

## BİTKİ PARAZİTİ NEMATODLARIN MÜCADELESİNDE BAKTERİLER

Gülsüm Uysal<sup>1,a,\*</sup>, Fatma Gül Göze Özdemir<sup>2,b</sup>



<sup>1</sup>Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Antalya, Turkey

<sup>2</sup>Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Isparta, Turkey

\*Corresponding Author:

E-mail: gulsumuysal.gu@gmail.com

(Geliş 22 Mart 2020; kabul 13 Haziran 2020)

a:  <https://orcid.org/0000-0003-1722-2518>, b:  <https://orcid.org/0000-0003-1969-4041>

**ÖZET.** Bitki paraziti nematodlarının önemli doğal düşmanları olarak nitelendirilen bakteriler farklı mekanizmalar ile nematodları baskılayabilmektedirler. Bu bakteriler salgıladıkları toksinler, antibiyotikler veya enzimler yoluyla nematodlarda paraziteye neden olabilirler, besinler için nematodlarla rekabet etmeleri ve bitkilerin sistemik direncinin uyarılmasını teşvik etmeleriyle de bitki sağlığının korunmasında önemli rol oynayabilmektedirler. Bu derlemede bitki paraziti nematodların biyolojik mücadelesinde kullanılacak obligat parazit *Pasteuria penetrans*, rizobakteriler (*Bacillus firmus*, *B. megaterium* ve *Pseudomonas* spp.), Cry proteini oluşturan bakteri *B. thuringiensis*, endofitik bakteriler ve bazı fırsatçı bakteriler ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** bakteri, bitki paraziti nematod, biyolojik mücadele

## BACTERIA IN THE MANAGEMENT OF PLANT PARASITIC NEMATODES

**ABSTRACT.** Bacteria suppress nematodes by different mechanisms characterized which were important natural enemies of plant parasitic nematodes. These bacteria can cause parasites in nematodes through their toxins, antibiotics or enzymes, and they can play an important role in maintaining plant health by competing with nematodes for food and promoting the stimulation of the systemic resistance of plants. In this review, *Pasteuria penetrans*, rhizobacteria (*Bacillus firmus*, *B. thuringiensis*, *B. megaterium* and *Pseudomonas* spp.), Cry protein forming bacterium *B. thuringiensis*, endophytic bacteria and some opportunistic bacteria that can be used in biological control of plant parasitic nematodes are described in detail.

**Keywords:** bacterium, plant parasitic nematode, biological control

## GİRİŞ

Bitki paraziti nematodlar en önemli tarımsal zararlılar arasında yer almaktadır [1]. Dünyada bitki paraziti nematodlardan kaynaklı yıllık ürün kaybı tropikal ve subtropikal bölgelere bağlı olarak 125 ile 173 milyar dolar arasında değişmektedir [1, 2, 3]. Kimyasal nematosisitlerin uygulanması kolay ve etkilerinin hızlı görülmesine rağmen, insan ve çevre sağlığı endişeleri nedeniyle birçok ülkede yasaklanmış durumdadırlar. Bu nedenle biyolojik mücadele, son yıllarda üzerinde yoğun olarak çalışılan alternatif yöntemlerin başında gelmektedir [4]. Günümüzde çok sayıda mikroorganizma bitki paraziti nematodların antagonistleri olarak bilinmektedir [5]. "Antagonist" terimi, parazit ve predatör gibi doğal düşmanları ve antibiyotik, hücre dışı enzimleri üreten veya bitkilerde

sistemik direnci teşvik eden organizmaları kapsamak için de kullanılır [5]. Nematodların biyolojik kontrolünde predatör fungus, endoparazitik funguslar, endomikorizal ve mutualistik funguslar ve bitki gelişimini teşvik eden rizobakteriler (PGPR) antagonist olarak nitelendirilebilir [6]. *Pasteuria penetrans*, *Pseudomonas* spp., *Bacillus* spp., *Paecilomyces lilacinus*, *Arthrobotrys oligospora* ve *Burkholderia cepacia* ise nematodların biyolojik kontrolü için potansiyel organizmalardır [7,8].

Kökün hemen etrafındaki toprak rizosferi genellikle toprağa kıyasla daha fazla mikroorganizma içermektedir. Toprak rizosferinde en bol mikroorganizma bakterisi olup bunların varlığı rizosfer ortamını, doğrudan veya dolaylı olarak nematodu ve konukçu-parazit ilişkilerini etkileyebilmektedir [9]. Bitki paraziti nematodlara karşı başlıca antagonistik bakteriler; rizobakteriler, endofitik bakteri ve entomopatojenik nematodların bakterisi simbiyontlarıdır ve *Pasteuria*, *Pseudomonas* ve *Bacillus* cinsi bakteriler nematodların biyolojik kontrolü açısından büyük potansiyele sahiptirler [7]. Bu bakteriler nematodları toksin, antibiyotik veya enzim yoluyla doğrudan etkileyebildiği gibi, nematod-konukçu sinyalizasyonuna müdahale edebilir, besinler için rekabet gösterebilir ve bitkilerin sistemik direncini uyarabilirler [10]. *Bacillus*, *Agrobacterium*, *Azotobacter*, *Pseudomonas* ve *Clostridium* türleri gibi birçok bakteri, nematodları öldüren toksinler üretmektedir [11]. Bu bakteri türlerinin toprak uygulaması, tohum muamelesi ve fide daldırma muameleleri gibi farklı uygulamaları olup, ıslanabilir toz (WP), tohuma uygulanan akıcı stabil süspansiyon formülasyonu (FS) ve tohuma uygulanan solüsyon (LS) gibi farklı ticari formülasyonlara sahiptir. Tohumlara bakteri uygulaması yapılmasının patates ve şeker pancarında köklerde nematod penetrasyonunu azalttığı belirlenmiştir [12, 13]. Bakteri ürünleri tarımda dünya pazarının %74'ünü elinde tutmaktadır [14]. Birçok pazarlanabilir biyo-gübre içeriğinde bitki gelişimini destekleyen rizobakteriler bulundurulur ve bunların bitki gelişimi ve verim üzerinde artış sağladığı bilinmektedir [15]. Tek başına veya nematodlarla kombinasyon halinde biyolojik kontrol maddelerinin kullanımı kök-ur nematodlarını kontrol etmek için etkili bir uygulamadır. Tian vd. [16] nematodların gelişimlerini ve üremelerini olumsuz yönde etkileyen bakterileri nematofagus bakteriler olarak tanımlamış ve 6 gruba ayırmıştır. Bunlar; obligat parazit bakteriler, fırsatçı parazit bakteriler, rizobakteriler, Cry proteinini oluşturan bakteriler, endofitik bakteriler ve simbiyotik bakteriler içermektedir. Rizobakteriler ve endofitik bakteriler farklı ekolojik nişlerde yaşamalarına rağmen, patojenlerin kontrolünde ve bitki gelişimini teşvik etmede benzer mekanizmaları kullanmaktadırlar [17, 18].

Bu derlemede bitki paraziti nematodların biyolojik mücadelesinde önemli yer tutan bakteriler ve mekanizmalarının aydınlatılması amaçlanmıştır. Bu bakteriler obligat parazit bakteri *Pasteuria* spp. (*P. penetrans*, *P. thornei*, *P. nishizawae*) rizobakteriler (*Bacillus firmus*, *B. megaterium* ve *Pseudomonas* spp), Cry proteinini oluşturan bakteri *B. thuringiensis*, endofitik bakteriler ve fırsatçı parazit bakteriler başlıkları altında incelenmiştir.

### ***Obligat parazit bakteri; Pasteuria spp.***

*Pasteuria* türleri, gram-pozitif, ikili olarak dallanmış, bölmeli miselyumu olan endospor oluşturan bakterilerdir [19]. Endosporlar sıcak ve kuraklık gibi çevresel streslere karşı dayanıklılık göstermekte ve dolayısıyla potansiyel olarak yararlı bir biyo kontrol ajanıdır [20, 21, 22]. *Pasteuria* ürünlerde önemli zarar yapan nematodları enfekte etmekte ve konukçusunun çoğalmasını engellemektedir [21]. Dünya genelinde en az 51 ülkede 116'dan fazla nematod cinsinde bildirilmiştir [1, 23].

*Pasteuria penetrans* (Thorne, 1940) Sayre & Starr 1985, *Meloidogyne* spp.'yi enfekte ederken, *Pasteuria thornei* *Pratylenchus* spp. ve *Pasteuria nishizawae* de *Heterodera* ve *Globodera* cinslerini enfekte etmektedir [24, 25]. Ayrıca *P. usage*'nin *Belonolaimus longicaudatus*'u parazitlediği belirlenirken, *P. aldrichii*'nin bakterivor nematod cinsi *Bursilla* spp.'yi parazitlediği bildirilmiştir [26]. Arazi, mikroplot ve sera çalışmalarında *Pasteuria penetrans* 'in çok sayıda üründe bitki paraziti nematodların kontrolünde etkili olduğu bildirilmiştir (**Tablo 1**) [27]. *Pasteuria penetrans* 'ın ikinci dönem larvaların (L2) penetrasyonunu, dişi sayısını, dişinin üreme gücünü, dişinin bıraktığı yumurta sayısını, topraktaki L2 sayısını azalttığı bildirilmektedir [28, 29]. Ayrıca L2'nin konukçusunun köklerini bulma becerilerini de olumsuz anlamda etkilediği belirlenmiştir [28].

