiştir. En düşük mantar verimi (kg) yüzde oranı ortalama ise kontrol grubunda %23.80 olarak belirlenmiştir. Kontrol (b) ile nematod uygulamalarının (a) aralarında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık elde edilmiştir ($F(3, 8) = 18.0$; $p<0.0006$) (Şekil 4.2).



Şekil 4.5. Tek doz uygulamanın 100 mantardaki ortalama delik sayısına etkisi.

Elde edilen veriler sonucunda kontrol grubunda (kimyasal uygulama yapılan) ortalama delik sayısı en yüksek düzeyde olup (~30 delik), istatistiksel olarak diğer tüm gruplardan anlamlı şekilde farklıdır. Tek 3 uygulaması, en düşük ortalama delik sayısına sahip olup (~5 delik), istatistiksel olarak en etkili uygulama olarak öne çıkmaktadır. Tek 7 ve Tek 14 uygulamaları, birbirine yakın sonuçlar vermiştir (~10 delik). Her iki uygulama da kontrol grubuna kıyasla anlamlı derecede daha düşük delik sayısına sahipken, aralarındaki istatistiksel fark tam olarak aynı düzeyde değildir. İstatistiksel test sonuçları ($F(3, 8) = 137$, $P < 0.0001$), bu farklılıkların anlamlı olduğunu ve rastlantısal olmadığını göstermektedir.



Şekil 4.6. Çift doz uygulamanın 100 mantardaki ortalama delik sayısına etkisi.

Bu çalışmada elde edilen sonucunda kontrol grubunda (kimyasal uygulama yapılan) ortalama delik sayısı en yüksek düzeyde olup (~30 delik), istatistiksel olarak diğer tüm gruplardan anlamlı şekilde farklı bulunmuştur. Çift 3-7, Çift 7-14 ve Çift 3-14 uygulamaları, ortalama delik sayısını kontrol grubuna göre önemli ölçüde azaltmıştır (~5-10 delik) ve bu uygulamalar kendi arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır. İstatistiksel test sonuçları ($F(3, 8) = 159$, $P < 0.0001$).

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, *A. bisporus* üretiminde mantar sineklerinde ruhsatlı kimyasal ile *S. feltiae*'nin farklı zaman ve farklı dozajlarının mantar sineklerine (Sciaridae) karşı etkinliği ve bunun mantar verimine etkisi incelenmiştir. Elde edilen bulgular, EPN uygulamaları kontrole göre etkili bulunmuştur, uygulamalar mantar veriminde de artış sağlandığını göstermiştir. Uygulamalar arasında fark bulunmamaktadır. Mantar kalitesi ölçümlerinde kontrol (ruhsatlı kimyasal) grubuna göre anlamlı farklılık elde edilmiştir. EPN (*S. feltiae*)'nin kullanımı ile mantar saplarında deliklerin anlamlı şekilde azaldığı gözlemlenmiştir. En yüksek kompost verimi %28.56 ile 5.00 × 10^8 EPN/300 m² dozajında 3-7. gün uygulaması, en düşük kompost verimi ise %22.78 ile kontrolde gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, EPN (*S. feltiae*)'nin mantar sineği popülasyonunu etkin bir şekilde kontrol edebildiğini ve mantar verimini artırabildiğini göstermektedir.

Benzer şekilde, Acharya ve arkadaşları (2019), EPN'lerin mantar sineklerinin mücadelesinde etkili bir mücadele yarattığını rapor etmişlerdir. Bu çalışmada, EPN (*S. feltiae*)'nin yüksek kontrol etkinliği sağladığı ve mantar sineği popülasyonlarını önemli ölçüde azalttığı belirtilmiştir (Acharya et al., 2019).

Bu çalışmanın bulguları ayrıca, Bueno-Pallero ve arkadaşları (2018) tarafından yapılan çalışmayla da paralellik göstermektedir. Bu çalışmada, EPN'ler yüksek insektisit etkinlik sağladığı ve zararlı popülasyonlarını etkili bir şekilde kontrol ettiği bildirilmiştir (Bueno-Pallero et al., 2018).

