

Derleme (Review)

Bitki paraziti nematodların mücadelesinde kullanılan biyonematisitler

Gülsüm UYSAL¹, İbrahim MISTANOĞLU², Melih KOCA³, Zübeyir DEVRAN^{3*}

Bionematicides used in the control of plant parasitic nematodes

Abstract: Plant parasitic nematodes cause the highest financial losses in agricultural crops. Numerous microorganisms (bacteria and fungi) and extracts from plants are used in the control of these pests, as well as chemical controls. However, chemical control has negative effects on the environment and human health, while bionematicides are an extremely reliable alternative management option. Bionematicides can act synergistically or as additives with other agricultural inputs in IPM programs and increase the effectiveness of nematode control. In this review, bionematicides of bacterial, fungal and plant/animal origin used in the control of plant parasitic nematodes are listed and discussed.

Keywords: Bionematicide, bacteria, fungi, extracts of plant/animal origin

Öz: Bitki paraziti nematodlar tarımsal ürünlerde ekonomik kayba yol açan en önemli organizmalardandır. Bu zararlıların mücadelesinde kimyasal mücadelenin yanı sıra çok sayıda mikroorganizma (bakteriler ve funguslar) ve bitkisel kökenli ekstraktlar kullanılmaktadır. Kullanılan bu yöntemler arasından kimyasal mücadele çevre ve insan sağlığına olumsuz etkilere sahipken biyonematisitler son derece güvenilir alternatif bir mücadele tekniğidir. Biyonematisitler, entegre zararlı yönetimi (IPM) programlarında diğer tarımsal girdilerle sinerjik veya katkı maddesi olarak kullanılabilir ve mücadelenin etkinliğini artırabilir. Bu derlemede bitki paraziti nematodların mücadelesinde kullanılan biyonematisitler; bakteriler, funguslar; ve bitkisel/hayvansal kökenliler olarak incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Biyonematisit, bakteri, fungus, bitkisel/hayvansal ekstraktlar

Giriş

Bitki paraziti nematodlar dünya genelinde birçok bitki türünde zarar oluşturan önemli tarımsal organizmalar arasındadır. Biyotrofik özellikteki bu canlılar sebzeler, meyveler ve tek-çok yıllık bitkiler, süs bitkileri ve yabancı otlar da dahil olmak üzere çok geniş bir konukçu dizisine sahiptir. Bu bitkilerde neden oldukları zararlar; ekonomik, fiziksel ve verim/kalite kaybı şeklinde gerçekleşmekte olup kayıp oranı dünya genelinde önemli

1Batı Akdeniz Tarımsal Araştırmalar Enstitüsü Müdürlüğü Bitki Sağlığı Bölümü Antalya

2Bolvadin İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğü Afyonkarahisar

3Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü 07058 Antalya

*Sorumlu yazar (Corresponding author) e mail: zdevran@akdeniz.edu.tr

ORCID ID (Yazar sırasıyla): 0000-0003-1722-2518; 0000-0002-8635-0321; 0000-0003-1930-1121;

0000-0001-7150-284X

Alınış (Received):17.05.2021

Kabul edilmiş (Accepted):23.08.2021

tarımsal ürünlerde yıllık yaklaşık %12.6'dır. Ekonomik değer kaybı ise yaklaşık 215.77 milyar Amerikan Doları civarındadır (Abd-Elgawad & Askary 2015; Subedi et al. 2020).

Nematodlarla mücadelede en sık başvurulan kimyasal pestisitlerin hedefteki zararlı organizmaya etkilerinin zamanla azalması ve dayanıklı popülasyonların meydana gelmesiyle biyolojik mücadele teknikleri ön plana çıkmıştır (Lamovšek et al. 2013). Biyolojik teknikler, uygulamaları esnasında hem gıda güvenliği ve çevre-insan sağlığına herhangi bir zararının olmaması hem de sürdürülebilir bir üretime imkan sağlaması nedeniyle önemlidir (Cumagun & Moosavi 2015). Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) biyopestisit tanımını canlı bir organizma ya da doğal bir üründen elde edilerek formüle edilip uygulanmış ve zararlı bir organizmanın popülasyonunu düşüren ürünler olarak adlandırmıştır (FAO 2017). FAO'nun yaptığı bu tanımlamaya göre de biyopestisitler; mikroorganizma kökenli, bitkisel kökenli ve semiokimyasallar adı altında gruplandırılmaktadır (FAO 2017). Amerika Birleşik Devletleri'nde biyopestisitler mikrobiyal biyopestisitler, biyokimyasal biyopestisitler ve bitkiye aktarılmış koruyucular olarak üç grupta sınıflandırılırken (EPA 2013), Avrupa Birliği'nde ise biyopestisitler aktif bileşenlerine göre gruplandırılmamakla birlikte bu terim "Biyolojik Kontrol Ajanları (BKA)" şeklinde kullanılmaktadır (Villaverde et al. 2016; Balcı & Durmuşoğlu 2020). Toplam pestisit pazarının %5-6 ile küçük bir kısmını paylaşan biyopestisitler her 5 yılda %9-10 arasında bir büyüme ile özellikle organik tarımda yoğunlukla tercih edilmektedir (Thakore 2006; Ndolo et al. 2019). Dünya biyopestisit pazarında en çok bakteriyel ürünler yer almaktadır ve bunu sırasıyla funguslar, predatörler ve virüsler takip etmektedir. Bunlar en çok sebze ve meyve bahçelerinde kullanılmaktadır (Marrone 2014). ABD'de 200'den fazla ürün biyopestisit pazarında yer alırken Avrupa Birliği'nde bu rakam sadece 60 olarak bildirilmiştir (Kumar & Singh 2015). Biyopestisit pazarında en büyük pay %40 ile Kuzey Amerika'ya aittir ve Amerika kıtasındaki toplam biyopestisit pazar değeri 2019 verilerine göre yaklaşık 4.40 milyar dolar iken, 2027 ye kadar bu rakamın 10.63 milyar dolar olması beklenmektedir (MRR 2020). Biyolojik mücadele geleneksel yöntemler ve kimyasal mücadele ile kıyaslandığında özellikle çevre ve insan sağlığına zararsız olmasına rağmen daha yavaş ve geç etki gösteren ve sonuçları daha az tutarlı olan bir yöntemdir. Bu durumun başlıca nedenleri mikro (fungus, bakteri, virüs ve protozoa), mezo (rotiferler, nematodlar, akarlar, tardigradlar vs.) ve makro (solucanlar, termitler, kırkayaklar vs.) faunadan oluşan biyotik ve abiyotik etmenlerdir. Fakat bu BKA'larının uygulanmalarındaki başarısı, büyük ölçüde yukarıda bahsi geçen abiyotik ve biyotik faktörlerin oluşturduğu toprak ekolojisi ya da toprak ekosisteminden etkilenebilmeleriyle ilişkilidir (Cumagun & Moosavi 2015). Yapılan çalışmalarda virüslerin, akarların ve avcı nematod türlerinin bitki paraziti nematodlara karşı biyokontrol aktiviteleri tespit edilmiştir. Fakat nematodlara antagonistik etkileri tespit edilen organizmalar arasında en çok çalışılan ve gelecek vaat eden grupların bakteriler ve funguslar olduğu belirtilmektedir (Abd-Elgawad & Askary 2015; Cumagun & Moosavi 2015).

Bu derlemede bitki paraziti nematodlara karşı kullanılan biyopestisitler (bakteriler, funguslar ve bitkisel/hayvansal kökenli ekstraktlar) hakkında bilgi verilmesi amaçlanmıştır.