**Tablo 1.** Bakteriyel biyokontrol ajanı *Pasteuria penetrans* ve bitki paraziti nematodlar ile ilgili yapılmış çalışmalar

Bakteri	Nematod türü	Ürün	Kaynaklar
<i>Pasteuria penetrans</i>	<i>M. javanica</i>	Domates	[30]
		Üzüm	[31]
		Patlıcan	[32]
		Bamya	[33]
		Nohut	[33, 34]
<i>M. incognita</i>	<i>M. incognita</i>	Domates	[35, 36, 37, 38, 39, 40, 41]
		Hıyar	[41]
		Kivi	[42]
<i>M. arenaria</i>	<i>M. arenaria</i>	Aslanağzı	[41]
		Domates	[43]
		Karpuz	[43]
		Fıstık	[44, 45]
		Kivi	[42]
<i>M. hapla</i>	<i>M. hapla</i>	Kivi	[42]
<i>M. graminicola</i>	<i>M. graminicola</i>	Pirinç	[46]
<i>Heterodera cajani</i>	<i>Heterodera cajani</i>	Börülce	[47,48]
<i>Xiphinema diversicaudatum</i>	<i>Xiphinema diversicaudatum</i>	Şeftali	[49]
<i>Pratylenchus penetrans</i>	<i>Pratylenchus penetrans</i>	Domates	[50]

*Pasteuria penetrans* kök-ur nematodu *Meloidogyne* spp.'yi enfekte ettiği ve *P. penetrans*'ın düşük spor yoğunluklarında bile nematod popülasyonları üzerinde kısa süreli etki gösterdiği gözlemlenmiştir [51]. *Pasteuria* sporları, L2 kütikularına yapışır ve L2 köklere girdikten sonra beslenmeye başlamasıyla birlikte 4-10 gün sonra kütikulaya yapışan endosporlar çimlenir [52]. Çimlenme tüpü endospor tabanından merkezi bir açıklıktan çıktıktan sonra nematod vücut duvarına penetre olmaktadır. Nematod pseudocoelomuna girdikten sonra çimlenme tüpü gelişir ve karnibahar benzeri vejetatif mikrokoloniler oluşturur [19]. Vejetatif mikrokoloniler daha sonra gelişmekte olan dişi bedeninde çoğalırlar. Koloni fragmanları ve her fragmanın uç hücreleri genişler ve sporogeneze girerler. Gelişmekte olan sporangialı çiftler ve dörtlüleri nematod vücut boşluğunda egemenleşir ve nihayetinde tek bir sporangiye ayrılır ve her biri bir endosporu

oluşturur [53]. Olgun endosporlar, parazitlenmiş kök-ur nematodu dişilerinin bağlı olduğu bitki kökü ayrıştığında toprağa salınırlar [23].

*P. penetrans*'ın büyük ölçekli kitle üretimi için etkin bir teknolojinin olmaması bu organizmanın biyolojik kontrol ajanı olarak pazarlanmasında önemli bir engeldir. Kitle üretim işleminin gerçekleştirilebilmesi için öncelikle *P. penetrans*'ın besin maddesi gereksinimlerini tam olarak anlamak önem arz etmektedir. Bu yüzden nematodların pseudocoelom sıvısının kimyasal bileşiminin tanımlanmış olması gerekmektedir. Ancak büyük hayvan paraziti nematodların sadece pseudocoelomik sıvısı kısmen karakterize edilmiştir ve bu nematodları parazitleyen *Pasteuria* veya *Pasteuria* benzeri bir organizmanın raporları bulunmamaktadır. *Pasteuria* spp. üretebilmek için tasarlanacak ortam bitki-paraziti nematodların pseudocoelomik akışkanının kimyasal bileşimi ve fiziksel oluşumu anlaşıldıktan sonra açığa çıkartılabilir [23]. Ancak 2004'te piyasaya sürülen *Pasteuria* 'nın uzun ölçekli fermantasyon sürecinden sonra tohum uygulaması olan Clariva® pn (*Pasteuria nishizawae* Pn1), soyafasülyesi kist nematodunun, *Heterodera glycines* (SCN), mücadelesinde kullanılmaya başlanmıştır. Jensen vd. [54] bu ticari ürünün *H. glycines* 'in yumurtadan çıkışı, larva hareketi, bitkiye girişi, gelişimi ve üremesine olan etkisini kontrollü koşullarda araştırmış, Clariva'nın toprağın 3-5cm altında larva hareketini ve penetrasyonu durdurduğunu ve genç bitki köklerindeki gelişen nematodlara olumsuz etkisi belirlenmiştir. Ayrıca bu çalışmada 10-20 günlük bitkilerde etki gözlemlenirken daha yaşlı 30-60 günlük bitkilerde etki belirlenememiştir. Bu sonuçlar erken sezon koruma mekanizmasının detaylarını göstermiştir. de Souza Confort ve Inomoto [55] soya fasulyesinde *Pratylenchus brachyurus* kontrolünde *Pasteuria thornei* endosporlarını ( $5 \times 10^6$ ,  $10^7$ ,  $1.5 \times 10^7$ ) tohumlara uygulamışlar ve yalnız abamectin ve kombine uygulamalar ile etkisini karşılaştırmışlardır ancak uygulamadan 90 gün sonra yapılan değerlendirmede abamectin ile *P. thornei* arasında sinerjistik bir etki görülmemiştir. Ayrıca sadece en yüksek *P. thornei* endospor konsantrasyonu ( $1.5 \times 10^7$ ) nematod popülasyonunu uygulama yapılmayan tohumlarla kıyaslandığında %25-50 oranında azaltmıştır. *Pasteuria* türlerinin biyokontrol ajanı olarak etkinliği ve parazitleme tercihinde, mevcut olan nematodun türü, patojenitesi ve ırkı ya da biyotipi önemli etkenlerdir [21].

### **Rizobakteriler**

Rizobakteri, minerallerin, hormonların ve diğer bileşiklerin çözündürülmesi gibi farklı mekanizmalar yoluyla bitki gelişimini desteklemektedir [56]. Bitki büyümesini hızlandıran PGPR (bitki gelişimini destekleyen rizobakteriler) olarak da adlandırılan bu rizobakteriler nematodlar için biyolojik kontrolde önemli potansiyele sahiptir [57, 58]. Çoğu rizobakteri toksin üretmek suretiyle bitki-paraziti nematodlara karşı etki eder. Bu toksinlerin etkileri arasında, nematod çoğalmasının baskılanması, yumurtadan çıkışın engellenmesi ve nematodların direkt öldürülmesi bulunmaktadır [10].

Aerobik endospor oluşturan bakteriler olan *Bacillus* ve *Pseudomonas* türleri rizosferdeki nematodları antagonize edebilen baskın popülasyonlar arasındadır [59]. Nematodlara karşı antagonistik etkiler gösterdiği bildirilen diğer rizobakteriler *Actinomyces*, *Agrobacterium*, *Arthrobacter*, *Alcaligenes*, *Aureobacterium*, *Azotobacter*, *Beijerinckia*, *Burkholderia*, *Chromobacterium*, *Clavibacter*, *Clostridium*, *Comamonas*, *Corynebacterium*, *Curtobacterium*, *Desulforibitio*, *Enterobacter*, *Flavobacterium*, *Gluconobacter*, *Hydrogenophaga*, *Klebsiella*, *Methylobacterium*, *Phyllobacterium*, *Phingobacterium*, *Rhizobium*, *Serratia*, *Stenotrophomonas* ve *Variovorax* cinslerinin üyeleridir [60, 7].

*Bacillus* cinsine ait preparatlar çeşitli zararlılara ve patojenlere karşı sistemik direnci uyarmak için kullanılmaktadır [61]. Bazı *Bacillus* türlerinin patojen aktivitesini belirleyen sekonder metabolitlerin lipopeptit, surfactins, bacillomycin D ve fengycins olduğu saptanmıştır [62]. El-Sherif vd. [63] *M. incognita* yumurta paketlerinden ve *Heterodera zae* kistlerinden *Bacillus* sp., *Corynebacterium* sp., *Serratia* sp., *Arthrobacterium* sp. ve *Streptomyces* sp. bakterilerini izole etmişlerdir. Sikora [64] *Bacillus subtilis*'in pamuk ve şeker pancarında *M. incognita*, yer fıstığında *M. arenaria* ve pamukta *Rotylenchulus reniformis* üzerinde kontrol sağladığını tespit etmiştir. *Bacillus cereus* S18 suşu, domates bitkisinde *M. incognita* popülasyonunu azaltmıştır [65]. *Bacillus cereus* S2 suşu'nun sfingozin ürettiği ve *M. incognita*'ya karşı yüksek nematisidal aktivite gösterdiği bildirilmiştir [66]. İn vitroda *Paenibacillus polymyxa* (*Bacillus polymyxa*) GBR-1 kültür filtratının çeşitli konsantrasyonları (%5-100) *M. incognita*'nın yumurtadan çıkışını azaltmış ve önemli oranda L2 ölümüne neden olmuştur. *Paenibacillus polymyxa* kültür filtratına maruz kalma sürelerinin ve konsantrasyonlarının artması ölüm oranını arttırmıştır [67].

### *Bacillus firmus*

*Bacillus firmus*, (Bacillales; Bacillaceae), aerobik, olumsuz koşullar altında endospor üretebilen gram-pozitif bir bakteri türüdür [68]. *Bacillus firmus* biyoteknolojik çalışmalarda potansiyel olarak kullanılan çeşitli suşlara sahiptir [68]. Bu suşlar tarımsal endüstriyel atıklardan enzim üretimi, ağır metallerin detoksifikasyonu, atık su deşarjında tekstil boya renk değişikliği ve diğerleri arasında mikrobiyal takviyeli ağır yağ geri kazanımı gibi çalışmalarda kullanılmaktadır [69, 70]. Tarımsal çalışmalarda başarılı bir şekilde kullanılan *B. firmus* son yıllarda yaygın olarak tanımlanmış, karakterize edilmiş ve çok sayıda çalışmada *Meloidogyne* spp., *Heterodera* spp., *Ditylenchus dipsaci*, *Rodopholus similis*, *Tylenchulus semipenetrans*, *Xiphinema index* bitki paraziti nematodlarına karşı etkin kontrol sağladığı bildirilmiştir [71, 72, 73]. Bitki paraziti nematodları üzerindeki etki yolu; enzimatik aktiviteler, kök eksüdatlarının bozulması, kök koruma ve fitohormon üretimi şeklinde açıklanmaktadır [26, 72]. *Bacillus firmus* I-1582 suşu, ilk olarak İsrail'de izole edilmiş ve Bionem WP adı altında ıslatılabilir toz olarak formüle edilmiştir [71, 74]. BioNem 200 ve 400 kg/ha-'de uygulandığında *M. incognita* gal sayısını %75–84 oranında azaltmıştır [75]. İn vitro çalışmalarda, kg toprak başına 0,5-2,5 g BioNem WP'nin *R. similis*'in etkili kontrolünü sağladığı tespit edilmiştir [72]. Söğüt vd. [76] *B. firmus* I-1582'yi içeren bionematisit Flocter WP5'in 20+20 kg/ha, 30+30 kg/ha, 40+40 kg/ha dozlarını *M. incognita* kontrolü için 2 hıyar serasında değerlendirilmiş, Flocter 40+40 kg/ha ile muamele edilen seralarda, sırasıyla ur indeksi 2.0 ve 2.4 ile en düşük bulunurken, biyolojik etki sırasıyla %75.5 ve %74 oranında tespit edilmiştir. Kontrol parsellerinde ise ur indeksi 8.3 ve 9.1 ile en yüksek saptanmıştır. Domateste yürütülen çalışmada da *M. incognita* kontrolünde Flocter'in en etkili dozu 40+40 kg/ha olarak bulunmuş ve ur indeksi bakımından QL-AGRI (*Quillaja saponaria*) ile etkileri aynı saptanmıştır [76]. Valencia [77] in vitroda *B. firmus*'un 07 CFU/ml konsantrasyonunun 72 saat içinde *M. hapla* canlı larva sayısını %15 oranında azalttığını tespit etmiştir. Yine *M. hapla*'nın biyolojik kontrolünde domates bitkisi kullanılarak kurulan sera saksı denemesinde üç farklı dozda (0.06, 0.6 ve 6 g / saksı) (500 cc toprak) *B. firmus* I-1582 kullanılmış, en yüksek dozun (6g) bitki üzerinde fitotoksik etki gösterdiği, diğer iki dozun da gal indeksindeki azalması aynı oranda (%65) bulunmuştur [78].

