کاربرد باکتری‌ها در مبارزه زیستی با نماتدهای انگل گیاهی

محمد عبدالهی ✉ و نگین اکرمی‌پور
دانشیار و دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۲/۲٤

عبدالهی م. و اکرمی‌پور ن. ۱۳۹۳. کاربرد باکتری‌ها در مبارزه زیستی با نماتدهای انگل گیاهی . *دانش بیماری‌شناسی گیاهی* ۳(۲): ۲۰-۱.

چکیده

نماتدهای انگل گیاهی در بسیاری از مناطق جهان موجب خسارت اقتصادی به انواع محصولات کشاورزی می‌شوند. بعضی از این نماتدها در خاک تحت تاثیر باکتری‌های متعارض قرار می‌گیرند و همین موضوع امکان استفاده از این باکتری‌ها را در مبارزه زیستی با آن‌ها فراهم کرده است. باکتری‌ها به شیوه‌های مختلفی از جمله سرکوب مستقیم نماتدها، افزایش رشد گیاه، افزایش جمعیت در فراریشه و فعالیت تعارضی، بر نماتدها اثر می‌گذارند. به طور کلی، با در نظر گرفتن نحوه تأثیر باکتری‌ها بر نماتدها، آن‌ها به گروه‌های انگل کننده، تولیدکننده زهرابه، مواد پادزیستی و آنزیم‌ها و افزایش‌دهنده‌ی رشد گیاهان تقسیم‌بندی شده‌اند. بر اساس پژوهش‌های انجام شده این باکتری‌ها در گروه‌های نماتدخوار، فرصت‌طلب، حاضر در فراریشه، درون‌رست، همزیست با نماتدهای بیمارگر حشرات و تشکیل دهنده‌ی پروتیین‌های کریستالی قرار داده شده‌اند. همچنین امکان کاربرد تلفیقی باکتری‌ها با بعضی ریزجانداران متعارض دیگر در مبارزه زیستی با نماتدهای انگل گیاهی نیز به اثبات رسیده است.

واژه‌های کلیدی: باکتری، متعارض، نماتد، *Pasteuria*، *Meloidogyne*

مقدمه

نماتدها از متنوع‌ترین جانوران پُرسلولی در کره‌ی زمین با یک میلیون گونه‌ی تخمین‌زده شده و بیش از ۲٦۰۰۰ گونه‌ی شناخته‌شده می‌باشند (Hugot *et al*. 2001). نماتدهای انگل گیاهی از آفات مهم در بسیاری از مناطق مختلف جهان، به خصوص کشورهای نواحی گرمسیری و نیمه‌گرمسیری به شمار می‌آیند که گاهی موجب نابودی برخی محصولات می‌شوند. درجه خسارت به تراکم جمعیّت نماتد موجود، حساسیت میزبان، شرایط محیطی از قبیل

✉ پست الکترونیک: abdollahi@yu.ac.ir

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.22519270.1393.3.2.1.9]

حاصلخیزی، رطوبت و درصدی از موجودات بیمارگر که ممکن است با نماتدها هم‌کنش داشته باشند، بستگی دارد. میانگین خسارت نماتدهای انگل گیاهی در ٤٠ محصول عمده کشاورزی دنیا، ١٢/٣ درصد است که در کشورهای در حال توسعه ١٤/٦ درصد و در کشورهای توسعه یافته ٨/٨ درصد تخمین‌زده شده است (Sasser 1989). زیان‌های ناشی از نماتدهای انگل گیاهی بالغ بر ٧٨ میلیارد دلار آمریکا در تمام دنیا است (Hewlett *et al*. 2003).

مدیریت نماتدها از سایر آفات سخت‌تر است زیرا که پناهگاه اصلی آن‌ها خاک بوده و معمولاً قسمت‌های زیرزمینی گیاه را که از دید ما پنهان هستند، مورد حمله قرار می‌دهند (Striling 1991). مبارزه شیمیایی هزینه اقتصادی بالایی دارد و می‌تواند آلودگی‌های زیست محیطی را به دنبال داشته باشد (Schneider *et al*. 2003). بنابراین، در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی در مورد مبارزه زیستی با نماتدها صورت گرفته است. از جمله عوامل مؤثر در این مبارزه میزبان، عامل بیماری، شرایط محیطی و جاندار متعارض است (Gnanamanickam *et al*. 2002). از آنجا که باکتری‌ها به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل متعارض شناخته شده‌اند،در این مقاله کاربرد آن‌ها در مبارزه با نماتدها بررسی می‌شود.

١- برهمکنش نماتدها و باکتری‌ها

باکتری‌ها روی گونه‌های مختلفی از نماتدها ازجمله نماتدهای آزاد، شکارگر و انگل گیاهی اثر می‌کنند (Mankau 1980, Striling 1991 Siddiqui & Mahmood 1999). همین موضوع امکان استفاده از آن‌ها را در مبارزه با نماتدهای انگل گیاهی فراهم کرده است (Mankau 1980 , Jatala 1986).

٢- انواع باکتری‌های متعارض نماتدها

بر اساس نحوه اثر باکتری‌های خاکزی بر نماتدها، آن‌ها به باکتری‌های نماتدخوار، تولیدکننده زهرابه (Toxin)، آنتی‌بیوتیک و آنزیم و افزایش دهنده‌ی رشد گیاه تقسیم‌بندی می‌شوند.