Bakteriler

Toprakta en çok bulunan organizmalar arasında yer alan bakteriler, bitki paraziti nematodların biyolojik mücadelesinde kullanılmaktadır (Tian et al. 2007). Özellikle *Bacillus*, *Pasteuria* ve *Pseudomonas* cinsinin birçok üyesi bitki paraziti nematodlara karşı kullanılmaktadır (Siddiqui & Mahmood 1999; Abd-Elgawad & Askary 2018). Bakteriyel kontrol organizmaları parazitik bakteriler ve parazitik olmayan rizobakteriler olarak iki grupta değerlendirilmektedir (Siddiqui & Mahmood 1999; Abd-Elgawad & Askary 2015). Nematofagus bakteri olarak nitelendirilen bu iki grubun üyeleri nematodlar üzerinde sinerjistik etkiye sahiptirler (Stirling 2014). Bu bakterilerin temelde etki yolları; toksin, antibiyotik veya enzim üreterek parazitlenme, besin için nematodlarla rekabete girme, bitkinin sistemik direncinin uyarılması ve bitki gelişiminin teşvik edilmesi şeklindedir. Biyokontrol organizması olarak bakteriler; obligat parazit bakteriler, fırsatçı bakteriler, rizobakteriler, Cry proteini üreten bakteriler, endofitik ve simbiyotik bakteriler olarak 6 grupta incelenmektedir (Tian et al. 2007) (Çizelge 1).

Obligat parazit bakteri (*Pasteuria*)

Bitki paraziti nematodların obligat paraziti olan *Pasteuria* cinsi bakteriler endospor formuna sahiptirler (Sayre & Starr 1985). Bu cinse ait bakterilerin bitki paraziti ve serbest yaşayan gruplar dahil yaklaşık olarak 323 nematod türünü enfekte ettiği bildirilmiştir (Chen & Dickson 1998). *Pasteuria penetrans* özellikle topraktaki kök ur nematodu popülasyonunun baskılanmasından sorumlu birincil mikroorganizma olarak kabul edilir (Akyazı & Dickson 2014). *Pasteuria* endosporları kök ur nematodu ikinci dönem larvalarının kutikulasına yapışır ve köke giriş yapan larvada çimlenen endosporlar larvanın aktivitesini sınırlarlar. Ayrıca dişi bireyde de çoğalmaya devam ederek dişinin üreme potansiyelinin kaybolmasına neden olurlar (Viaene et al. 2006). Bu endosporların uygun olmayan koşullara karşı dayanıklı olması ve pestisitlere karşı da tolerans göstermesi en önemli avantajlarından (Kati & Mennan 2006). Fakat *P. penetrans*'ın etkili olduğu konukçu sayısının az olması ve kitle üretiminin zor olması biyonematisit pazarında yer alamamasındaki engellerdendir (Weibelzahl-Fulton et al. 1996, Uysal & Göze Özdemir 2020). Ticari olarak kullanımda olan *Pasteuria nishizawae* Pn1 (Clariva® pn) ise *Heterodera glycines* (SCN) in mücadelesinde kullanılan tohum uygulaması olan bir biopreparattır (Jensen et al. 2018) (Çizelge 1).

Fırsatçı parazit bakteriler

Obligat parazitik bakteriler dışında nematofagus bakterilerin birçoğu genellikle saprofitik yaşam sürerler ve nematodları olası bir besin kaynağı olarak hedef alırlar. Bununla birlikte, bazı koşullarda nematodu enfekte etmek ve öldürmek için kütikula bariyerini delebilen tipteki bakteriler fırsatçı bakteriler olarak adlandırılmaktadır (Tian et al. 2007). Çam solgunluk nematodu *Bursaphelenchus xylophilus* ve soya fasülyesi kist nematodu *Heterodera glycines*'in fırsatçı bakterisi olarak *Brevibacillus laterosporus* G4 ve *Serratia quinivorans* BXF1 bildirilmektedir (Nascimento et al. 2016) (Çizelge1).

Rizobakteriler

Bitki gelişimini destekleyen rizobakteriler (PGPR) olarak da adlandırılan bu grubun etki mekanizması oldukça geniştir. Bu mekanizmalar; doğrudan antagonistik etki (toksinler,

enzimler ve diğer metabolik bileşenler üreterek) ve dolaylı etki olarak bitki nematod arasındaki mekanizmaları aktive etmek (sistemik dayanıklılığın teşviki), besin için rekabete girmek ve nematod davranışlarını düzenleyerek popülasyonu azaltmak olarak sıralanabilir. Ürettikleri bu toksinler nematodun yumurtadan çıkışını engellemekte, çoğalmasını baskılamakta veya doğrudan ölümlerine yol açmaktadır (Siddiqui & Mahmood 1999; Tian et al. 2007). Rizosferde en yaygın bulunan *Bacillus* spp. ve *Pseudomonas* spp. rizobakteriler nematodların antagonistleri olarak bildirilmekte özellikle *Meloidogyne*, *Heterodera*, *Globodera* ve *Rotylenchulus* cinsine ait türlere karşı kullanılmaktadır (Engelbrecht et al. 2018). En yaygın kullanılan ticari ürünler ise; *Pseudomonas fluorescens*, *P. chlororaphis*, *Bacillus firmus* (strain GB-126 ve I-1582), *B. cereus* (CM-1c strain) *B. subtilis* (CM-5 strain), *B. megaterium*, *B. licheniformis* ve *B. amyloliquefaciens* (Çizelge 1)'dir. Brezilya, Hindistan, Mısır, ABD, İsrail ve Çin gibi ülkelerde yaygın kullanımları söz konusudur (Abd-Elgawad & Askary 2018).

Cry protein oluşturan bakteriler

Bacillus thuringiensis (Bt)'in serbest yaşayan ve bitki paraziti nematodların larvalarına toksik olduğu bilinen altı Cry proteini (Cry5, Cry6, Cry12, Cry13, Cry14, Cry21) belirlenmiştir (Wei et al. 2003). Bu deltaendotoksin olarak bilinen kristallerin üretimiyle bitki paraziti nematodların bağırsak epitel hücrelerinin hücre zarında oluşturulan litik gözenekler ile hasara neden olarak nematod popülasyonu baskılanmaktadır (Tian et al. 2007) (Çizelge 1).

Endofitik bakteriler

Bitkilere herhangi bir zarar vermeyerek kök doku ve rizosferde daima bulunan ve bitkide herhangi bir hastalık belirtisi göstermeden yaşamını devam ettiren bakterilere endofitik bakteriler denilmektedir (Siddiqui & Shaukat, 2003; Sülü et al. 2016). Bu bakteriler konukçu bitkide fizyolojik, morfolojik ve gelişimsel süreçlere katkı sağlamalarından dolayı bitkinin sağlıklı büyüme ve gelişmelerine neden olurlar. Bu nedenle endofit uygulamalarının yapılmasıyla bitkilerin ürettikleri pektin, selüloz ve fenolik bileşiklerin kökte bariyer oluşturarak nematodların yol açtıkları zararın azaltılabileceği düşünülmektedir (Berg & Hallmann 2006). Actinobacteria, Firmicutes ve Proteobacteria şubelerinde bildirilen endofitikler bitki savunma mekanizmalarında (fenol ve salisilik asit içeriğinin artırılması), IAA üretimi, siderofor üretimi ve de fosfat indirgeme aktiviteleriyle etkilidir (Berg & Hallmann 2006). Yapılan çalışmalarda özellikle kök ur nematodu larva penetrasyonunun ve çoğalmasının engellenmesinde etkili birçok endofitik bakteri belirlenmiş fakat ticari preparat haline getirilememiştir.

Simbiyotik bakteriler

Xenorhabdus spp. ve *Photorhabdus* spp. entomopatojenik nematodların (*Steinernema* spp. ve *Heterorhabdus* spp.) bakteriyel simbiyonlarıdır ve bu bakterilerin böceği öldürerek ve nematod üremesi için uygun bir besin ortamı sağlayarak simbiyotik birleşmeye katkıda buldukları düşünülmektedir (Kaya et al. 2006). Bu simbiyotik bakterilerin savunma bileşiklerinin üretimiyle bitki paraziti nematodlarının baskılanmasından sorumlu olduğu ve antagonistik etkisi rapor edilmiştir (Tian et al. 2007) (Çizelge 1).