*Bacillus firmus* DS-1 suşundan yeni bir serin proteaz Sep1 elde edilmiş ve nematisidal aktiviteye sahip olduğu bulunmuştur. Buradaki mekanizma, Sep1 nematodun bağırsakla ilişkili proteinlerini parçaladığı şeklinde açıklanmaktadır [79]. Castillo vd. [81] *B. firmus* GB-126 ve *Paecilomyces lilacinus* 251'in uygulandıklarından sonra elde edilen pamuk verimlerini kimyasal nematisit Aldicarb ile benzer bulmuşlardır. *Hypericum* (kantaron) bitkilerinde sulama sistemiyle yapılan tek *B. firmus* uygulaması *Meloidogyne* spp. enfeksiyonunu azaltmış ve 3 ay koruma sağlamıştır. Hıyar bitkilerinde *Meloidogyne* spp. 'ye karşı sezon sonuna kadar *B. firmus* ile etkin koruma sağlanabilmiştir [74]. Giannakou vd. [82] hıyarda *B. firmus* toprak solarizasyonu ile kombine edildiğinde nematod sayısını toprak fumigantı Dazometle aynı derecede azalttığını bulmuşlardır. Xiong vd. [83] *B. firmus* YBf-10 domates bitkilerinde *M. incognita*'ya karşı sistemik nematisidal aktiviteye sahip olduğunu ve yumurtadan çıkış ve larva hareketini engellediği bildirmektedir. Ayrıca bitki gelişimini de arttırdığı tespit edilmiştir. Muzda *R. similis* kontrolünde *Fusarium oxysporum* ve *B. firmus* kombine uygulamasının (86.2%) tek başına *B. firmus* (63.7%) uygulamasından daha etkin olduğu belirlenmiştir [73]. D'Errico vd. [84] *B. firmus* 1-1582'nin *M. incognita*'ya karşı tek başına veya nematisitlerle (oxamyl veya fosthiazate) kombinasyon halinde uygulamasının etkisi araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlar, *B. firmus* uygulamalarının nematod popülasyonunda baskıya neden olduğunu ve diğer uygulamalara kıyasla biyoförmülasyon ve kimyasalların kombinasyonlarında en düşük kök gal indeksinin belirlendiği bildirilmiştir. Ayrıca bu sonuçlar entegre mücadele sistemlerinde *B. firmus*'un erken ilkbahar ve erken sonbahar dönemlerinde uygulandığında *M. incognita*'ya karşı etkili mücadele sağladığını göstermiştir.

### *Bacillus megaterium*

*Bacillus megaterium*, gram pozitif, aerobik spor oluşturan bir bakteridir [85]. Bakteri tarafından üretilen nematisidal uçucuların, sekonder metabolitlerin nematodun kontrolünde etkili olduğu düşünülmektedir [86, 87]. Üç bölmeli petri kabı testleri ve saksı denemesinde *B. megaterium* YMF3.25'in *M. incognita*'nın larva çıkışlarını önemli ölçüde önleyebileceğini ve nematisidal uçucuların üretimi yoluyla nematodun enfeksiyonunu azaltabileceği gösterilmiştir [88]. Bakteri tarafından üretilen bu nematisidal uçucuların benzeneacetaldehid, 2-nonanon, dekanal, 2-undekanon ve dimetil disülfid olduğu ve 0.5 mmol'luk bir konsantrasyonda hem larvalara hem de yumurtalara karşı aktif oldukları belirlenmiştir. Ayrıca fenil etanon, nonan, fenol, 3,5-dimetoksitoluen, 2,3-dimetilbütandinitril ve 1-etenil-4-metoksi-benzen gibi altı bileşenin nematisidal aktiviteleri %30-63 arasında olduğu ve bakterilerin nematisidal etkinliğine de katkıda buldukları bildirilmiştir [88].

*B. megaterium* ile farklı bitkilerde çeşitli çalışmalar yürütülmüştür. Örneğin; kahve bitkisinde *B. megaterium* suşlarının neden olduğu sekonder metabolitlerin *M. exigua*'nın üremesinde önemli bir azalmaya yol açtığı saptanmıştır [87]. Ayçiçeğinde zarar oluşturan *M. javanica*'nın gelişimini *B. megaterium*'un baskıladığı rapor edilmiştir [89]. Al-Rehiyani vd. [90] *B. megaterium*'un patatesten *P. neglectus* ve *M. chitwoodi*'nin popülasyon yoğunluklarını %50'ye kadar azalttığını tespit etmişlerdir. *B. megaterium*'un şekerpancarı kist nematodu *Heterodera schachtii*'nin nematod enfeksiyonunu azalttığı tespit edilmiş ve şeker pancarı köklerinin bakteri kolonizasyonunun 30 gün boyunca stabil olduğu bulunmuştur [9]. Tayvan'ın pirinç yetiştiren bir bölgesinden izole edilen *B. megaterium*'un uygulamasının kontrole kıyasla *M. graminicola* nematod penetrasyonu ve gal oluşumunda %40'tan fazla bir azalmaya yol açtığı tespit edilmiştir [91]. Ayrıca çalışmada *M. graminicola* yumurtalarının *B. megaterium*'un sekonder metabolitlerine

maruz kalması sonucu kontrole kıyasla yumurtadan çıkış miktarını %60'ın üzerinde azalttığı belirlenmiştir. Bazı bakteriyel biyogübrelerin (nitrojen fikse eden bakteri (NFB) *Paenibacillus polymyxa*, fosfat çözen bakteri (PSB) *B. megaterium* ve potasyum çözen bakteri (KSB) *B. circulans*) kumlu toprakta *M. incognita*'ya etkisinin araştırıldığı çalışmada ise genel olarak bu uygulamaların inokulasyondan 60 gün sonra nematod popülasyonunda önemli derecede düşüşe yol açtığını bildirmişlerdir [92]. En yüksek nematod popülasyon düşüşü sırasıyla *P. polymyxa* NFB7, *B. megaterium* PSB2 ve *B. circulans* KSB2 suşlarında bulunmuş ve bu bakteriyel biyogübreler hem nitrojen, fosfat ve potasyumun iletiminde hemde *M. incognita*'nın biyolojik mücadelesinde umut verici gözlenmiştir. Domateste *M. incognita*'ya karşı 4 ticari biyolojik ürün *B. megaterium* (Bioarc®), *Trichoderma album* (Biozeid®), *T. harzianum* (Plant Gard®) ve *Ascophyllum nodosum* (Algaefol®), bir sera denemesinde değerlendirilmiş ve *B. megaterium* (10 g/kg), gal sayısında %89.20 ile en yüksek düşüşü elde ederken, bunu sırasıyla *T. album*, *A. nodosum* ve *T. harzianum* %86.96, %87.77 ve %69.79 oranlarında izlediği bildirilmiştir [93]. Laboratuvar ve sera koşullarında *T. semipenetrans*'a karşı *B. megaterium* (Bioarc) ve *T. album* (Biozeid) farklı oranlarda (20, 25, 30g/l) uygulanmış ve özellikle laboratuvar denemesinde L2 ye karşı yüksek nematostatik etkiye sahip olduğu bulunmuştur [94]. Sera denemesinde ise 100g topraktaki L2 sayısında Bioarc'ın en yüksek oranı olan 30.0 g/l, Biozeid'den daha etkili bulunmuştur. *Meloidogyne* spp. popülasyonunu baskılamak için kurulan arazi denemesinde Bioarc (*B. megaterium*), Nemastrol (aktif bileşenlerin bir karışımı), Humisun (hümik asit) ve kurutulmuş fesleğen kullanılmıştır. Nemastrol + humisun + bioarc + kurutulmuş fesleğen + oksamil ile zenginleştirilen toprakta nematod popülasyonunda, kökteki gallerde ve yumurta paketi sayısında sırasıyla % 95.7, % 83.0 ve % 100 oranlarında baskılama tespit edilmiştir. Bu tür organik maddelerin toprağa karıştırılmasıyla nematod popülasyonuna karşı antagonistik etkiye sahip olan *B. megaterium* aktivitesinin artırabileceği bildirilmiştir [95].

#### *Pseudomonas* spp.

*Pseudomonas* suşları antibiyotik (pyrolnitrin, pyoverdine) ve enzim (peroksidaz, kitinaz) üretimi ile sistemik dayanıklılığı teşvik ederek bitki paraziti nematodların popülasyonlarını azaltmaktadır [96, 97, 98]. Nematod kontrolünde potansiyeli olan *Pseudomonas* izolatları ve kitinolitik bakteriler gram-negatif bakterilerdir [99, 100].

*Pseudomonas fluorescens* ürettiği 2,4 diacetylphloroglucinol (DAPG) ve hydrogen cyanide sekonder metabolitlerinin kist nematodlarının larvaları üzerinde etkili olduğu saptanmıştır [96]. *P. fluorescens* tarafından kök kolonizasyonuna bağlı kök eksüdatlarının kimyasal bileşenlerinin değişimi nematodların yumurta çıkışını, larva çekiciliğini ve penetrasyonunu etkilemektedir. *P. fluorescens* hücre membranlarının lipo polisakkarit tabakasının konukçu kök yüzey lektinleri ile bağlanması sonucu nematodların konukçusunu bulamadığı bildirilmiştir [101]. *P. fluorescens* 1 aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) deaminase aktivitesi nematodun beslenme hücresi (syncytium ya da dev hücre) oluşumunu engellemektedir [102]. Sıvı *P. fluorescens* uygulaması, muz alanlarında *Helicotylenchus multicinctus*'u %89 oranında azalttığı bildirilmektedir [103]. *P. fluorescens*'in sıvı formülasyonlarda dormant kaldığını ve toprak rizosfer bölgelerinde tarlaya uygulandığında aktif hale geldikleri gözlemlenmiştir [104]. Yine *P. fluorescens* (1L<sup>-1</sup>) sıvı formülasyonunun *G. rostochiensis*'in %83.1'e kadar ve *G. pallida*'nın % 86.5'e kadar alan kontrolünü göstermiş ve arazi koşullarında oldukça etkin olduğu bildirilmiştir [105]. *M. graminicola* ile bulaşık çeltik parsellerinde *P. fluorescens* (20 mg/saksı) toprak

uygulamasının bitki ve kök boyu, bitki ve kök yaş ve kuru ağırlığını kontrole göre önemli oranda arttırdığı belirlenmiştir [106].