Bu çalışmada, *A. bisporus* üretiminde EPN (*S. feltiae*)'nin farklı dozajlarının mantar sineklerine (*Sciaridae)* karşı etkinliği ve bunun verim üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen bulgular, kontrole göre EPN (*S. feltiae*) uygulamalarının mantar veriminde anlamlı bir artış sağlandığını göstermektedir. Özellikle 3-7. günlerde yapılan 5.00 × 10^8 EPN/300 m² dozajı, 3 tekerrürün verimleri sırasıyla %28.56, %26.92 ve %26.42 verim ile en yüksek sonuçları vermiştir. Kontrol grubunda ise en düşük verimler gözlemlenmiştir (%22.78, %23.62 ve %23.83).

Bu bulgular, literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında, EPN (*S. feltiae*)'nin mantar sinekleri üzerindeki etkinliğini ve mantar verimini artırıcı etkisini doğrulamaktadır. Örneğin, San-Blas ve arkadaşları (2017) tarafından yapılan bir çalışmada, EPN'lerin ticari mantar üretim çiftliklerinde mantar sinekleriyle mücadelede yüksek verimlilik sağladığı ve kimyasal kontrol yöntemlerine kıyasla %44'e varan verim artışları elde edildiği bildirilmiştir. Bu çalışma, EPN (*S. feltiae*)'nin biyolojik kontrol ajanları olarak etkinliğini ve sürdürülebilir tarım uygulamalarındaki potansiyelini vurgulamaktadır.

Bu bulgular, EPN'lerin mantar sinekleri gibi zararlılara karşı biyolojik mücadelede etkin bir yöntem olduğunu ve *A. bisporus* üretiminde verim artırıcı etkilerini vurgulamaktadır. Yapılan diğer araştırmalar da benzer şekilde, EPN'lerin farklı zararlılara karşı yüksek etkinlik gösterdiğini ve tarımsal üretimde kimyasal pestisitlere alternatif olabileceğini göstermektedir (Bueno-Pallero et al., 2018; O'Brien et al., 2016). EPN'lerin mantar sinekleri üzerinde yüksek kontrol etkinliği sağladığı ve bu uygulamaların tarımsal verimliliği artırmada önemli bir rol oynadığı belirtilmiştir (Choi et al., 2018).

Kalite kontrolü bulgularına göre de mantarların çürümesine neden olan deliklerin kimyasal uygulamalara göre, EPN uygulamaları mantar saplarındaki deliklerin azalmasında önemli sonuçlar göstermektedir. Örneğin Grewal ve arkadaşları (1993) yaptıkları çalışmada EPN uygulamalarının mantardaki zararları azalttığını bildirmişlerdir.

Bu çalışma, *A. bisporus* üretiminde kimyasal mücadeleye alternatif farklı dozaj ve farklı zamanlarda *S. feltiae*'nin mantar sineklerine (*Sciaridae)* karşı etkinliğini ve bu etkinliğin mantar verimi üzerindeki etkilerini inceleyerek önemli bulgular sunmaktadır. Çalışma sonuçları, kontrol grubuna göre EPN uygulamasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık elde edilmiştir. Özellikle kontrole göre 3.ve7.günde 2.50 × 10^8 EPN/300 m² dozajında elde edilen en yüksek verim değerleri, *S. feltiae'*nin mantar sinekleriyle biyolojik mücadelede etkili bir ajan olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Ek olarak farklı doz ve farklı zamanlarda uygulanan *S. feltiae*'nin uygulamalarının verime etkileri arasında fark gözükmemektedir. Uygulamalar arasındaki fark etkinlikten

anlaşılmamaktadır, bunun yerine ürün fiyatı, uygun uygulama zamanının belirlenmesi ve daha temiz mantar üretimi göz önünde bulundurularak üretici için en uygun uygulama dozu zamanı seçilebilir. Literatürde yer alan benzer çalışmalarla uyumlu olarak, en doğru doz ve uygulama zamanlaması ile kullanıldığında, mantar sineği popülasyonlarını etkin bir şekilde kontrol ettiği ve mantar üretiminde verim artışı sağladığı doğrulanmaktadır. Bu bulgular, *S. feltiae*'nin kimyasal pestisitlere sürdürülebilir bir alternatif sunduğunu ve mantar üreticileri için ekonomik ve çevresel açıdan faydalı bir çözüm olduğunu vurgulamaktadır. Gelecekteki araştırmalar, *S. feltiae*'nin uygulama zamanlamalarının ve çevresel faktörlerin optimize edilmesiyle mantar üretiminde daha yüksek verimlilik ve sürdürülebilirlik sağlanabileceğini vaat etmektedir. Bu çalışma, *S. feltiae*'nin mantar üretiminde yaygın olarak benimsenmesi için önemli bir temel oluşturarak, biyolojik kontrol stratejilerinin tarımda daha yaygın ve etkili kullanılmasına katkıda bulunmaktadır.