Funguslar

Nematodlarla mücadelede kullanılan çok sayıda BKA bulunmaktadır. Ancak topraktaki bitki paraziti nematod yoğunluklarını düzenleyen en umut verici ve uygulanabilir BKA'ları nematofag funguslardır (Abd-Elgawad & Askary 2015). Zopf tarafından 1888 yılında nematofag özellikte olduğu belirlenen ilk fungus türü *Arthrobotrys oligospora*'dır (Braga & Araújo 2014). Ancak yapılan çalışmalarda günümüze kadar nematofag özelliğe sahip olan ve *Ascomycota* (anamorfik *Orbiliaceae* ve *Clavicipitaceae*), *Basidiomycota* (*Pleurotaceae*), *Zygomycota* (*Zoopagales*) ve *Chytridiomycota* gibi birkaç filumda yer alan 700'den fazla fungus türü tespit edilmiştir. Ayrıca geleneksel olarak fungus alemine dahil olan ancak gerçek funguslardan olmayan birkaç *Oomycota* türünün de nematodları öldürebildiği belirlenmiştir (Moosavi & Zare 2012; Li et al. 2015). Bitki paraziti nematodlara karşı kullanılan ya da kullanılma potansiyeli olan bu funguslar, nematofag funguslar ve endofitik funguslar olarak iki ana gruba ayrılmaktadır.

Nematofag funguslar

Nematodları besin kaynağı olarak kullanmak amacıyla parazitleyen ve nematodlar üzerinde çoğalan funguslara nematofag funguslar denir (Moosavi & Zare 2012). Bu grupta yer alan fungusların bazıları nematodların obligat parazitleri iken büyük bir kısmı fakültatif saprofit olarak yaşamaktadır (Lopez-Llorca et al. 2008). Fakültatif yaşayanlar geliştirdikleri özel yapılar (hifler, nodüller vs.) vasıtasıyla nematodların hareketli dönemlerini enfekte edebilmektedir. Obligat özellikte olanlar ise nematodların bünyesine aldığı ve içeriden gelişen ya da kutikularına yapışan ve direk giriş yapan sporları vasıtasıyla nematodları enfekte edebilmektedir (Lopez-Llorca et al. 2008; Moosavi & Zare 2012). Nematodlarla parazitik ilişki içerisindeki bu funguslar beslenme davranışlarına göre; yumurta ve dişi paraziti funguslar, nematod kapan (yakalayan) funguslar, endoparazitik funguslar ve toksin üreten funguslar olmak üzere dört gruba ayrılabilir (Çizelge 1).

Yumurta ve dişi paraziti funguslar

Özellikle sabit endo ya da ekto parazit nematod türlerinde etkili olabilen bu gruptaki funguslar konukçularını zoospor ya da appressorium'ları ile enfekte etmektedir (Viaene et al. 2006; Lopez-Llorca et al. 2008). Saprofitik özelliklerinden dolayı laboratuvarında da kolaylıkla kültüre alınabilmektedir (Braga & Araújo 2014). *Clonostachys*, *Cylindrocarpon*, *Dactyella*, *Haptocillium*, *Hirsutella*, *Lecanicillium*, *Pochonia* ve *Paecilomyces* cinslerine ait birçok fungus türü nematodlarla mücadelede bu grup içerisinde değerlendirilmektedir (Viaene et al. 2006; Moosavi & Zare 2012; Li et al. 2015) (Çizelge 1). Bu fungusların nematod dokusuna girişleri oluşturdukları appressorium'ları vasıtasıyla fiziksel, ürettikleri bazı enzimler vasıtasıyla da kimyasal bir süreç içermektedir (Lopez-Llorca et al. 2008). Protein ve kitinden oluşan çok katmanlı bir yapıya sahip olan nematodların kutikula ve yumurta kabuklarının kimyasal olarak parçalanmasında ise funguslar tarafından üretilen kollagenaz, kitinaz ve proteazlar gibi enzimlerin görev aldığı tespit edilmiştir (Yang et al. 2007; 2013).

Nematod kapan (yakalayan) funguslar

Çeşitli şekil ve boyutlarda oluşturdukları tuzak yapıları ile nematodların hareketli dönemlerini yakalayan funguslardır. Bu grupta yer alan bir çok tür *Arthrobotrys*, *Duddingtonia* ve *Monacrosporium* cinsleri içerisinde yer almaktadır (Braga & Araújo 2014) (Çizelge 1). Konukçuya özelleşmeyen bu gruptaki funguslar basit ya da çok karmaşık [iki boyut ya da üç boyut kazanmış yapışkan hifler, yapışkan yumrular (nodüller), daralabilen ya da daralmayan halkalar vs.] tuzak yapıları oluşturabilmektedir (Moosavi & Zare 2012; Braga & Araújo 2014). Ayrıca bu funguslar avlarını ürettikleri bazı kimyasallarla [methyl 3-methyl-2- butenoate (MMB) gibi] tuzak yapılarına çekebilmektedir (Hsueh et al. 2017). Bu yolla da etkinliklerini arttırabilmektedirler.

Endoparazitik funguslar

Endoparazitik fungusların birçoğu obligat parazittir (Nordbring-Hertz et al. 2006). Bu funguslar nematodların hareketli dönemlerini sporları (konidia ya da zoospor) ile infekte edebilmektedir (Moosavi & Zare 2012). Dolayısıyla bu gruptaki funguslar genellikle hif ya da miselyum oluşturmamaktadır (Braga & Araújo, 2014). Üretilen sporlar nematodlar tarafından yutulmakta ya da kutikularına sıkıca yapışmaktadır (Nordbring-Hertz et al. 2006; Moosavi & Zare 2012). Endoparazitik funguslar *Catenaria*, *Haptocillium*, *Harposporium* ya da *Drechmeria* gibi cinsler içerisinde yer almaktadır (Lopez-Llorca et al. 2008) (Çizelge 1). Bu grup içerisinde değerlendirilen funguslar obligat parazit olmaları ve konukçularının sınırlı olması nedeniyle kullanımları ve in vitro üretimleri daha düşüktür; dolayısıyla daha sınırlı bir etki ve endüstriyel ölçekte üretimleri açısından daha maliyetli olabilmektedirler (Braga & Araújo 2014).

Toksin üreten funguslar

Toksin üreten funguslar, kütüküladan gerçekleştirecekleri hif penetrasyonu öncesi nematodları toksinle hareketsizleştirmekte ya da öldürmektedir (Lopez-Llorca et al. 2008; Okorie et al. 2011). *Ascomycota* ve *Basidiomycota*'ya ait 150 farklı cinsten yaklaşık 280 türün nematisidal aktiviteye sahip bu bileşiklerden (toksinler) 200'den fazlasını ürettiği tespit edilmiştir (Li & Zhang 2014). Bu bileşikler, alkaloidler, peptitler, terpenoidler, makrolitler, oksijen heterosiklikleri ve benzo bileşikler, kinonlar, alifatik bileşikler, basit aromatik bileşikler ve steroller dahil olmak üzere çeşitli kimyasal gruplara aittir (Li & Zhang 2014). *Alternaria*, *Aspergillus*, *Paecilomyces*, *Penicillium*, *Beauveria*, *Fusarium*, *Verticillium*, *Trichoderma* ve *Pochonia* gibi fungus cinslerine ait önemli türler bu grup içerisinde yer almaktadır (Li & Zhang 2014; Erazo Sandoval et al. 2020) (Çizelge 1).