### ***Cry proteini oluşturan bakteriler Bacillus thuringiensis***

Gram pozitif, aerobik, spor oluşturan bakteri olan *Bacillus thuringiensis* protozoa, nematodlar, yassı solucanlar, akarlar ve böcekleri etkileyebilen çok yönlü bir patojendir [107, 108]. *Bacillus thuringiensis*, deltaendotoksin olarak bilinen ve böcek zararlılarına toksik olan protein moleküllerinden oluşan parasporal kristallerin üretimi ile karakterize edilmektedir [109].

*Bacillus thuringiensis* (Bt) nematodların doğal bir patojenidir ve nematodları hedef alan kristal proteinleri üretmektedir [108]. Bt kristal proteinleri nematod parazitlerinin güvenli, düşük maliyetli kontrolünü sağlayabilir. Bitki paraziti nematod larvaları için toksik olduğu bilinen 7 Cry proteini (Cry5, Cry6, Cry12, Cry13, Cry14, Cry21, Cry55) saptanmıştır [110]. Salehi vd. [111] bu Cry proteinlerinin serbest yaşayan nematodların ve bitki paraziti nematodlarda bağırsak hasarına neden olduğunu bildirmektedirler. Bt Cry genlerinin aktarılması ile üretilen domates bitkilerinde *M. incognita* enfeksiyonunu kontrol ettiği bulunmuştur [112]. Cry5B ile yürütülen *in vitro* ve *in vivo* çalışmalarda hayvan paraziti nematodlar da dahil olmak üzere nematodları öldürmek için bir glikolipid kullandığı tespit edilmiştir [113]. *In vitro*'da Bt 64'ün kök-ur nematodu L2 çıkışı ve hareketliliğini engellediği bulunmuş ve Bt64 ve Fertinematik (Neem cake) kombinasyonunun patlıcanda *M. javanica* kontrolünde en etkin uygulama olduğu belirlenmiştir [114, 115]. Mohammed vd. [116] Bt7N, BtDen, Bt18, BtK73, BtSoto ve Bt7 toksinlerinin *M. incognita* üzerinde yüksek nematisidal etkisini (%86-100) saptamışlardır. Bazı Cry proteinlerin nematodun beslenmesi sırasında stilet ile vücuduna giriş yaptığı ve *B. thuringiensis* ToIr65 ve ToIr67 suşları *M. javanica* yumurtadan çıkışını baskıladığı tespit edilmiştir [117]. Höss vd. [118] CryIAb genini içeren transgenik mısır bitkilerinin transgenik olmayan mısır bitkileriyle karşılaştırıldığında, nematodların gelişmesini ve üremesini önemli derecede azalttığını bildirmiştir. Transgenik Bt pamuk ve isoline (99M03) *M. incognita*'ya karşı farklı derecede duyarlılık gösterdiği ve HART 89M (lokal- Bt içermeyen pamuk kültürü) ise isoline kıyasla *M. incognita* enfeksiyonuna karşı daha dirençli bulunmuştur [119].

### ***Endofitik bakteriler***

Endofitik bakteriler kök dokuda ve rizosferde daima bulunan ve bitkilere herhangi bir zarar vermeyen bakteriler olarak tanımlanır [120]. De Bary (1866), endofiti, konukçu bir bitkide hiçbir tipik belirgin hastalık belirtisine neden olmadan, yaşam döngüsünün tamamını veya bir kısmını geçiren bir bakteriyel veya fungal mikroorganizma olarak tanımlamıştır. Endofitler, konukçu bitkilerinin fizyolojik, gelişimsel ve morfolojik özelliklerini özellikle stresli ortamlarda değiştirebilirler ve rekabet güçlerini artırabilirler [121]. Ayrıca endofit bakteriler kültür bitkilerinin sağlıklı büyüme ve gelişmesinde sahip oldukları farklı etki mekanizmalarıyla önemli rollere sahiptirler [120]. Fungal, bakteriyel, viral kökenli hastalıklar, böcek ve nematodların neden olduğu hasarların, önceden endofit uygulamaları ile azaltılabileceği düşünülmektedir [122]. Endofitler genellikle Actinobacteria, Proteobacteria ve Firmicutes şubelerinde bildirilmektedir [123]. Biyokontrol ajanı olarak kullanılan endofitlerle bitkilerin kolonizasyonu sağlandığında hücre duvarında pektin, selüloz ve fenolik bileşiklerinin birikmesi sonucu yapısal bir bariyer oluşturulmaktadır [124]. Kök korteksinde kolonize olan endofitlerin bitkilerin



savunma mekanizmalarını uyardığı bilinmekte ve fosfat indirgeme aktivitesi, siderofor üretimi ve IAA enzimini üretebilme gibi yetenekleri bildirilmektedir [120]. Endofitik bakteriler ayrıca bitki direnciyle ilişkili olan fenol ve salisilik asit içeriğini artırmaktadır [125].

Nematodlar için bir biyolojik kontrol ajanı olan endofitik bakteriler, nematod penetrasyonu ve çoğalmasını engellemektedir [126]. Domates köklerinden izole edilen 181 endofitik bakterinin sera koşullarında domates kökünde *M. incognita*'ya etkisini araştırılmış ve 21'inde antagonistik özellik tespit edilmiştir [127]. *Kocuria varians* ve *Microbacterium esteraromaticum* *Pratylenchus penetrans*'a karşı antagonistik bulunmuştur [128]. Endofitik bakterilerin kültür filtratları ile yürütülen *in vitro* çalışmada *P. brachyurus* popülasyonlarının (>%80) önemli ölçüde azaldığı bulunmuştur [129]. Serada yürütülen çalışmada ise *P. brachyurus* popülasyonunun %54-70 oranında azaldığı ve bitki büyümesinin %38-85 oranında arttığı saptanmıştır [130]. Hallmann vd. [131] hıyar ve pamuk köklerinden izole edilen 7 endofitik bakterinin *M. incognita* karşı etkisini değerlendirmiş ve hıyar köklerinde gal sayısında %50'lik oranda düşüş bulmuşlardır.

### **Fırsatçı bakteriler**

*Brevibacillus laterosporus* G4 Çin'in Yunnan eyaletindeki toprak numunelerinden izole edilmiş ve *Panagrellus redivius* ve *Bursaphelenchus xylophilus* nematodlarını parazitlemekte ve *Brevibacillus laterosporus* G4 ü fırsatçı parazit bakteri olarak tanımlanmaktadır [132, 16]. Nematod vücudunun epidermisine bağlandıktan sonra, *B. laterosporus* hızla çoğalabilir ve tek bir klon oluşturabilir. Bir klonun büyümesi, konukçu kütikula ve dokunun zarar görmesi sonucu dairesel bir deliğe neden olabilir ve büyüme için besin olarak nematodu sindirirler [132]. Histopatolojik gözlemler ve moleküler analizler *B. laterosporus* G4 suşunun patojenik aktivitesini BLG4 olarak adlandırılan bir hücre dışı alkalın serin proteaz olarak bildirmektedir [132, 133].

Şeker kamışı yetiştiriciliğinde *Burkholderia tropica* bakterisi kullanılarak tarla koşullarında yapılan araştırmalar, *Helicotylenchus dihystra* ve *Pratylenchus zeae* üzerinde pozitif kontrol sağladığını bulurken, *Xiphinema elongatum* için negatif sonuçlar vermiştir [134]. *Burkholderia* cinsinin *M. incognita* üzerinde çok iyi geliştiği bildirilmektedir [135]. Fırsatçı bakteri türlerinden *Serratia liquefaciens* çam ağacı nematodu (*Bursaphelenchus xylophilus*) ile ilişkili temel bakteri grubu olarak bildirilmekte ve simptom gösteren sarı çam (*Pinus pinaster*)'dan direkt olarak izole edilmiştir [136]. *Serratia marcescens* PWN146 *B. xylophilus*'un enfeksiyonunu arttırdığı ve fitotoksik etkisi bildirilmektedir [137].

Çam solgunluğu hastalığına neden olan *Bursaphelenchus xylophilus* ile yaygın ilişkisi olan *Serratia quinivorans* BXF1 ile yürütülen çalışmada bakterinin varlığında nematod kitinaz geninin (Bxcht-1) bastırıldığı bulunmuş ve bu da nematod üremesinde bakteriyel kitinaz için bir etki olduğunu düşündürmüştür. Ayrıca BXF1 suşunun nematod interiorüne kolonize olmaya, ksenobiyotik stretn korunmak ya da nematod kütikulasına yerleşmeye uygun bulunmamıştır. Fakat BXF1 suşunun çam bitkisinin büyümesini teşvik etmenin yanı sıra iç kısmına kolonize olabildiği, böylece bitki büyümesini teşvik eden bir endofit gibi davranabildiği bildirilmiştir. Sonuç olarak BXF1 suşu solgunluk semptomlarını indüklemeye başarısız görülmektedir. Ancak çam köklerinden izole edilen fungal ve bakteriyel etmenlere karşı güçlü antagonistik etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Bu çalışma bitki büyümesini teşvik eden ve antagonistik etkilere sahip olan BXF1 gibi bakterilerin, konakçı çamda bulunan *B. xylophilus* ile fırsatçı olarak ilişkili olabileceği ortaya çıkartmıştır [138].

## SONUÇ

Toprak dezenfektanlarının ve çoğu nematisitin insan ve çevreye olan zararlı etkileri nedeniyle yasaklanması sonucu bitki paraziti nematodların mücadelesinde alternatif yöntemler ağırlık kazanmıştır. Bitki paraziti nematodlara karşı biyolojik kontrol ajanları olarak mikroorganizmaların kullanımını araştırmak için çok sayıda çalışma yapılmaktadır ve bu çalışmalar sonucunda çok sayıda bakteri tespit edilmiş durumdadır. Ancak nematisidal potansiyele sahip bakterilerden sadece birkaçı ticari biyo-kontrol ürünü olarak geliştirilmiş ve tarım sisteminde kullanılmaktadır. Tablo 2’de yaygın olarak kullanılan ticari biyokontrol ürünleri ve ülkeleri verilmektedir. Ayrıca nematofag bakterilerin çeşitli patojenik mekanizmalarının anlaşılması için moleküler temelli çok sayıda çalışma yapılmaktadır. Bu sayede, etkin biyolojik kontrol ajanları olarak değerlerini artıracığı gibi bununla birlikte potansiyel biyolojik kontrol suşlarının patojenik aktivitesini iyileştirmek, yeni biyolojik kontrol stratejileri geliştirmek ve rollerini entegre nematod yönetim sisteminde araştırmak için temel sağlayacaktır.