KAYNAKLAR

Acharya, R., Hwang, H.-S., Shim, J., Yu, Y., & Lee, K.-Y. (2019). Control efficacy of fungus gnat, *Bradysia impatiens*, enhanced by a combination of entomopathogenic nematodes and predatory mites. Biological Control. doi:10.1016/J.BIOCONTROL.2019.104071

Acharya, R., Hwang, H.-S., Shim, J., Yu, Y., & Lee, K.-Y. (2019). Control efficacy of fungus gnat, *Bradysia impatiens*, enhanced by a combination of entomopathogenic nematodes and predatory mites. Biological Control. https://doi.org/10.1016/J.BIOCONTROL.2019.104071

Bueno-Pallero, F., Blanco-Pérez, R., Dionísio, L., & Campos-Herrera, R. (2018). Simultaneous exposure of nematophagous fungi, entomopathogenic nematodes and entomopathogenic fungi can modulate belowground insect pest control. Journal of invertebrate pathology, 154, 85-94. doi:10.1016/j.jip.2018.04.004

Burnell, A. M., & Stock, S. P. (2000). *Heterorhabditis*, *Steinernema* and their bacterial symbionts – lethal pathogens of insects. Nematology, 2(1), 31-42. doi:10.1163/156854100508879

Campos-Herrera, R. (2015). Entomopathogenic Nematology. Springer.

Campos-Herrera, R. (2015). Nematode pathogenesis of insects and other pests: Ecology and applied technologies for sustainable plant and crop protection. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-18266-7

Campos-Herrera, R. (2015). Nematode pathogenesis of insects and other pests: Ecology and applied technologies for sustainable plant and crop protection. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-18266-7

Chen, C., Ma, H., Ma, M., Li, J., Zheng, S., Song, Q., Gu, X., Shapiro-Ilan, D., & Ruan, W. (2020). An innovative strategy for control of fungus gnats using entomopathogenic nematodes alone or in combination with waterlogging. Journal of Nematology, 52. https://doi.org/10.21307/jofnem-2020-057

Choi, Y. S., et al. (2018). Control of fungus gnat, *Lycoriella* mali, in mushroom cultivation using *Steinernema carpocapsae*. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2018.04.007.

Choi, Y., Seo, H.-Y., Whang, I.-S., & Lee, D.-H. (2018). Biological control of the Sciarid fly, *Lycoriella* mali (Diptera: Sciaridae) using *Steinernema carpocapsae* in a button mushroom cultivation house. Korean Journal of Applied Entomology, 57, 355-359. https://doi.org/10.5656/KSAE.2018.11.0.046

Erler, F., & Polat, T. (2016). Efficacy of native entomopathogenic nematodes against the mushroom phorid fly, *Megaselia halterata* (Wood) (Diptera: Phoridae). Saudi Journal of Biological Sciences, 23(6), 803-807. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.06.001

FAO. (2020). Mushroom production statistics.

Fenton, A., Gwynn, R., Gupta, A., Norman, R., Fairbairn, J., & Hudson, P. (2002). Optimal application strategies for entomopathogenic nematodes: integrating theoretical and empirical approaches. Journal of Applied Ecology, 39, 481-492. doi:10.1046/J.1365-2664.2002.00727.X

Fletcher, J. T. (2017). Diseases of commercial mushroom crops. In Mushrooms: Cultivation, Nutritional Value, Medicinal Effect, and Environmental Impact (pp. 383-398). CRC Press. https://doi.org/10.1007/978-3-319-69044-1_17

Garcha, H. S., Saini, S. S., & Kapoor, S. (1987). Mushrooms: A source of food protein. Mushrooms, 1987(3), 73-88. https://doi.org/10.1007/BF01976782

García, J. L., Cajuste-Bontemps, S., & Calvo-Bado, L. A. (2019). Use of biotechnological tools in mushroom breeding. Applied Microbiology and Biotechnology, 103(11), 4377-4391. https://doi.org/10.1007/s00253-019-10072-w

Gaugler & H. K. Kaya (Eds.), Entomopathogenic Nematodes in Biological Control (pp. 23-61). CRC Press.