Endofitik funguslar

Endofitler, bitki dokularında herhangi bir hastalık belirtisine neden olmadan yaşayan mikroorganizmalardır (Porras-Alfaro & Bayman 2011). Birçok bitki türünde fungal ya da bakteriyel endofit tespit edilmiştir (Zhou et al. 2016). Özellikle bazı fungal endofitler, bitki gelişimi ve verimlerinde etkili olabildikleri gibi biyotik-abiyotik etmenlere karşı bitki dayanıklılığını ya da toleransını da arttırabilmektedir (Yan et al. 2011; Zhou et al. 2016). Nematodlarla mücadelede kullanılabilen endofitik funguslar; mikorizal funguslar, neotyphodium endofitler ve fusarium endofitler olmak üzere üç başlık altında değerlendirilmektedir (Çizelge 1).

Mikorizal funguslar

Bu grupta yer alan ve bitki kökleri ile ilişkileri en iyi bilinen endofitler bitkilerin zorunlu simbiyotik parazitleri olan Arbuskular Mikorizal Fungus (AMF)'lerdir (Viaene et al. 2006; Moosavi & Zare 2012). Bu organizmalar oluşturdukları hif yapıları vasıtasıyla konukçu bitkinin toplam kök yüzey alanını arttırmakta ve böylelikle bitkinin su ve besin maddelerine erişimini kolaylaştırmaktadır. (Viaene et al. 2006; Hardoim et al. 2015). Ayrıca AMF'ler ağır metal toksisitesini azaltabilmekte ve de nematodlar dahil hastalık ve zararlılardan kaynaklı oluşacak zararları da baskılayabilmektedir (Viaene et al. 2006; Moosavi & Zare 2012; Zhou et al. 2016). Örneğin nematodların neden olduğu zararları AMF'lerin % 44-57 oranında baskılayabildiği tespit edilmiştir (Veresoglou & Rillig 2012). Özellikle hastalık ve zararlılar üzerindeki bu etkilerinin kök hücrelerinde neden oldukları fizyolojik değişiklikler ya da kök salgıları üzerindeki etkilerinden olabileceği düşünülmektedir (Viaene et al. 2006). En iyi bilinen AMF türleri ise özellikle *Glomus* ve *Rhizophagus* cinslerinde yer almaktadır (Schüßler et al. 2001; Hardoim et al. 2015) (Çizelge 1).

Neotyphodium endofitler

Neotyphodium (= *Acremonium*) türleri, genellikle soğuk mevsim çimlerinde hücreler arası boşluklarda kolonize olabilen obligat biyotroflardır (Cumagun & Moosavi 2015). Bu endofitik funguslar, konukçularının bazı bitki paraziti nematodlara karşı dirençlerini arttırabilmektedir (Hallmann & Sikora 2011). Bu etkinin ise endofitler tarafından salgılanan bazı kimyasallardan kaynaklandığı düşünülmektedir (Viaene et al. 2006). Nematodların mücadelesinde endofitler tarafından üretilen alkaloidlerin (ergot alkaloidleri vs.) rolünün farklı çim x *Neotyphodium* ilişkilerinde ise farklılık gösterebileceği belirtilmektedir (Hallmann & Sikora 2011). Ancak özellikle uygun endofit-çim birlikteliklerinin spor amacıyla kullanılan yeşil alanlarda nematod mücadelesi için kullanılabilceği bildirilmektedir (Hallmann & Sikora 2011).

Fusarium endofitler

Bitkilerde önemli zararlara neden olan ırkları ile bilinen *Fusarium oxysporium*'un doğadaki birçok ırkı patojenik olmayan saprofit özelliklere sahiptir (Hallmann & Sikora 2011). Bu patojenik olmayan *F. oxysporum* ırklarının birçoğu fungal patojenlerin, bitki paraziti nematodların ve böceklerin antagonistleri olarak tanımlanmıştır (Alabouvette & Couteaudier 1992; Hallmann & Sikora 2011; Waweru et al. 2013). Ayrıca patojenik olmayan bu ırkların *Meloidogyne incognita*, *Pratylenchus goodeyi*, *Helicotylenchus multicinctus* gibi birçok bitki paraziti nematod türüne karşı da biyokontrol potansiyeli belirlenmiştir (Martinuz et al. 2013; Waweru et al. 2013; 2014). Özellikle bitki paraziti nematod yumurtaları için son derece patojenik olan söz konusu *Fusarium* ırkları, ayrıca salgıladıkları toksik metabolitler ile de nematodlar üzerinde etkili olabilmektedir (Cumagun & Moosavi 2015). Yapılan bazı çalışmalarda ise patojenik olmayan bazı *Fusarium oxysporum* ırklarının bitki paraziti nematodlara karşı bitkilerde sistemik dayanıklılığı uyardığı da tespit edilmiştir (Vu et al. 2006).

Bitkisel/hayvansal kökenliler

Nematodlarla mücadelede kimyasallara alternatif yöntem ya da bileşenlerin içerisinde yer alan bitkisel ya da hayvansal kökenli bileşenler sadece nematodlarla mücadelede değil toprak yapısının düzenlenmesi ve de herhangi bir kalıntıya sebebiyet vermemeleri gibi farklı nedenlerden dolayı önemlidir. Bu bileşenlerin en önemlileri ile ilgili detaylı bilgiler aşağıda yer almaktadır.

Azadirachtin

Azadirachtin, Indian lilac olarak bilinen *Azadirachta indica* bitkisinden elde edilen bir kimyasaldır (Javed et al. 2008). Bu kimyasal özellikle söz konusu bitkinin meyve ve tohum kabuğundan elde edilebilmektedir (Schmutterer 1990). Böceklerde çeşitli etkilere (uzaklaştırıcı, beslenmeyi etkileyici vb.) sahip olduğu tespit edilen bu kimyasalın nematodlarda da önemli etkileri belirlenmiştir (Oka et al. 2007; Javed et al. 2008). Yapılan çalışmalarda azadirachtinin özellikle larvalarda nematostatik ya da nematisit etkilere sahip olduğu, ayrıca nematodların yumurta üretimlerinde ve kök-urulanmalarında azalmalara neden oldukları belirlenmiştir (Javed et al. 2008; Oka et al. 2007). Yapılan çalışmalarda Neem bazlı formülasyonlar ve azadirachtinin hıyarda kök-ur nematodu (Lynn et al. 2010), ve patatesten kist nematodunu önemli ölçüde baskıladıkları belirlenmiştir (Trifonova & Atansov 2011).

Karvakrol

Fenolik bir monoterpen olan karvakrol, timol ile izomerik olup, *Origanum dictamnus*, *O. vulgare*, *O. majorana*, *Thymus vulgaris* ve *T. zygis* dahil olmak üzere çeşitli aromatik bitkilerde bulunmaktadır (Liolios et al. 2010). Karvakrol, antimikrobiyal (Da Rosa et al., 2015), antioksidan (Camo et al., 2011), antiinflamatuvar (Pérez et al. 2011), antibakteriyel, antifungal (Jaberian et al. 2013), insektisit (Isman et al. 2001), ve nematisit (Oka et al. 2000) etkileri olan çok geniş etki yelpazesine sahip bir bileşen olarak bilinmektedir. Özellikle bitki paraziti nematodlarda nematostatik ya da ovisidal etkileri gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmada belirli süre ve dozda (24 saat, 488 ppm) karvakrola maruz kalan *M. incognita* J2'lerin %100 oranında paralize oldukları tespit edilmiştir (Ntalli et al. 2010). Oka et al (2000), karvakrolün *in vitro* koşullarda 125 ppm'den yüksek dozlarda *M. javanica*'nın yumurtadan çıkmasını engellediğini belirtmiştir. Yapılan çalışmalarda karvakrolün nematisit etkisi belirlenmiştir. Ancak söz konusu etkinin mekanizması henüz tespit edilememiştir.