**Tablo 2.** Nematodların mücadelesinde kullanılan bakteriyel Biyokontrol ajanları ve içerikleri (Abd-Elgawad, M. M., ve Askary, T. H., 2018).

Biyokontrol ajanlar	Ticari isimleri	Ticari firma	Ülke
<i>Pasteuria penetrans</i>	Econem	Nematech	Japonya
<i>P. nishizawae</i>	Clariva PN	Syngenta	Brezilya
<i>P. usage</i> ( <i>P. penetrans</i> )	Econem	Bayer CropScience	Çok uluslu
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	SHEATHGUARD (Sudozone)	Agriland Biotech	Hindistan
<i>Bacillus cereus</i> (CM-1c strain) ve <i>B. subtilis</i> (CM-5 strain)	BioStart™ Defensor	Bio-Cat Microbials	USA
<i>Bacillus megaterium</i> <i>Bacillus thuringiensis</i>	Bio-arc Avid 0.15EC (abamectin)	Syngenta	Mısır Çok uluslu
<i>Bacillus subtilis</i>	Stanes Sting Rhizo-in	Imported from T. Stanes and Company Limited, India, by Gaara company, Egypt	Hindistan ve Mısır
<i>B. licheniformis</i> <i>B. subtilis</i>	Quartzo ve Nemix C	FMC Química do Brasil Ltda. Br	Brezilya
<i>B. licheniformis</i> strain FMCH001(DSM32154) <i>B. subtilis</i> strain FMCH002 (DSM32155)	Presense	FMC Química do Brasil Ltda	Brezilya
<i>B. firmus</i>	Bionem-WP BioSafe-WP Chancellor	Agro Green	İsrail
<i>B. firmus</i> strain GB-126	VOTiVO®WP	Bayer Crop Science	Almanya
<i>B. firmus</i> I-1582 <i>B. methylotrophicus</i>	Flocter WP5 Onix	Bayer Crop Science Laboratorio de Bio Controle Farroupilha S.A.	Türkiye Brezilya

<i>B. subtilis</i>	Pathway Consortia®	Pathway Holdings	USA
<i>B. chitinosporus</i> , <i>B. laterosporus</i> , <i>B. licheniformis</i> (mixture)	BioStart® BioStart™	Bio-Cat Rincon-Vitova	USA
<i>B. amyloliquefaciens</i>	Nemacontrol	Simbiose Indústria e Comércio de Fertilizantes e Insumos	Brezilya
<i>Bacillus</i> sp., <i>Pseudomonas</i> sp., <i>Rhizobacterium</i> sp., <i>Rhizobium</i> sp.	Micronema	Agricultural Research Centre	Mısır
<i>B. cereus</i>	Xian Mie	XinYi Zhong Kai Agro-Chemical industry CO., Ltd.	Çin
<i>Bacillus</i> spp. <i>Burkholderia cepacia</i>	Nemix Deny Blue circle	Chr. Hansen Stine Microbial Products	Brezilya USA
<i>Burkholderia rinojenses</i>	BIOST® Nematicide 100	Albaugh LLC	Kuzey Amerika
Heat-killed <i>Burkholderia</i> <i>Serratia marcescens</i>	Zelto® Nemaless	Marrone Bio Innovations Agricultural Research Centre	Kuzey Amerika Mısır

Bitki paraziti nematod mücadelesinde kullanılan bakteriyel preparatların genellikle tohum uygulaması şeklinde tavsiye edildiği görülmektedir. Tohum uygulaması, dikim esnasında patojen ve zararlılara karşı koruma sağlayan ekonomik ve etkili bir yöntemdir. Bu yöntem aynı zamanda arazi başına kullanılan kimyasalların miktarını düşürdüğü ve hedef olmayan organizmalara daha az etkili olduğu için avantajlıdır. Bugün tohum muamelelerinin kullanımı, tarımsal üretim uygulamalarının çok değerli, etkili ve çevre dostu bir bileşenine dönüşen oldukça sofistike bir stratejidir. Tohum muamelesi, patojen veya zararlı direnci için seçim riskini azaltırken, etkili olan uygun ürün dozunun yüksek oranda hedeflenmesine izin verir. Tohum muameleleri tarımın verimliliğinin yanı sıra sürdürülebilirliği ve verimliliğinde de giderek artan bir rol oynamaktadır. Rhizobakteriyel süspansiyonlar tohumlara uygulanabildiği gibi organik gübrelerle karıştırılarak kullanılması da bitki paraziti nematodlarla mücadelede başarı şansını artırmaktadır [12]. Organik materyallerin topraktan yavaşça ayrışması, ürünlerin zararlılardan daha uzun süre korunabilmesini sağlamaktadır. Böyle bir yönetim taktiği sadece verimi artırmakla kalmayacak, sonraki sezonun mahsulü daha fazla gübre ve pestisit almadan önceki uygulamalardan yararlanmış olacak, aynı zamanda maliyeti de düşürecektir [5].

Bitki paraziti nematodların mücadelesinde bakteriler yüksek potansiyele sahip olmasına rağmen üreticiler bazında pratikte kullanımında bazı eksiklikler bulunmaktadır. Ayrıca, üreticilerin biyokontrol ürünlerine kullanım yönelimlerinin az olduğu görülmekte ve bunun başlıca nedeni olarak da abiyotik ve biyotik faktörlerden kaynaklı olarak biyokontrol ürünlerden beklenen etkinin yeterli ve hızlı olmaması gösterilmektedir. Bir diğer neden ise; üreticiler bakteriyel ürünleri sadece kültür olarak sağladığında ya makul

fiyatta devlet destekli ya da özel sektörden temin edilince kullanabilmekte ve konu uzmanı olmayan çiftçilerin saf bakteri kültürlerinden doz ayarlamaları ve uygulamalarının zor olmasıdır. Üreticilere sürdürülebilir ve çevre dostu mücadele taktikleri anlatılmalı, ihtiyaçlarına yönelik şekilde optimize edilmeli ve adaptasyonları sağlanmalıdır. Piyasadan alınan bakteriyel ürünün formülasyonu da kullanılabilir formda olmalı ve üreticilerin gerekli bakteri inokulumunun miktarını ayarlamalarında faydalı bilgileri içeriyor olması gerekmektedir. Bu ürünlerin muhafazasına da dikkat etmek gerekli ve bakteri canlılığının korunması sağlanmalıdır.

Son yıllarda en çok çalışılan konulardan biri olan bakterilerin gelecekteki araştırmaların da konusu olacağı kaçınılmazdır. Entegre mücadele içerisinde bakterilerin biyogübreler ile birlikte kullanımının nematod mücadelesinde başarıyı artırdığı görülmektedir. Yeni mücadele stratejilerinin oluşmasında da bakterilerin önemli yer tutacağı düşünülmektedir. Bu amaçla derlemede bitki paraziti nematodların biyolojik mücadelesinde önemli yeri olan bakteriler ve etki mekanizmaları aydınlatılmaya çalışılmıştır.

## KAYNAKLAR

- [1] Bird, D.M., Kaloshian, I. (2003): Are roots special? Nematodes have their say. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 62(2): 115-123.
- [2] Nicol, J.M., Turner, S.J., Coyne, D.L., Den Nijs, L., Hockland, S., Maafi, Z. T. (2011): Current nematode threats to world agriculture. In *Genomics and molecular genetics of plant-nematode interactions* (pp. 21-43). Springer, Dordrecht.
- [3] Elling, A.A. (2013): Major emerging problems with minor *Meloidogyne* species. *Phytopathology* 103(11): 1092-1102.
- [4] Khan, M.R., Altaf, S., Mohiddin, F.A., Khan, U., Anwer, A. (2009): Biological control of plant nematodes with phosphate solubilizing microorganisms. *Phosphate Solubilizing Microbes for Crop Improvement* (MS Khan, A. Zaidi, eds.). Nova Science Publishers, New York, NY, USA, 395-426.
- [5] Akhtar, M., Malik, A. (2000): Roles of organic soil amendments and soil organisms in the biological control of plant-parasitic nematodes: a review. *Bioresource Technology* 74(1): 35-47.
- [6] Sikora, R.A. (1992): Management of the antagonistic potential in agricultural ecosystems for the biological control of plant parasitic nematodes. *Annual review of Phytopathology* 30(1): 245-270.
- [7] Meyer, S.L. (2003): United States Department of Agriculture–Agricultural Research Service research programs on microbes for management of plant-parasitic nematodes. *Pest Management Science: formerly Pesticide Science* 59(6-7): 665-670.
- [8] Kiewnick, S., Sikora, R.A. (2006): Biological control of the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* by *Paecilomyces lilacinus* strain 251. *Biological Control* 38(2): 179-187.
- [9] Neipp, P.W., Becker, J. O. (1999): Evaluation of biocontrol activity of rhizobacteria from *Beta vulgaris* against *Heterodera schachtii*. *Journal of Nematology* 31(1): 54.
- [10] Siddiqui, Z.A., Mahmood, I. (1999): Role of bacteria in the management of plant parasitic nematodes: a review. *Bioresource Technology* 69(2): 167-179.
- [11] Walia, R.K., Sharma, S.B., Vats, R. (2000): Bacterial antagonists of phytonematodes. In *Biocontrol potential and its exploitation in sustainable agriculture* (pp. 173-186). Springer, Boston, MA.