Gazit, Y., Rossler, Y., & Glazer, I. (2000). Evaluation of Entomopathogenic Nematodes for the Control of Mediterranean Fruit Fly (Diptera: Tephritidae). Biocontrol Science and Technology, 10, 157-164. doi:10.1080/09583150029297

Gerson, U., & Weintraub, P. G. (2019). Mites (Acari) as a factor in greenhouse management. Annual Review of Entomology, 64, 11-32. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.11.011

Greenwood Plants,UK. https://greenwoodplants.co.uk/blog/pest-focus-sciarid-flies.2024.09.10

Grewal, P. S., & Richardson, P. N. (1993). Biological control potential of *Steinernema feltiae* against *Lycoriella auripila* in commercial mushroom production. DOI: 10.1016/0022-2011(93)90046-N.

Grewal, P. S., Ehlers, R. U., & Shapiro-Ilan, D. I. (Eds.). (2005). Nematodes as biocontrol agents. CABI.

Grewal, P. S., Grewal, S. K., & Tan, L. (1994). Host Recognition Behaviour and Structural Modifications in *Steinernema feltiae*, a Parasitic Nematode of Insects. Parasitology, 109(1), 115-123. doi:10.1017/S0031182000079393

Grewal, P.S., Ehlers, R.U., & Shapiro-Ilan, D.I. (2018). Nematodes as biocontrol agents. CABI Publishing. https://doi.org/10.1079/9780851995670.0000

Grewal, P.S., Ehlers, R.U., & Shapiro-Ilan, D.I. (2018). Nematodes as biocontrol agents. CABI Publishing. https://doi.org/10.1079/9780851995670.0000

Hajek, A., Gardescu, S., & Delalibera, Í. (2020). Summary of classical biological control introductions of entomopathogens and nematodes for insect control. BioControl, 66, 167-180. https://doi.org/10.1007/s10526-020-10046-7

Hara, A. H., Kaya, H. K., & Gaugler, R. (1993). Entomopathogenic Nematodes for Biological Control of Fungus Gnats in Floricultural Crops. Plant Disease, 77(3), 222-226. doi:10.1094/PD-77-0222

Harris, M., Oetting, R., & Gardner, W. (1995). Use of entomopathogenic nematodes and a new monitoring technique for control of fungus gnats, *Bradysia* coprophila (Diptera: Sciaridae), in floriculture. Biological Control, 5, 412-418. doi:10.1006/BCON.1995.1049

Hussain, M., Zouhar, M., & Ryšánek, P. (2017). Suppression of Meloidogyne incognita by the Entomopathogenic Fungus Lecanicillium muscarium. Plant disease, 102(5), 977-982. https://doi.org/10.1094/PDIS-09-17-1392-RE

Jagdale, G., Casey, M., Cañas, L., & Grewal, P. (2007). Effect of entomopathogenic nematode species, split application and potting medium on the control of the fungus gnat, *Bradysia* difformis (Diptera: Sciaridae), in the greenhouse at alternating cold and warm temperatures. Biological Control, 43, 23-30. doi:10.1016/J.BIOCONTROL.2007.03.013

Jess, S., & Kilpatrick, M. (2000). Dual control of the mushroom Sciarid fly *Lycoriella solani* (Diptera: Sciaridae) by the entomopathogenic nematode *Steinernema*

feltiae and the insect growth regulator diflubenzuron. Journal of Invertebrate Pathology, 75(1), 70-75. https://doi.org/10.1006/jipa.1999.4965

Jess, S., Little, G., & Matthews, D. I. (2007). Dual control of the mushroom Sciarid fly *Lycoriella ingenua* (Diptera: Sciaridae) by the entomopathogenic nematode *Steinernema feltiae* and the insect growth regulator cyromazine. Crop Protection, 26(5), 742-748. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2006.11.008