Quillaja saponaria

Saponinler, hidrofilik yapıya sahip şeker zincirlerinin bağlı olduğu hidrofobik bir çekirdek (aglikon) içeren yüksek moleküler ağırlıklı glikozitlerdir. Aglikonun kimyasal yapısına göre iki ana saponin türü vardır: Triterpenoid saponinler (burada çekirdek bir triterpendir) ve steroid saponinler (burada çekirdek bir steroiddir). Steroid ve triterpenoid saponinlerin en yaygın endüstriyel kaynakları, sırasıyla Meksika bitkisi (*Yucca schidigera*) ve Şili ağacı (*Quillaja saponaria*)'nın özleridir (San Martin & Magunacelaya 2005). Pek çok bitki kökenli saponinin antimikrobiyal olduğu, bitkileri böcek saldırılarından koruduğu ve bitki savunma sisteminin bir parçası olarak kabul

edilebileceği bilinmektedir (Francis 2002). Ancak özellikle *Q. saponaria*'dan elde edilen triterpen saponinler, böcek ve nematodları kontrol etmek için kullanılmaktadır.

Sarımsak Ekstraktı

Sarımsak (*Allium sativum*), soğan, pırasa ve frenk soğanı gibi çeşitli amaçlarla yetiştirilen *Allium* ailesine ait sebzelerdir. Sarımsak ekstraktlarının antimikrobiyal özellikleri 19. yüzyılın başlarında araştırılmış ve bu özellikleri organosülfür bileşiği allicin'e atfedilmiştir (Gupta & Sharma 1993; Eder et al. 2021). Ayrıca sarımsağın uçucu yağının, ajoen, dialil disülfür (DADS), dialil trisülfür (DATS), alil metil trisülfür ve dialil sülfid gibi diğer organosülfür bileşikler bakımından zengin olduğu da tespit edilmiştir (Corzo-Martinez et al. 2007). Yapılan çalışmalarda da sarımsak uçucu yağının nematisidal aktivitesinden ise bahsi geçen bu sülfür bileşiklerinin sorumlu olduğu da belirtilmektedir (Gupta & Sharma 1993; Park et al. 2005).

Susam

Susam (*Sesamum indicum*) sesamin, sesamolin ve sesamol gibi nematisidal etkiye sahip bileşenler içermektedir (Radwan et al. 2009). Susam bitkisinin ve yağının bitki paraziti nematodlara karşı kullanıldığı çalışmalar bulunmaktadır ve bu çalışmalarda susam bitki ekstraktının nematodlara karşı sistemik bir aktiviteye sahip olduğu bildirmiş ve yine bazı hibrit susam ekstraktlarının endoparazitik ve ektoparazitik nematodlara karşı nemastatik ve nematotoksik etkileri belirlenmiştir (Kankam et al. 2015). Yapılan çalışmada özellikle kök ur nematodunda gal ve yumurta paketi oluşumunda azalmalar rapor edilmiştir (Kankam et al. 2015).

Kitin

Kitin ve türevleri, bitkinin savunma mekanizmasını güçlendirmek için yoğun bir şekilde tercih edilmektedir (Zargar et al. 2015). Kitin ve kitinosan ürünleri olan HYT-C ve HYT-D nematodların kontrolünde kullanılan alternatif uygulamalardandır. Bu iki ürün de kök oluşumunu ve hücre yapısını güçlendirir ve bitkileri toprak patojenleri ve nematodlara karşı uyarır. Kitin ürünü HYT-C, karideslerden ekstrakte edilen mikronize kitine dayanmaktadır (Chen & Peng 2019). Kitin, nematod yumurta kabuğunun ve pharynxinin temel bileşenidir (Zhang et al. 2005). Toprağa kitin ilavesi, kitinolitik mikroorganizmaların popülasyonunu artırmaktadır (Zargar et al. 2015). Bu mikroorganizmalar polisakkarit olan kitini, disakkarit olan kitobiyoza çevirir, yumurtaları ve kitin içeren genç nematodların kütikularını parçalar (Chen & Peng 2019).

Çizelge 1. Bitki paraziti nematodlarla mücadelede kullanılan organizmalar ve etki şekilleri (Gera Hol & Cook 2005; Tian et al. 2007; Lopez-Llorca et al. 2008; Moosavi & Zare 2012; Li et al. 2015; Abd-Elgawad & Askary 2018)

Table 1. Organisms used in the management of plant parasitic nematodes and their mode of action

Grubu	Organizma türü	Etki şekli	Etkili olduğu nematod türü	Etkili olduğu dönem	
Bakteriler	Obligat parazit bakteriler	<i>P. penetrans</i> , <i>P. nishizawae</i>	Endosporların parazitizmi	<i>Meloidogyne</i> spp.	
	Fırsatçı bakteriler	<i>B. laterosporus</i> strain G4, <i>S. quinivorans</i> BXF1	Parazitizm, enzim ve toksin üretimi	<i>H. glycines</i> , <i>B. xylophilus</i> Larva	
	Rizobakteriler	<i>B. firmus</i> , <i>B. megaterium</i> , <i>B. cereus</i> (CM-1c strain), <i>B. subtilis</i> (CM-5 strain), <i>P. fluorescens</i> , <i>P. chlororaphis</i> , <i>B. rinojensis</i> A396	PGPR, toksin ve sekonder metabolit üretmek, Sistemik direncin uyarılması, besin rekabeti	<i>Meloidogyne</i> spp., <i>Pratylenchus</i> spp., <i>Globodera</i> spp., <i>R. similis</i> , <i>A. besseyi</i> , <i>T. semipenetrans</i> ,	Yumurta, larva ve dışı
	Cry proteini üreten bakteriler	<i>B. thuringiensis</i> (Cry5-6, Cry12-14, Cry21)	Toksin üretimi	<i>C. elegans</i> , <i>T. colubriformis</i> ,	Larva
	Endofitik bakteriler	Birçok rizobakteri	Rizobakterilerle benzer etki mekanizması	<i>Meloidogyne</i> spp., <i>Pratylenchus</i> spp.	Yumurta, larva ve dışı
	Simbiyotik bakteriler	<i>Xenorhabdus</i> spp. <i>Photorhabdus</i> spp.	Toksin üretimi	<i>B. xylophilus</i> , <i>M. incognita</i>	Yumurta
	Funguslar	Yumurta ve dışı paraziti funguslar	<i>P. lilacinus</i> <i>P. chlamydosporia</i>	Apressorium Apressorium	<i>Globodera</i> spp., <i>Heterodera</i> spp., <i>Meloidogyne</i> spp. Yumurta ve dışı
		<i>Trichoderma</i> spp.	Konidia	<i>Globodera</i> spp., <i>Meloidogyne</i> spp., <i>T. semipenetrans</i> Yumurta, dışı ve 2. dönem juveniller	
Nematod kapan funguslar		<i>D. stenobrocha</i> <i>A. oligospora</i>	Sıkılaştırıcı halkalar Yapışkan ağlar	Toprakta hareketli nematodlar	Nematodların hareketli dönemleri
Endoparazitik funguslar		<i>H. rhossiliensis</i>	Yapışkan conidia	<i>Meloidogyne</i> spp., <i>Heterodera</i> spp., <i>Criconea</i> spp.	