- [12] Oostendorp, M., Sikora, R.A. (1989): Seed treatment with antagonistic rhizobacteria for the suppression of *Heterodera schachtii* early root infection of sugar beet. *Rev. Nematology* 12(1): 77-83.
- [13] Racke, J., Sikora, R.A. (1992): Isolation, formulation and antagonistic activity of rhizobacteria toward the potato cyst nematode *Globodera pallida*. *Soil Biology and Biochemistry* 24(6): 521-526.
- [14] Thakore, Y. (2006): The biopesticide market for global agricultural use. *Industrial Biotechnology* 2(3): 194-208.
- [15] Vessey, J.K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil* 255(2): 571-586.
- [16] Tian, B., Yang, J., Lian, L., Wang, C., Li, N., Zhang, K.Q. (2007): Role of an extracellular neutral protease in infection against nematodes by *Brevibacillus laterosporus* strain G4. *Applied Microbiology and Biotechnology* 74(2): 372-380.
- [17] Lodewyckx, C., Vangronsveld, J., Porteous, F., Moore, E. R., Taghavi, S., Mezgeay, M., der Lelie, D.V. (2002): Endophytic bacteria and their potential applications. *Critical Reviews in Plant Sciences* 21(6): 583-606.
- [18] Dobbelaere, S., Vanderleyden, J., Okon, Y. (2003): Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. *Critical Reviews in Plant Sciences* 22(2): 107-149.
- [19] Sayre, R.M., Starr, M.P. (1989): Genus *Pasteuria* Metchnikoff, 1888. *Bergey's manual of systematic bacteriology*. Baltimore, MD: Williams and Wilkins, 2601-2615.
- [20] Bekal, S., Borneman, J., Springer, M.S., Giblin-Davis, R.M., Becker, J.O. (2001): Phenotypic and molecular analysis of a *Pasteuria* strain parasitic to the sting nematode. *Journal of Nematology* 33(2-3): 110.
- [21] Bishop, A.H., Gowen, S.R., Pembroke, B., Trotter, J.R. (2007): Morphological and molecular characteristics of a new species of *Pasteuria* parasitic on *Meloidogyne ardenensis*. *Journal of Invertebrate Pathology* 96(1): 28-33.
- [22] Stirling, G.R. (2014): Biological control of plant-parasitic nematodes: soil ecosystem management in sustainable agriculture. CABI.
- [23] Chen, Z.X., Dickson, D. (1998): Review of *Pasteuria penetrans*: Biology, ecology, and biological control potential. *Journal of Nematology* 30(3): 313.
- [24] De Gives, P.M., Davies, K.G., Clark, S.J., Behnke, J. M. (1999): Predatory behaviour of trapping fungi against srf mutants of *Caenorhabditis elegans* and different plant and animal parasitic nematodes. *Parasitology* 119(1): 95-104.
- [25] Atibalentja, N., Noel, G.R., Domier, L.L. (2000): Phylogenetic position of the North American isolate of *Pasteuria* that parasitizes the soybean cyst nematode, *Heterodera glycines*, as inferred from 16S rDNA sequence analysis. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 50(2): 605-613.
- [26] Giblin-Davis, R. M.; Nong, G.; Preston, J. F.; Williams, D. S.; Center, B. J.; Brito, J. A.; Dickson, D. W. (2011): 'Candidatus *Pasteuria aldrichii*', an obligate endoparasite of the bacterivorous nematode *Bursilla*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 61 (9): 2073–2080.
- [27] Abd-Elgawad, M.M., Askary, T.H. (2018): Fungal and bacterial nematicides in integrated nematode management strategies. *Egyptian Journal of Biological Pest Control* 28(1): 74..
- [28] Davies, K.G., Laird, V., Kerry, B.R. (1991): The motility, development and infection of *Meloidogyne incognita* encumbered with spores of the obligate hyperparasite *Pasteuria penetrans*. *Revue de Nématologie* 14(4): 611-618.
- [29] Weibelzahl-Fulton, E., Dickson, D.W., Whitty, E. (1996): Suppression of *Meloidogyne incognita* and *M. javanica* by *Pasteuria penetrans* in field soil. *Journal of Nematology* 28(1): 43.
- [30] Ciancio, A., Bourijate, M. (1995): Relationship between *Pasteuria penetrans* infection levels and density of *Meloidogyne javanica*. *Nematologia Mediterranea* 23(1):43-49.

- [31] Walker, G.E., Watchtel, M.F. (1989): The influence of soil solarization and non-fumigant nematicides on infection of *Meloidogyne javanica* by *Pasteuria penetrans*. *Nematologica* 34: 477-483.
- [32] Kumar A., Walia, R.K., Kapoor, A. (2005): Field evaluation of *Pasteuria penetrans* as nursery bed application against *Meloidogyne javanica* infecting brinjal. *Int. Journal of Nematology* 15: 183-186.
- [33] Walia, R. K. (2015): Efficacy of bacterial parasite, *Pasteuria penetrans* application as seed treatment against root-knot nematode, *Meloidogyne javanica*. *Indian Journal of Nematology* 45(1): 1-6.
- [34] Sharma, R. D. (1992): Biocontrol efficiency of *Pasteuria penetrans* against *Meloidogyne javanica*. *Ciênc. Biol. Ecol. Systems* 12(1/2): 43-47.
- [35] Rangaswamy, S.D., Parvatha Reddy, P., Nagesh, M. (2000): Evaluation of biocontrol agents (*P. penetrans* and *T. viride*) and botanicals for the management of root-knot nematode, *M. incognita* infecting tomato. *Pest Manag Hort Ecosystem* 6: 135–138.
- [36] Ravichandra, N. G., Reddy, B. M. R. (2008): Efficacy of *Pasteuria penetrans* in the management of *Meloidogyne incognita* infecting tomato. *Indian Journal of Nematology* 38(2): 172-175.
- [37] Singh, M., Singh, J., Gill, J.S. (2008): Impact of *Pasteuria penetrans* on root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) infecting tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Indian Journal of Agricultural Sciences* 78: 1092–1094.
- [38] Ravichandra, N.G., Reddy, B.M.R. (2008): Efficacy of *Pasteuria penetrans* in the management of *Meloidogyne incognita* infecting tomato. *Indian Journal of Nematology* 38: 172–175.
- [39] Amin, A.W. (2000): Efficacy of *Arthrobotrys oligospora*, *Hirsutella rhossiliensis*, *Paecilomyces lilacinus* and *Pasteuria penetrans* as potential biocontrol agents against *Meloidogyne incognita* on tomato. *Pakistan Journal of Nematology* 18: 29–33.
- [40] Adiko, A., Gowen, S.R. (1994): Comparison of two inoculation methods of root-knot nematodes for the assessment of biocontrol potential of *Pasteuria penetrans*. *Afro-Asian Journal of Nematology* 4: 32–34.
- [41] Kokalis-Burelle, N. (2015): *Pasteuria penetrans* for control of *Meloidogyne incognita* on tomato and cucumber, and *M. arenaria* on snapdragon. *Journal of Nematology* 47: 207–213.
- [42] Verdejo-Lucas, S. (1992): Seasonal population fluctuations of *Meloidogyne* spp. and the *Pasteuria penetrans* group in Kiwi orchards. *Plant Disease* 76: 1275–1279.
- [43] Cho, M.R., Na, S.Y., Yiem, M.S. (2000): Biological control of *Meloidogyne arenaria* by *Pasteuria penetrans*. *J Asia-Pacific Entomology* 3: 71–76.
- [44] Chen, Z.X., Dickson, D.W., McSorley, R., Mitchell, D.J., Hewlett, T.E. (1996): Suppression of *Meloidogyne arenaria* race 1 by soil application of endospores of *Pasteuria penetrans*. *Journal of Nematology* 28: 159–168.
- [45] Chen, Z.X., Dickson, D.W., Mitchell, D.J., McSorley, R., Hewlett, T.E. (1997): Suppression mechanism of *Meloidogyne arenaria* race 1 by *Pasteuria penetrans*. *Journal of Nematology* 29: 1–8.
- [46] Thakur, S., Walia, R. K. (2016): Potential of bacterial parasite, *Pasteuria penetrans* application as nursery soil treatment and seed treatment in controlling *Meloidogyne graminicola* infecting rice. *Indian Journal of Nematology* 46(1): 16-19.
- [47] Singh, B., Dhawan, S.C. (1996): Suppression of *Heterodera cajani* by *Pasteuria penetrans* during three successive plantings of cowpea. *Indian Journal of Nematology* 26: 216–221.
- [48] Singh, B., Dhawan, S.C. (1999): Comparison of different methods of application of *Pasteuria penetrans* for the control of *Heterodera cajani* in cowpea. *Indian Journal of Nematology* 29: 118–120.
- [49] Ciancio, A. (1995): Density dependent parasitism of *Xiphinema diversicaudatum* by *Pasteuria penetrans* in a naturally infested field. *Phytopathology* 85: 144–149.

- [50] Somasekhar, N., Gill, J.S. (1991): Efficacy of *Pasteuria penetrans* alone and in combination with carbofuran controlling *Meloidogyne incognita*. *Indian Journal of Nematology* 21: 61–65.
- [51] Oostendorp, M., Dickson, D.W., Mitchell, D.J. (1990): Host range and ecology of isolates of *Pasteuria* spp. from the southeastern United States. *Journal of Nematology* 22(4): 525.
- [52] Davies, K.G., Fargette, M., Balla, G., Daudi, A., Duponnois, R., Gowen, S.R., Vouyoukalou, E. (2001): Cuticle heterogeneity as exhibited by *Pasteuria* spore attachment is not linked to the phylogeny of parthenogenetic root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.). *Parasitology* 122(1): 111-120.
- [53] Hatz, B., Dickson, D.W. (1992): Effect of temperature on attachment, development, and interactions of *Pasteuria penetrans* on *Meloidogyne arenaria*. *Journal of Nematology* 24: 512-521.
- [54] Jensen, J.P., Kalwa, U., Pandey, S., Tylka, G.L. (2018): Avicta and clariva affect the biology of the soybean cyst nematode, *Heterodera glycines*. *Plant disease* 102(12): 2480-2486.
- [55] de Souza Confort, P. M., Inomoto, M. M. (2018): *Pasteuria thornei*, a novel biological seed treatment for *Pratylenchus brachyurus* control in soybean. *Nematology* 20(6): 519-523.
- [56] Santoro, M.V., Zygadlo, J., Giordano, W., Banchio, E. (2011): Volatile organic compounds from rhizobacteria increase biosynthesis of essential oils and growth parameters in peppermint (*Mentha piperita*). *Plant Physiology and Biochemistry* 49(10): 1177-1182.
- [57] Jonathan, E.I., Barker, K.R., Abdel-Alim, F.F., Vrain, T.C., Dickson, D.W. (2000): Biological control of *Meloidogyne incognita* on tomato and banana with Rhizobacteria, Actinomycetes, and *Pasteuria penetrans*. *Nematropica* 30(2): 231-240.
- [58] Ali, N.I., Siddiqui, I.A., Shaukat, S.S., Zaki, M.J. (2002): Nematicidal activity of some strains of *Pseudomonas* spp. *Soil Biology and Biochemistry* 34: 1051–1058.
- [59] Krebs, B., Höding, B., Kübart, S., Workie, M.A., Junge, H., Schmiedeknecht, G., Hevesi, M. (1998): Use of *Bacillus subtilis* as biocontrol agent. I. Activities and characterization of *Bacillus subtilis* strains. *Journal of Plant Diseases and Protection* 181-197.
- [60] Insunza, V., Alström, S., Eriksson, K.B. (2002): Root bacteria from nematicidal plants and their biocontrol potential against trichodorid nematodes in potato. *Plant and Soil* 241(2): 271-278.
- [61] Mostafa, F.A., Khalil, A. E., El Deen, N.A., Dina, S. (2014): Induction of systemic resistance in sugar-beet against root-knot nematode with commercial products. *Journal of Plant Pathology & Microbiology* 5(3): 236-242.
- [62] Chen, X.H., Vater, J., Piel, J., Franke, P., Scholz, R., Schneider, K., Gottschalk, G. (2006): Structural and functional characterization of three polyketide synthase gene clusters in *Bacillus amyloliquefaciens* FZB 42. *Journal of bacteriology* 188(11): 4024-4036.
- [63] El-Sherif, M.A., Ali, A.H., Barakat, M.I. (1994): Suppressive bacteria associated with plant parasitic nematodes in Egyptian agriculture. *Nematological Research (Japanese Journal of Nematology)* 24(2): 55-59.
- [64] Sikora, R.A. (1988): Interrelationship between plant health promoting rhizobacteria, plant parasitic nematodes and soil microorganisms. *Mededelingen van de Faculteit landbouwwetenschappen*. Rijksuniversiteit Gent 53(2): 867-878.
- [65] Keuken, O. (1996): Interaktionen zwischen dem Rhizosphärebakterium *Bacillus cereus*, dem Wurzelgallen nematoden *Meloidogyne incognita* und tomate. Ph.D. dissertation, Bonn University, Bonn, Germany.
- [66] Gao, H., Qi, G., Yin, R., Zhang, H., Li, C., Zhao, X. (2016): *Bacillus cereus* strain S2 shows high nematicidal activity against *Meloidogyne incognita* by producing sphingosine. *Scientific reports* 6: 28756.
- [67] Khan, Z., Kim, S.G., Jeon, Y.H., Khan, H.U., Son, S. H., Kim, Y.H. (2008): A plant growth promoting rhizobacterium, *Paenibacillus polymyxa* strain GBR-1, suppresses root-knot nematode. *Bioresource Technology* 99(8): 3016-3023.