Kamali, S., Karimi, J., Hosseini, M., Campos-Herrera, R., & Duncan, L. (2013). Biocontrol potential of the entomopathogenic nematodes *Heterorhabditis bacteriophora* and *Steinernema carpocapsae* on cucurbit fly, Dacus ciliatus (Diptera: Tephritidae). Biocontrol Science and Technology, 23, 1307-1323. doi:10.1080/09583157.2013.835790

Katumanyane, A., Ferreira, T., & Malan, A. (2018). Greenhouse application of *Steinernema yirgalemense* to control fungus gnats, *Bradysia impatiens*. BioControl, 63, 729-738. https://doi.org/10.1007/s10526-018-9895-3

Katumanyane, A., Ferreira, T., & Malan, A. (2018). Potential Use of Local Entomopathogenic Nematodes to Control *Bradysia impatiens* (Diptera: Sciaridae) Under Laboratory Conditions. African Entomology, 26, 337-349. https://doi.org/10.4001/003.026.0337

Kaya, H. K., & Gaugler, R. (1993). Entomopathogenic nematodes. Annual Review of Entomology, 38, 181-206. doi:10.1146/annurev.en.38.010193.001145

Kumar, P., Ganguly, S., & Somvanshi, V. (2015). Identification of virulent entomopathogenic nematode isolates from a countrywide survey in India. International Journal of Pest Management, 61, 135-143. https://doi.org/10.1080/09670874.2015.1023869

Labaude, S., & Griffin, C. (2018). Transmission Success of Entomopathogenic Nematodes Used in Pest Control. Insects, 9(2), 72. https://doi.org/10.3390/insects9020072

Lewis, E. E., & Clarke, D. J. (2012). Nematode parasites and entomopathogens. In F. E. Vega & H. K. Kaya (Eds.), Insect Pathology (pp. 395-424). Academic Press.

Lu, D., Baiocchi, T., & Dillman, A. (2016). Genomics of Entomopathogenic Nematodes and Implications for Pest Control. Trends in parasitology, 32(8), 588-598. https://doi.org/10.1016/j.pt.2016.04.008

Mazin, W. R., Latifian, M., & Ghahari, H. (2018). Efficacy of entomopathogenic nematodes against *Lycoriella auripila* (Diptera: Sciaridae) larvae in mushroom cultivation. Crop Protection, 108, 86-90. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.04.006

Minas, R. S., Dolinski, C., Carvalho, R. D. S., & Souza, R. M. (2011). Biological control of fruit fly Ceratitis capitata using entomopathogenic nematodes in laboratory. doi:10.5380/rsa.v12i2.33822

Nguyen, T. N., Park, S., Park, Y. S., & Jeong, H. Y. (2018). The role of temperature and light on the mycelial growth and primordia formation of the mushroom Pholiota adiposa. Scientia Horticulturae, 239, 98-103. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.08.012

O'Brien, M., Kavanagh, K., & Grogan, H. (2016). Detection of *Trichoderma* aggressivum in bulk phase III substrate and the effect of T. aggressivum inoculum, supplementation and substrate-mixing on *Agaricus bisporus* yields. European Journal of Plant Pathology, 147, 199-209. https://doi.org/10.1007/s10658-016-0992-9

Özdemir, E., & Bayram, Ş. (2017). Biological control of the fungus gnats *Bradysia* difformis in mushrooms with *Heterorhabditis amazonensis* in tropical conditions. Scientia Horticulturae, 216, 120-125. doi:10.1016/J.BIOCONTROL.2007.03.013

Poinar, G. O. (1990). Biology and taxonomy of Steinernematidae and Heterorhabditidae. In R.

Richardson, P. N. (1992). Entomopathogenic nematodes in preserved farming. DOI: 10.1016/0022-2011(92)90056-Y.