Çizelge 1 devamı
Table 1 continued

	<i>N. concurrens</i>	Yapışkan sporlar	<i>Aphelenchus</i> spp.	
	<i>C. anguillulae</i>	Zoospor	<i>Meloidogyne</i> spp., <i>Heterodera</i> spp.	Larva ve yumurta
Toksin üreten funguslar	<i>P. ostreatus</i>	Zehirli damlacıklar	Toprakta hareketli nematodlar	Nematodların hareketli dönemleri
	<i>C. comatus</i>	Toksin, dikenli yapılar	Toprakta hareketli nematodlar	
Mikorizal funguslar	<i>Glomus</i> spp.	Arbüsküler mikorizal fungus	<i>Meloidogyne</i> spp., <i>Heterodera</i> spp., <i>Globodera</i> spp., <i>Pratylenchus</i> spp., <i>R. similis</i>	Nematodların hareketli ve sabit dönemleri
Neotyphodium endofitler	<i>Neotyphodium</i> spp.	-	<i>Meloidogyne</i> spp.	
Fusarium endofitler	<i>F. oxysporium</i>	-	<i>Meloidogyne</i> spp., <i>Pratylenchus</i> spp., <i>R. similis</i>	Yumurta, dişi ve larva

Sonuç

Bitki paraziti nematodların mücadelesinde çok sayıda mikroorganizma (bakteriler ve funguslar) ve bitkisel/hayvansal kökenli ekstraktlar kullanılmaktadır. Fakat bunlar içerisinde nematisidal etkinliğe sahip az sayıda ticari preparat biyokontrol ürünü olarak geliştirilmiş durumdadır. Bu etmenlerin etkinliklerini sınırlandıran çeşitli faktörler (toprak yapısı, uygulamada kullanılan su miktarı, sıcaklık, ekoloji, nematod türü ve popülasyonu) bulunmaktadır. Ayrıca bitki ve çevre arasındaki etkileşimlerin anlaşılması pratikte ideal biyokontrol etkinlikleri için önem arz etmektedir. Özellikle biyokontrol ajanlarının topraktaki gelişimi ve büyük ölçekli uygulamaları değişkenlik göstermektedir. Laboratuvar çalışmaları neticesinde hedef konukçuda etkili olduğu belirlenen bir biopreparatın arazi koşullarındaki performansları arasında zaman zaman farklılıklar gözlenmektedir. Belirlenen bu farklılıklara rağmen kimyasalların çevre ve insan sağlığına verdiği zarar nedeniyle BKA'lar çevre dostu özellikleriyle ön plana çıkmaktadır. Biyolojik ürünlerin in vitro da kolay yetiştirilebilme, bazı izolatların konukçu spesifik olması ve tohum uygulaması gibi uygulama yöntemlerinin çeşitli olması avantajları arasında sıralanmaktadır. Diğer yandan raf ömürlerinin ve etkinlik sürelerinin kısa olması, enfeksiyon için yüksek inokulum miktarına ihtiyaç duyulması da dezavantajları arasındadır. Ancak bu organizmalar için uygun sistemlerin geliştirilmesi (üretim, formülasyon, uygulama, vb.) ve hedef olmayan organizmalar üzerinde daha az ya da hiçbir etkiye neden olmamalarının sağlanması, BKA'ların etkili bir performans sergilemelerinde rol oynayan anahtar faktörlerdir (Jansson & Lopez-Llorca 2004). Özellikle BKA'ları içerisinde yer alan ve konukçu bitkilerde uyarılmış sistemik

dayanıklılığın (ISR-Induced Systemic Resistance) oluşumunda rol alan rizobakteriler ya da patojen olmayan *Fusarium* cinsi funguslar gibi etmenlerin entegre mücadele sistemi içerisinde daha fazla yer bulacağı tahmin edilmektedir. Bu etkiye sahip olan BKA'ların sadece bitki paraziti nematodların mücadelesinde değil diğer bitki patojeni etmenlere karşıda etkili bir şekilde kullanılabilecekleri düşünülmektedir (Jansson & Lopez-Llorca 2004). Sonuç olarak, biyonematisitler, entegre zararlı yönetimi (IPM) programlarında diğer tarımsal girdilerle sinerjik veya katkı maddesi olarak hareket edebilir ve mücadelenin etkinliğini arttırabilirler. Ancak bitki paraziti nematodlarla yapılacak bu mücadelede BKA'larının kullanımının, üreticilere verilecek detaylı eğitimlerle arttırılabileceği unutulmamalıdır. Böylelikle sürdürülebilir ve çevre dostu bir mücadele programı uygulanabilecektir.

Kaynaklar

- Abd-Elgawad M.M.M. & T.H. Askary, 2015. Impact of phytonematodes on agriculture economy. (Editor: T.H. Askary & P.R.P. Martinelli, Biocontrol Agents of Phytonematodes). CAB International, Wallingford, 3–49.
- Abd-Elgawad M.M.M. & T.H. Askary, 2018. Fungal and bacterial nematicides in integrated nematode management strategies. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 28 (1): 1-24.
- Akyazi F. & D.W. Dickson, 2014. *Pasteuria penetrans* suppression of root-knot nematode *Meloidogyne arenaria* race 1 in vegetables. *Turkish Journal of Entomology*, 38 (2): 173-180.
- Alabouvette C. & Y. Couteaudier, 1992. Biological control of *Fusarium* wilts with non-pathogenic *Fusarium*. (Editor: E.C. Tjamos, R.J. Cook & G.C. Papavizas, Biological control of plant diseases). Plenum, New York, 415–426.
- Balcı H. & E. Durmuşoğlu, 2020. Bitki koruma ürünü olarak biyopestisitler: tanımları, sınıflandırılmaları, mevzuat ve pazarları üzerine bir değerlendirme. *Türkiye Biyolojik Mücadele Dergisi*, 11(2): 252-265.
- Berg G. & J. Hallmann, 2006. Control of plant pathogenic fungi with bacterial endophytes. (Editor: T.N. Sieber, C.J.C. Boyle & B.J.E. Schulz, Microbial root endophytes). Springer, Berlin, Heidelberg, 53-69.
- Braga F.R. & J.V. Araújo, 2014. Nematophagous fungi for biological control of gastrointestinal nematodes in domestic animals. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 98: 71-82.
- Camo J., A. Lorés, D. Djenane, J.A. Beltrán & P. Roncalés, 2011. Display life of beef packaged with an antioxidant active film as a function of the concentration of oregano extract. *Meat Science*, 88 (1): 174–178.
- Chen Z.X. & D. Dickson, 1998. Review of *Pasteuria penetrans*: Biology, ecology, and biological control potential. *Journal of Nematology*, 30 (3): 313.
- Chen Q. & D. Peng, 2019. Nematode chitin and application. *Targeting Chitin-containing Organisms*, 209-219.
- Corzo-Martinez M., N. Corzo & M. Villamiel, 2007. Biological properties of onions and garlic. *Trends in Food Science & Technology*, 18 (12): 609–625.
- Cumagun C.J.R., & M.R. Moosavi, 2015. Significance of Biocontrol Agents of Phytonematodes. (Editor: T.H. Askary & P.R.P. Martinelli, Biocontrol Agents of Phytonematodes). CAB International, Wallingford, 50–78.
- Da Rosa, C. G., M.V. De Oliveira Brisola Maciel, S.M. De Carvalho, A.P.Z. De Melo, B. Jummes, T. Da Silva, S.M. Martelli, M.A. Villetti, F.C. Bertoldi & P.L.M. Barreto, 2015. Characterization and evaluation of physicochemical and antimicrobial properties of zein nanoparticles loaded with phenolics monoterpenes. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 481: 337–344.