- [68] Susič, N., Janežič, S., Rupnik, M., Stare, B.G. (2020): Whole genome sequencing and comparative genomics of two nematicidal *Bacillus* strains reveals a wide range of possible virulence factors. *G3: Genes, Genomes, Genetics* 10(3): 881-890.
- [69] Husseiny, S.M. (2008): Biodegradation of the reactive and direct dyes using Egyptian isolates. *Journal of Applied Sciences Research* 4(6): 599-606.
- [70] Shibulal, B., Al-Bahry, S. N., Al-Wahaibi, Y. M., Elshafie, A. E., Al-Bemani, A. S., Joshi, S.J. (2018): Microbial-enhanced heavy oil recovery under laboratory Conditions by *Bacillus firmus* BG4 and *Bacillus halodurans* BG5 isolated from heavy oil fields. *Colloids and Interfaces* 2(1): 1.
- [71] Keren-Zur, M., Antonov, J., Bercovitz, A., Feldman, K., Husid, A., Kenan, G., Marcov, N. Rebhun, M. (2000): *Bacillus firmus* formulations for the safe control of root-knot nematodes. In *The BCPC Conference: Pests and diseases, Volume 1. Proceedings of an international conference held at the Brighton Hilton Metropole Hotel, Brighton, UK, 13-16 November 2000* (pp. 47-52). British Crop Protection Council.
- [72] Mendoza, A.R., Kiewnick, S., Sikora, R.A. (2008): In vitro activity of *Bacillus firmus* against the burrowing nematode *Radopholus similis*, the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* and the stem nematode *Ditylenchus dipsaci*. *Biocontrol Science and Technology* 18(4): 377-389.
- [73] Mendoza, A. R., Sikora, R.A. (2009): Biological control of *Radopholus similis* in banana by combined application of the mutualistic endophyte *Fusarium oxysporum* strain 162, the egg pathogen *Paecilomyces lilacinus* strain 251 and the antagonistic bacteria *Bacillus firmus*. *Biocontrol* 54(2): 263-272.
- [74] Giannakou, I.O., Karpouzas, D.G., Prophetou-Athanasiadou, D. (2004): A novel non-chemical nematicide for the control of root-knot nematodes. *Applied Soil Ecology* 26(1): 69-79.
- [75] Terefe, M., Tefera, T., Sakhuja, P.K. (2009): Effect of a formulation of *Bacillus firmus* on root-knot nematode *Meloidogyne incognita* infestation and the growth of tomato plants in the greenhouse and nursery. *Journal of Invertebrate Pathology* 100(2): 94-99.
- [76] Söğüt. M. A., Göze. F. G., Uysal. G., Bozdoğan. V., Aksoy. A. (2015): Efficacy of Velum Prime® SC 400 in cucumber and tomatoes against *Meloidogyne incognita* in Turkey. XVIII. International Plant Protection Congress. 24-27 August 2015 Berlin. Germany. p.465.
- [77] Valencia, L.M. (2016): *Bacillus firmus* for the biological control of *Meloidogyne hapla* and *Xiphinema americanum*. Master thesis. West Virginia University USA.
- [78] Uysal. G., Pembroke B. Murdoch, A. (2019): The effect of applications of the biological control organism, *Bacillus firmus* strain I-1582, on Northern root- knot nematode, *Meloidogyne hapla*, on tomato. *Advances in Nematology Conference*, 10 Dec. 2019, Science & Advice for Scottish Agriculture (SASA), Edinburgh, UK.
- [79] Geng, C., Nie, X., Tang, Z., Zhang, Y., Lin, J., Sun, M., Peng, D. (2016): A novel serine protease, Sep1, from *Bacillus firmus* DS-1 has nematicidal activity and degrades multiple intestinal-associated nematode proteins. *Scientific Reports* 6(1): 1-12.
- [80] Castillo, J.D., Lawrence, K. S., Kloepper, J.W. (2013): Biocontrol of the reniform nematode by *Bacillus firmus* GB-126 and *Paecilomyces lilacinus* 251 on cotton. *Plant Disease* 97(7): 967-976.
- [81] Blachinsky, D., Antonov, J., Bercovitz, A., El-ad, B., Feldman, K., Husid, A., Keren-Zur, M. (2007): BioNem WP: a unique tool for nematode control. *IOBC WPRS Bulletin* 30(6/2): 23.
- [82] Giannakou, I.O., Anastasiadis, I.A., Gowen, S.R., Prophetou-Athanasiadou, D.A. (2007): Effects of a non-chemical nematicide combined with soil solarization for the control of root-knot nematodes. *Crop Protection* 26(11): 1644-1654.
- [83] Xiong, J., Zhou, Q., Luo, H., Xia, L., Li, L., Sun, M. and Yu, Z. (2015): Systemic nematicidal activity and biocontrol efficacy of *Bacillus firmus* against the root-knot



- nematode *Meloidogyne incognita*. World Journal of Microbiology and Biotechnology 31(4): 661-667.
- [84] d'Errico, G., Marra, R., Crescenzi, A., Davino, S. W., Fanigliulo, A., Woo, S. L., & Lorito, M. (2019): Integrated management strategies of *Meloidogyne incognita* and *Pseudopyrenochaeta lycopersici* on tomato using a *Bacillus firmus*-based product and two synthetic nematicides in two consecutive crop cycles in greenhouse. Crop Protection 122: 159-164.
- [85] Vary, P.S., Biedendieck, R., Fuerch, T., Meinhardt, F., Rohde, M., Deckwer, W. D., Jahn, D. (2007): *Bacillus megaterium* from simple soil bacterium to industrial protein production host. Applied microbiology and biotechnology 76(5): 957-967.
- [86] Gu, Y.Q., Mo, M.H., Zhou, J.P., Zou, C.S., Zhang, K.Q. (2007): Evaluation and identification of potential organic nematicidal volatiles from soil bacteria. Soil Biology and Biochemistry 39(10): 2567-2575.
- [87] Oliveira, D.F., Carvalho, H.W., Nunes, A.S., Campos, V.P., Silva, G.H., Campos, V.A. (2009): Active substances against *Meloidogyne exigua* produced in a liquid medium by *Bacillus megaterium*. Nematologia Brasileira 33(4): 271-277.
- [88] Huang, Y., Xu, C., Ma, L., Zhang, K., Duan, C., Mo, M. (2010): Characterisation of volatiles produced from *Bacillus megaterium* YFM3.25 and their nematicidal activity against *Meloidogyne incognita*. European Journal of Plant Pathology 126(3): 417-422.
- [89] Hammad, E.A., Zaid, A. M.A. (2007): Biological control of root-knot nematode *Meloidogyne javanica* on sunflower plants by *Trichoderma album* and *Bacillus megaterium*. Journal of Agricultural Sciences, Mansoura University 32: 4747-4756.
- [90] Al-Rehiyani, S., Hafez, S.L., Thornton, M., Sundararaj, P. (1999): Investigation-Research: Effects of *Pratylenchus neglectus*, *Bacillus megaterium*, and oil radish or rapeseed green manure on reproductive potential of *Meloidogyne chitwoodi* on potato. Nematopica 29(1): 37-49.
- [91] Padgham, J.L., Sikora, R.A. (2007): Biological control potential and modes of action of *Bacillus megaterium* against *Meloidogyne graminicola* on rice. Crop Protection 26(7): 971-977.
- [92] El-Hadad, M.E., Mustafa, M.I., Selim, S.M., El-Tayeb, T.S., Mahgoob, A.E.A., Aziz, N.H.A. (2011): The nematicidal effect of some bacterial biofertilizers on *Meloidogyne incognita* in sandy soil. Brazilian Journal of Microbiology 42(1): 105-113.
- [93] Radwan, M.A., Farrag, S.A.A., Abu-Elamayem, M.M., Ahmed, N.S. (2012): Biological control of the root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* on tomato using bioproducts of microbial origin. Applied Soil Ecology 56: 58-62.
- [94] Aida, M., Khalil, A.E.M., Allam, A.D.A., Mostafa, R.G. (2015): Effect of the Bio-agents (*Bacillus megaterium* and *Trichoderma album*) on Citrus Nematode (*Tylenchulus semipenetrans*) Infecting Baladi orange and Lime Seedlings. Journal of Phytopathology and Pest Management 2(2):1-8.
- [95] Mostafa, F.A., Khalil, A.E., El-Deen, A. H.N., Ibrahim, D.S. (2018): The role of *Bacillus megaterium* and other bio-agents in controlling root-knot nematodes infecting sugar beet under field conditions. Egyptian Journal of Biological Pest Control 28(1): 66.
- [96] Siddiqui, I.A., Shaukat, S.S. (2003): Suppression of root-knot disease by *Pseudomonas fluorescens* CHA0 in tomato: importance of bacterial secondary metabolite, 2, 4-diacetylphloroglucinol. Soil Biology and Biochemistry 35(12): 1615-1623.
- [97] Couillerot, O., Prigent-Combaret, C., Caballero-Mellado, J., Moëgne-Loccoz, Y. (2009): *Pseudomonas fluorescens* and closely-related fluorescent pseudomonads as biocontrol agents of soil-borne phytopathogens. Letters in Applied Microbiology 48(5): 505-512.
- [98] Seenivasan, N., David, P.M.M., Vivekanandan, P., Samiyappan, R. (2012): Biological control of rice root-knot nematode, *Meloidogyne graminicola* through mixture of *Pseudomonas fluorescens* strains. Biocontrol Science and Technology 22(6): 611-632.