Richardson, P. N., & Grewal, P. (1991). Comparative Assessment of biological (Nematoda: *Steinernema feltiae*) and chemical methods of control for the mushroom fly *Lycoriella auripila* (Diptera: Sciaridae). Biocontrol Science and Technology, 1, 217-228. doi:10.1080/09583159109355201

Richardson, P. N., & Grewal, P. S. (1991). Effect of entomopathogenic nematodes on the control of the fungus gnat *Bradysia* coprophila in greenhouses. Biological Control, 5, 412-418. doi:10.1080/0958315031000165569 3

Richardson, P.N. (1992). Control of fungus gnats (*Bradysia* spp.) with entomopathogenic nematodes. Parasitology, 105(S59-S64). https://doi.org/10.1017/S0031182000074662

Rohde, C., Junior, A. M., Carvalho, F. D., & Silva, M. (2015). Seleção de nematoides entomopatogênicos visando ao controle da mosca das frutas Ceratitis capitata (Diptera: Tephritidae). doi:10.5039/agraria.v7isa2217

Royse, D. J. (2020). Mushroom production worldwide: A review.

San-Blas, E., Luzardo, M., Larreal, J., Portillo, E., & Bastidas, B. (2017). Biological control of the fungus gnats *Bradysia* difformis (Diptera, Mycetophilidae) in mushrooms with *Heterorhabditis amazonensis* in tropical conditions. Scientia Horticulturae, 216, 120-125. https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2017.01.003

San-Blas, E., Luzardo, M., Portillo, E., Fuenmayor, Y., & Bastidas, B. (2017). *Heterorhabditis amazonensis* for biological control of fungus gnats *Bradysia* difformis in Daisy gerberas. BioControl, 62, 847-855. https://doi.org/10.1007/s10526-017-9843-7

Scheepmaker, J., Geels, F. P., Rutjens, A. J., Smits, P., & Griensven, L. (1998). Comparison of the Efficacy of Entomopathogenic Nematodes for the Biological Control of the Mushroom Pests *Lycoriella auripila* (Sciaridae) and *Megaselia halterata* (Phoridae). *Biocontrol Science and Technology, 8*, 289-300. doi:10.1080/09583159830342

Shamshad, A. (2010). The development of integrated pest management for the control of mushroom Sciarid flies, *Lycoriella* spp. (Diptera: Sciaridae) in cultivated mushrooms. *Crop Protection, 29*(2), 56-62. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2009.12.002

Sharma, S. S., Singh, R., & Singh, H. (2018). Management of mycophagous Sciarid flies (*Bradysia* difformis) in commercial mushroom cultivation using entomopathogenic nematodes. *Crop Protection, 112*, 103-108. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.09.004

Sharma, S. S., Singh, R., & Singh, H. (2019). Control of mushroom phorid fly, *Megaselia halterata* (Wood) in *Agaricus bisporus* cultivation using entomopathogenic nematodes. *Crop Protection, 120,* 8-15. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.11.012

Shamshad, A., Clift, A., & Mansfield, S. (2008). Toxicity of six commercially formulated insecticides and biopesticides to third instar larvae of mushroom sciarid,

Lycoriella ingenua Dufour (Diptera: Sciaridae), in New South Wales, Australia. Australian Journal of Entomology, 47, 256-260. https://doi.org/10.1111/J.1440-6055.2008.00653.X.

TÜİK. (2020). Mushroom production statistics.

Ulu, T., Kaya, H., & Eren, Y. (2016). Biyolojik Mücadele ve Kültür Mantarı Üretiminde Kullanımı. Tarım Bilimleri Dergisi, 22(1), 55-66.

Usman, M., Gulzar, S., Wakil, W., Wu, S., Piñero, J., Leskey, T., Nixon, L., Oliveira-Hofman, C., Toews, M., & Shapiro-Ilan, D. (2020). Virulence of Entomopathogenic Fungi to Rhagoletis pomonella (Diptera: Tephritidae) and Interactions With Entomopathogenic Nematodes. Journal of Economic Entomology, 113(5), 2627-2633. https://doi.org/10.1093/jee/toaa209

White, J. A., & Gries, R. (2019). Host-marking pheromone of the mushroom Sciarid fly *Lycoriella ingenua*: Mating reduces female response. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 286(1894), 20182021. https://doi.org/10.1098/rspb.2018.2021

Yoon, C. S., Lee, M. Y., & Lee, S. Y. (2016). Biological control of phorid fly, *Megaselia halterata*, in oyster mushroom cultivation using entomopathogenic nematodes. Journal of Invertebrate Pathology, 137, 38-44. https://doi.org/10.1016/j.jip.2016.04.015