- Eder R., E. Consoli, J. Krauss & P. Dahlin, 2021. Polysulfides applied as formulated garlic extract to protect tomato plants against the root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. *Plants*, 10: 394.
- Engelbrecht, G., I. Horak, P.J. Jansen van Rensburg & S. Claassens 2018. Bacillus-based bionematicides: development, modes of action and commercialisation. *Biocontrol Science and Technology*, 28 (7): 629-653.
- EPA (Environmental Protection Agency) 2013. Regulating biopesticides. URL: www.epa.gov/opp00001/biopesticides (Erişim tarihi: Nisan, 2021).
- Erazo Sandoval N.S., M.M. Echeverría Guadalupe, J.L. Jave Nakayo, H.A. León Reyes, V.A. Lindao Córdoba, J.C. Manzano Ocaña & N.M. Inca Chunata, 2020. Effect of *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) and *Trichoderma harzianum* (Rifai) on *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White) in tomato (*Solanum lycopersicum* Mill.). *Acta Scientiarum Biological Sciences*, 42(1): e47522.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) 2017. Sustainable management of the fall armyworm in Africa. FAO program for action. Food and agriculture organisation of the united nations. URL: <http://www.fao.org/3/a-bt417e.pdf> (Erişim tarihi: Nisan, 2021).
- Francis G. 2002. The biological action of saponins in animal systems: a review. *The British Journal of Nutrition*, 88: 587-605.
- Gera Hol W.H., & R. Cook, 2005. An overview of arbuscular mycorrhizal fungi-nematode interactions. *Basic and Applied Ecology*, 6: 489-503.
- Gupta R. & K. Sharma, 1993. A study of the nematicidal activity of allicin-an active principal in garlic, *Allium sativum* L., against root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White, 1919) Chitwood, 1949. *International Journal of Pest Management*, 39: 390-392.
- Hallmann J., & R.A. Sikora, 2011. Endophytic fungi. (Editor: K.G. Davies & Y. Spiegel, Biological Control of Plant-Parasitic Nematodes: Building Coherence between Microbial Ecology and Molecular Mechanisms Progress in Biological Control). 11. Dordrecht, the Netherlands, 227-258.
- Hardoin P.R., L.S. van Overbeek, G. Berg, A.M. Pirttilä, S. Compant, A. Campisano, M. Döring & A. Sessitsch, 2015. The hidden world within plants: ecological and evolutionary considerations for defining functioning of microbial endophytes. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 79: 293-320.
- Hsueh Y.P., M.R. Gronquist, E.M. Schwarz, R.D. Nath, C.H. Lee, S. Gharib, F.C. Schroeder, & P.W. Sternberg, 2017. Nematophagous fungus *Arthrobotrys oligospora* mimics olfactory cues of sex and food to lure its nematode prey. *eLife* 6, e20023.
- Isman M.B., A.J. Wan & C.M. Passreiter, 2001. Insecticidal activity of essential oils to the tobacco cutworm, *Spodoptera litura*. *Fitoterapia*, 72 (1): 65-68.
- Jaberian H., K. Piri & J. Nazari, 2013. Phytochemical composition and in vitro antimicrobial and antioxidant activities of some medicinal plants. *Food Chemistry*, 136 (1): 237-244.
- Jansson H.B. & L.V. Lopez-Llorca, 2004. Control of nematodes by Fungi. (Editor: M. Dekker, Fungal Biotechnology in Agricultural, Food, and Environmental Applications). CRC Press, Boca Raton FL, USA, 205-215.
- Javed N., S.R. Gowen, S.A., El-Hassana, M. Inam-ul Haqa, F. Shahinab & B. Pembroke, 2008. Efficacy of neem (*Azadirachta indica*) formulations on biology of root-knot nematodes (*Meloidogyne javanica*) on tomato. *Crop Protection*, 27:36-43.
- Jensen J.P., U. Kalwa, S. Pandey & G.L. Tylka, 2018. Avicta and clariva affect the biology of the soybean cyst nematode, *Heterodera glycines*. *Plant Disease*, 102 (12): 2480-2486.
- Kankam F., E.N.K. Sowley & A. Mohammed, 2015. Management of root-knot nematode (*Meloidogyne* spp.) on okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) with aqueous sesame seed extract. *International Journal of Agricultural Research*, 6 (4): 24-31.
- Katı T. & S. Mennan, 2006. Kök-ur nematodları (*Meloidogyne* spp.) ile biyolojik mücadele. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 21(2): 265-274.

- Kaya H.K., M.M. Aguilera, A. Alumai, H.Y. Choo, M. De la Torre, A. Fodor & R.U. Ehlers, 2006. Status of entomopathogenic nematodes and their symbiotic bacteria from selected countries or regions of the world. *Biological control*, 38 (1): 134-155.
- Kumar S. & A. Singh, 2015. Biopesticides: present status and the future prospects. *Journal of Fertilizers & Pesticides*, 6(2): 100-129.
- Lamovšek J., G. Urek, & S. Trdan, 2013. Biological control of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.): microbes against the pests. *Acta Agriculturae Slovenica*, 101 (2): 263-275.
- Li G., & K.-Q. Zhang, 2014. Nematode-toxic fungi and their nematocidal metabolites. (Editor: K.-Q. Zhang & K.D. Hyde, Nematode-Trapping Fungi). Springer, Dordrecht, The Netherlands, 313–375.
- Li J., C. Zou, J. Xu, X. Ji, X. Niu, J. Yang, X. Huang & K.Q. Zhang, 2015. Molecular mechanisms of nematode-nematophagous microbe interactions, basis for biological control of plant-parasitic nematodes. *Annual Review of Phytopathology*, 53: 67-95.
- Liolios C.C., K. Graikou, E. Skaltsa & I. Chinou, 2010. Dittany of Crete: a botanical and ethnopharmacological review. *Journal of Ethnopharmacology*, 131 (2): 229–241.
- Lopez-Llorca L., J. Macia-Vicente & H.B. Jansson, 2008. Mode of action and interactions of nematophagous fungi. (Editor: A. Ciancio, & K.G. Mukherjee, Integrated Management and Biocontrol of Vegetable and Grain Crops Nematodes). Springer, Dordrecht, Netherlands, 51–76.
- Lynn O.M., W. Song, J. Shim, J. Kim & K. Lee, 2010. Effects of azadirachtin and neem-based formulations for the control of sweet potato whitefly and root-knot nematode. *Journal of Korean Society Applied Biological Chemistry*, 53: 598-604.
- Marrone P.G. 2014. The market and potential for biopesticides. American Chemical Society, (In Biopesticides: state of the art and future opportunities), California, 245-258.
- Martinuz A., A. Schouten & R.A. Sikora, 2013. Post-infection development of *Meloidogyne incognita* on tomato treated with the endophytes *Fusarium oxysporum* strain Fo162 and *Rhizobium etli* strain G12. *BioControl*, 58: 95–104.
- Moosavi M.R. & R. Zare, 2012. Fungi as biological control agents of plant-parasitic nematodes. (Editor: J.M. Merillon & K.G. Ramawat, Plant Defence: Biological Control, Progress in Biological Control). Springer, Dordrecht, Netherlands, 67–107.
- MRR (Market Research Report) 2020. Biopesticides Market Size, Share & COVID-19 Impact Analysis, By Type (Bioinsecticide, Biofungicide, Bionematicide, and Others), Source (Microbials and Biochemicals), Mode of Application (Foliar Application, Seed Treatment, Soil Treatment, and Others), Crop (Cereals, Oilseeds, Fruits & Vegetables, and Others), and Regional Forecast, 2020-2027. URL: <https://www.fortunebusinessinsights.com/> (Erişim tarihi: Mayıs, 2021).
- Nascimento F.X., M. Espada, P. Barbosa, M.J. Rossi, C.S. Vicente & M. Mota, 2016. Non-specific transient mutualism between the plant parasitic nematode, *Bursaphelenchus xylophilus*, and the opportunistic bacterium *Serratia quinivorans* BXF1, a plant-growth promoting pine endophyte with antagonistic effects. *Environmental Microbiology*, 18 (12): 5265-5276.
- Ndolo D., E. Njugunaa, C.O. Adetunjib, C. Harboc, A. Rowea, A. Den Breyend, J. Sangeethae, G. Singhf, B. Szewczyk, T.S. Anjorinh, D. Thangaduraii & R. Hospeti, 2019. Research and development of biopesticides: challenges and prospects. *Outlooks on Pest Management*, 30 (6): 267-276.
- Nordbring-Hertz B., H.B. Jansson & A. Tunlid, 2006. Nematophagous Fungi. (Encyclopedia of life sciences). John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, 1-11.
- Ntalli N.G., F. Ferrari, L. Giannakou & U. Menkissoglu-Spiroudi, 2010. Phytochemistry and nematocidal activity of the essential oils from 8 greek lamiaceae aromatic plants and 13 terpene components. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(13): 7856–7863.