- [99] Lee, J.H., Ma, K.C., Ko, S.J., Kang, B.R., Kim, I.S. Kim, Y.C. (2011): Nematicidal activity of a nonpathogenic biocontrol bacterium, *Pseudomonas chlororaphis* O6. *Current Microbiology* 62: 746-751.
- [100] Thiyagarajan, S.S., Kuppusamy, H. (2014): Biological control of root knot nematodes in chillies through *Pseudomonas fluorescens*'s antagonistic mechanism. *Plant Science* 2: 152-158.
- [101] Lamovšek, J., Urek, G., Trdan, S. (2013): Biological control of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.): microbes against the pests. *Acta Agriculturae Slovenica* 101(2): 263-275.
- [102] Seenivasan, N. (2017): Combined application of *Pseudomonas fluorescens* and *Purpureocillium lilacinum* liquid formulations to manage *Globodera* spp on potato. *Journal of Crop Protection* 6(4):529–537.
- [103] Selvaraj, S., Ganeshamoorthi, P., Anand, T., Raguchander, T., Seenivasan, N., Samiyappan, R. (2014): Evaluation of a liquid formulation of *Pseudomonas fluorescens* against *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense and *Helicotylenchus multicinctus* in banana plantation. *BioControl* 59(3): 345-355.
- [104] Manikandan, R., Saravanakumar, D., Rajendran, L., Raguchander, T., Samiyappan, R. (2010): Standardization of liquid formulation of *Pseudomonas fluorescens* Pfl for its efficacy against *Fusarium wilt* of tomato. *Biological Control* 54(2): 83-89.
- [105] Nagachandrabose, S. (2020): Management of Potato Cyst Nematodes Using Liquid Bioformulations of *Pseudomonas fluorescens*, *Purpureocillium lilacinum* and *Trichoderma viride*. *Potato Research* 1-18.
- [106] Subuthi R.P., Das, N. Barik, S. (2019): Effect of *Bacillus pumilus*, *Bacillus subtilis* and *Pseudomonas fluorescens* on plant growth parameters of rice infected by root-knot nematode (*Meloidogyne graminicola*). *The Pharma Innovation Journal* 8(7): 412-414.
- [107] Feitelson, J. S. (1993): The *Bacillus thuringiensis* family tree. *Advanced engineered pesticides* 63-71.
- [108] Wei, J. Z., Hale, K., Carta, L., Platzer, E., Wong, C., Fang, S.C., Aroian, R.V. (2003): *Bacillus thuringiensis* crystal proteins that target nematodes. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 100(5): 2760-2765.
- [109] Höfte, H., Whiteley, H.R. (1989): Insecticidal crystal proteins of *Bacillus thuringiensis*. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 53(2): 242-255.
- [110] Van Frankenhuyzen, K. (2009): Insecticidal activity of *Bacillus thuringiensis* crystal proteins. *Journal of Invertebrate Pathology* 101(1): 1-16.
- [111] Salehi Jouzani, G., Seifinejad, A., Saedizadeh, A., Nazarian, A., Yousefloo, M., Soheilvand, S., Akbari, S. (2008): Molecular detection of nematicidal crystalliferous *Bacillus thuringiensis* strains of Iran and evaluation of their toxicity on free-living and plant-parasitic nematodes. *Canadian Journal of Microbiology* 54(10): 812-822.
- [112] Li, X.Q., Tan, A., Voegtline, M., Bekele, S., Chen, C.S., Aroian, R.V. (2008): Expression of Cry5B protein from *Bacillus thuringiensis* in plant roots confers resistance to root-knot nematode. *Biological Control* 47(1): 97-102.
- [113] Barrows, B.D., Griffiths, J.S., Aroian, R.V. (2007): Resistance is non-futile: resistance to Cry5B in the nematode *Caenorhabditis elegans*. *Journal of Invertebrate Pathology* 95(3): 198-200.
- [114] Khan, M.Q., Abbasi, M.W., Zaki, M.J., Khan, S.A. (2010): Evaluation of *Bacillus thuringiensis* isolates against root-knot nematodes following seed application in okra and mungbean. *Pakistan Journal of Botany* 42(4): 2903-2910.
- [115] Khan, M.Q., Abbasi, M.W., Zaki, M.J., Khan, D. (2011): Control of root-knot nematodes and amelioration of egg plant growth by the combined use of *Bacillus thuringiensis* berliner and nematicides. *FUUAST Journal of Biology* 1(2): 83-86.
- [116] Mohammed, S.H., El Saedy, M.A., Enan, M.R., Ibrahim, N.E., Ghareeb, A., Moustafa, S.A. (2008): Biocontrol efficiency of *Bacillus thuringiensis* toxins against root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*. *Journal of Cell and Molecular Biology* 7(1): 57-66.

- [117] Ravari, S.B., Moghaddam, E.M. (2015): Efficacy of *Bacillus thuringiensis* Cry14 toxin against root knot nematode, *Meloidogyne javanica*. *Plant Protection Science* 51(1): 46-51.
- [118] Höss, S., Arndt, M., Baumgarte, S., Tebbe, C.C., Nguyen, H. T., Jehle, J.A. (2008): Effects of transgenic corn and Cry1Ab protein on the nematode, *Caenorhabditis elegans*. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 70(2): 334-340.
- [119] Karuri, H., Amata, R., Amugune, N., Waturu, C. (2013): Effect of Bt cotton expressing Cry1Ac and Cry2Ab2 protein on soil nematode community assemblages in Mwea, Kenya. *Journal of Animal and Plant Sciences* 19(1): 2864-2879.
- [120] Sülü, S. M., Bozkurt, İ. A. Soylu, S. (2016): Bitki büyüme düzenleyici ve biyolojik mücadele etmeni olarak bakteriyel endofitler. *Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 21(1): 103-111.
- [121] Malinowski, D.P., Belesky, D.P. (1999): Neotyphodium coenophialum-endophyte infection affects the ability of tall fescue to use sparingly available phosphorus. *Journal of Plant Nutrition* 22(4-5): 835-853.
- [122] Berg, G., Hallmann, J. (2006): Control of plant pathogenic fungi with bacterial endophytes. In *Microbial root endophytes* (pp. 53-69). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [123] Deng, Z.S., Zhao, L.F., Kong, Z.Y., Yang, W.Q., Lindström, K., Wang, E.T., Wei, G.H. (2011): Diversity of endophytic bacteria within nodules of the *Sphaerophysa salsula* in different regions of Loess Plateau in China. *FEMS microbiology ecology* 76(3): 463-475.
- [124] Benhamou, N., Gagné, S., Le Quéré, D., Dehbi, L. (2000): Bacterial-mediated induced resistance in cucumber: beneficial effect of the endophytic bacterium *Serratia plymuthica* on the protection against infection by *Pythium ultimum*. *Phytopathology* 90(1): 45-56.
- [125] Harni, R., Supramana, S., Supriadi, S. (2012): Potential use of endophytic bacteria to control *Pratylenchus brachyurus* on Patchouli. *Indonesian Journal of Agricultural Science* 13(2): 86-95.
- [126] Backman, P.A., Sikora, R.A. (2008): Endophytes: an emerging tool for biological control. *Biological Control* 46(1): 1-3.
- [127] Munif, A., Hallmann, J., Sikora, R.A. (2000): Evaluation of the biocontrol activity of endophytic bacteria from tomato against *Meloidogyne incognita*. *Mededelingen-Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen, Universiteit Gent* 65(2b): 471-480.
- [128] Sturz, A.V., Kimpinski, J. (2004): Endoroot bacteria derived from marigolds (*Tagetes* spp.) can decrease soil population densities of root-lesion nematodes in the potato root zone. *Plant and Soil* 262(1-2): 241-249.
- [129] Harni, R., Supramana, S., Sinaga, M.S., Giyanto, G., Supriadi, S. (2010): Pengaruh filtrat bakteri endofit terhadap mortalitas, penetasan telur dan populasi nematoda peluca akar *Pratylenchus brachyurus* pada nilam. *Industrial Crops Research Journal* 16(1): 43-47.
- [130] Harni, R., Supramana, S., Sinaga, M.S., Giyanto, G., Supriadi, S. (2011): Keefektifan Bakteri Endofit Untuk Mengendalikan Nematoda *Pratylenchus brachyurus* Pada Tanaman Nilam. *Jurnal Penelitian Tanaman Industri* 17(1): 6-10.
- [131] Hallmann, J., Quadt-Hallmann, A., Rodriguez-Kabana, R., Kloepper, J.W. (1998): Interactions between *Meloidogyne incognita* and endophytic bacteria in cotton and cucumber. *Soil Biology and Biochemistry* 30(7): 925-937.
- [132] Huang, X., Tian, B., Niu, Q., Yang, J., Zhang, L., Zhang, K. (2005): An extracellular protease from *Brevibacillus laterosporus* G4 without parasporal crystals can serve as a pathogenic factor in infection of nematodes. *Research in Microbiology* 156(5-6): 719-727.
- [133] Tian, B.Y., Li, N., Lian, L.H., Liu, J.W., Yang, J.K., Zhang, K.Q. (2006). Cloning, expression and deletion of the cuticle-degrading protease BLG4 from nematophagous bacterium *Brevibacillus laterosporus* G4. *Arch Microbiol* 186: 297-305.
- [134] Omarjee, J., Balandreau, J., Spaull, V.W., Cadet, P. (2008): Relationships between Burkholderia populations and plant parasitic nematodes in sugarcane. *Applied Soil Ecology* 39(1): 1-14.

- [135] Tahseen, Q., Clark, I.M. (2014): Attraction and preference of bacteriophagous and plant-parasitic nematodes towards different types of soil bacteria. *Journal of Natural History* 48(25-26): 1485-1502.
- [136] Vicente, C.S.L., Nascimento, F., Espada, M., Mota, M., Oliveira, S. (2011): Bacteria associated with the pinewood nematode *Bursaphelenchus xylophilus* collected in Portugal. *Antonie Van Leeuwenhoek* 100: 477–481.
- [137] Vicente, C.S.L., Nascimento, F., Espada, M., Barbosa, P., Mota, M., Glick, B.R. (2012): Characterization of bacteria associated with pinewood nematode *Bursaphelenchus xylophilus*. *PLoS One* 7: e46661.
- [138] Nascimento, F.X., Espada, M., Barbosa, P., Rossi, M.J., Vicente, C. S., Mota, M. (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.