- Oka Y., S. Nacar, E. Putievsky, U. Ravid, Z. Yaniv & Y. Spiegel, 2000. Nematicidal activity of essential oils and their components against the root-knot nematode. *Phytopathology*, 90(7), 710–715.
- Oka Y., N. Tkachi, S. Shuker & U. Yerumiyahu, 2007. Enhanced nematicidal activity organic and inorganic ammonia releasing amendments by *Azadirachta indica* extracts. *Journal of Nematology*, 39(1): 9-16.
- Okorie C.C., C.C. Ononuju & I.A. Okwujiako, 2011. Management of *Meloidogyne incognita* with *Pleurotus ostreatus* and *P. tuberregium* in soybean. *International Journal of Agriculture and Biology*, 13(3): 401-405.
- Park I.K., J.Y. Park, K.H. Kim, K.S. Choi, I.H. Choi, C.S. Kim & S.C. Shin, 2005. Nematicidal activity of plant essential oils and components from garlic (*Allium sativum*) and cinnamon (*Cinnamomum verum*) oils against the pine wood nematode (*Bursaphelenchus xylophilus*). *Nematology*, 7 (5): 767–774.
- Pérez, S.G., M.S. Zavala, L.G. Arias & M.L. Ramos, 2011. Anti-inflammatory activity of some essential oils. *Journal of Essential Oil Research*, 23 (5), 38–44.
- Porras-Alfaro A. & P. Bayman, 2011. Hidden fungi, emergent properties: endophytes and microbiomes. *Annual Review of Phytopathology*, 49: 291–315.
- Radwan M.A., E.K. El-Maadawy, S.I. Kassem & M.M. Abu-Elamayem, 2009. Oil cakes soil amendment effects on *Meloidogyne incognita*, root-knot nematode infecting tomato. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 42 (1): 58-64.
- San Martin R. & J. Magunacelaya, 2005. Control of plant-parasitic nematodes with extracts of *Quillaja saponaria*. *Nematology*, 7: 577-585.
- Sayre R.M. & M.P. Starr, 1985. *Pasteuria penetrans* (ex Thorne 1940) non. rev. comb. n. sp. n. a mycelial and endospore forming bacterium parasite in plant parasitic nematodes. *ProcHeminth Society Washington* 52: 149–165.
- Schmutterer H. 1990. Properties and potential of natural pesticides from neem tree *Azadirachta indica*. *Annual Review of Entomology*, 35: 271-297.
- Schüßler A., D. Schwarzott & C. Walker, 2001. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycological Research*, 105: 1413–1421.
- Siddiqui Z.A. & I. Mahmood, 1999. Role of bacteria in the management of plant parasitic nematodes: a review. *Bioresource technology*, 69(2): 167-179.
- Siddiqui, I.A. & S.S. Shaikat, 2003. Endophytic bacteria: prospects and opportunities for the biological control of plant-parasitic nematodes. *Nematologia Mediterranea*, 31 (11): 111-120.
- Stirling G.R. 2014. Biological control of plant-parasitic nematodes: soil ecosystem management in sustainable agriculture. CABI, 536 p.
- Subedi P., K. Gattoni, W. Liu, K.S. Lawrence & S.W. Park, 2020. Current utility of plant growth-promoting rhizobacteria as biological control agents towards plant-parasitic nematodes. *Plants*, 9, 1167.
- Sülü S.M., İ.A. Bozkurt & S. Soylu, 2016. Bitki büyüme düzenleyici ve biyolojik mücadele etmeni olarak bakteriyel endofitler. *Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 21 (1): 103-111.
- Thakore Y. 2006. The biopesticide market for global agricultural use. *Industrial Biotechnology*, 2 (3): 194-208.
- Tian B., J. Yang & K.Q. Zhang, 2007. Bacteria used in the biological control of plant-parasitic nematodes: populations, mechanisms of action, and future prospects. *FEMS Microbiology Ecology*, 61(2): 197-213.
- Trifonova Z. & A. Atansov, 2011. Control of potato cyst nematode *Globodera rostochiensis* with some plant extracts and neem products. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 17: 623-627.

- Uysal G. & F.G. Göze Özdemir, 2020. Bitki Paraziti Nematodların Biyolojik Mücadelesinde Bakteriler. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 13: 53-72.
- Veresoglou S.D. & M.C. Rillig, 2012. Suppression of fungal and nematode plant pathogens through arbuscular mycorrhizal fungi. *Biology Letters*, 8: 214–217.
- Viaene N., D.L. Coyne & B.R. Kerry, 2006. Biological and cultural management. (Editör: R.N. Perry & M. Moens, Plant nematology). CABI, Wallingford, 346-369.
- Villaverde J.J., P. Sandin-España, B. Sevilla-Morán, C. López-Goti & J.L. Alonso-Prados, 2016. Biopesticides from natural products: current development, legislative framework, and future trends. *BioResources*, 11 (2): 5618-5640.
- Vu T., R. Hauschild & R.A. Sikora, 2006. *Fusarium oxysporum* endophytes induced systemic resistance against *Radopholus similis* on banana. *Nematology*, 8(6): 847-852.
- Waweru B., L. Turoop, E. Kahangi, T. Dubois & D. Coyne, 2013. Potential biological control of lesion nematodes on banana using Kenyan strains of endophytic *Fusarium oxysporum*. *Nematology*, 15:101–107.
- Waweru B., L. Turoop, E. Kahangi, D. Coyne & T. Dubois 2014. Non-pathogenic *Fusarium oxysporum* endophytes provide field control of nematodes, improving yield of banana (*Musa* sp.). *Biological Control*, 74: 82–88.
- Weibelzahl-Fulton E., D.W. Dickson & E.B. Whitty, 1996. Suppression of *Meloidogyne incognita* and *Meloidogyne javanica* by *Pasteuria penetrans* in field soil. *Journal of Nematology*, 28 (1): 43-49
- Wei J.Z., K. Hale, L. Carta, E. Platzer, C. Wong, S.C. Fang & R.V. Aroian, 2003. *Bacillus thuringiensis* crystal proteins that target nematodes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100 (5): 2760-2765.
- Yan X., R.A. Sikora & J. Zheng, 2011. Potential use of cucumber (*Cucumis sativus* L.) endophytic fungi as seed treatment agents against root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. *Journal of Zhejiang University Science B*, 12: 219–225.
- Yang J., B. Tian, L. Liang & K.Q. Zhang, 2007. Extracellular enzymes and the pathogenesis of nematophagous fungi. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 75: 21–31.
- Yang J., L. Liang, J. Li & K.Q. Zhang, 2013. Nematicidal enzymes from microorganisms and their applications. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97: 7081-7095.
- Zargar V., M. Asghari, & A. Dashti. 2015. A review on chitin and chitosan polymers: structure, chemistry, solubility, derivatives, and applications. *ChemBioEng Reviews*, 2 (3): 204–226.
- Zhang, Y., J.M. Foster, L.S. Nelson, D. Ma & C.K. Carlow, 2005. The chitin synthase genes *chs-1* and *chs-2* are essential for *C. elegans* development and responsible for chitin deposition in the eggshell and pharynx, respectively. *Developmental Biology*, 285 (2), 330-339.
- Zhou W., J.L. Starr, J.L. Krumm & G.A. Sword, 2016. The fungal endophyte *Chaetomium globosum* negatively affects both above and belowground herbivores in cotton. *FEMS Microbiology Ecology*, 92 (10): 158.