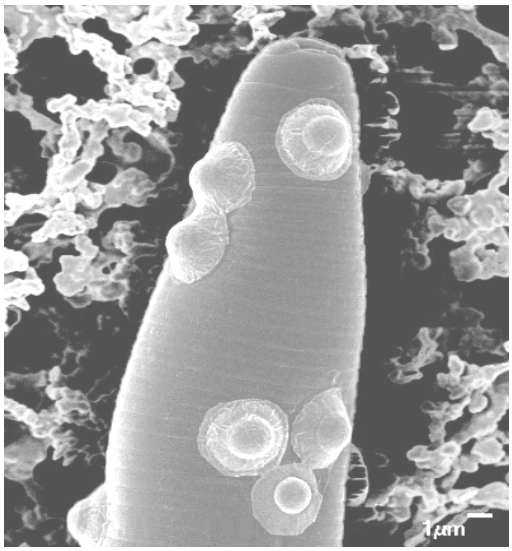
٢-١- باکتری‌های نماتدخوار یا انگل

برخی باکتری‌ها با حالت انگلی موجب از بین رفتن نماتدها می‌شوند. باکتری ***Pasteuria penetrans*** از

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.22519270.1393.3.2.1.9]

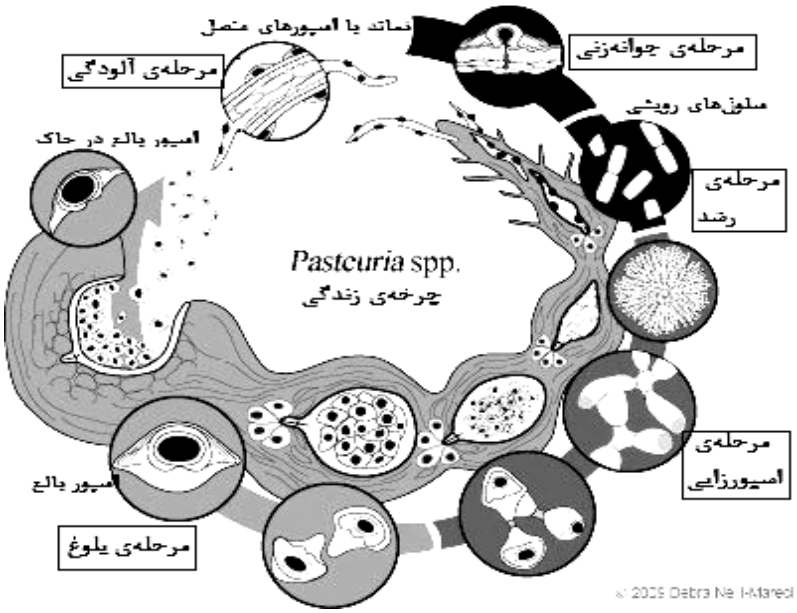
باکتری‌های انگل نماتدها است. گونه‌های جنس *Pasteuria* انگل اجباری، گرم مثبت و جزو باکتری‌های حقیقی (Eubacteria) هستند (Anderson *et al*. 1999). اولین بار گونه‌ای از *Pasteuria* در سال ۱۸۸۸ به عنوان انگل از *Daphnia* و سپس در ۱۹۰۶ از *Dorylaimus bulbiferous* جدا شد. اعضای این جنس ۳۲۳ گونه متعلق به ۱۱۶ جنس از نماتدهای انگل گیاهی و آزاد را آلوده می‌کنند (Chen & Dickson 1998). این باکتری‌ها اغلب انگل نماتدهای گیاهی، هستند، به طوری که گونه *P. penetrans* انگل نماتدهای غده ریشه جنس *Meloidogyne* و *P. thornei* انگل نماتدهای مولد زخم *Pratylenchus* spp. است و *P. nishizawae* سیست نماتدهای *Heterodera* sp. و *Globodera* sp. را مورد حمله قرار می‌دهد(Bird *et al*. 2003). نحوه‌ی آلودگی نماتد توسط باکتری *Pasteuria penetrans*، در ۵ مرحله هم‌زمان با شروع رشد میزبان و تنها زمانی که لارو سن ۲ به درون خاک مهاجرت کرده آغاز و اندوسپورها به سرتاسر بدن آن می‌چسبند(شکل۱). در مرحله‌ی اتصال باکتری به کوتیکول نماتد، فیبرهای روی سطح اندوسپور با گیرنده‌های سطح کوتیکول نماتد متصل می‌شوند. معمولاً اسپورهای هر گونه از *Pasteuria* دامنه‌ی میزبانی محدودی دارند، به عنوان مثال، میزبان *P. penetrans* گونه‌های *Meloidogyne*، میزبان *P. thornei* گونه‌های *Pratylenchus* و میزبان *P. nishizawae* گونه‌های *Heterodera* و *Globodera* هستند(Davies *et al*. 2001, Persidi *et al*. 1991, Striling *et al*. 1986).



شکل ۱- لارو نماتد *Meloidogyne* sp.، که باکتری *Pasteuria penetrans* به کوتیکول آن چسبیده است (Davis *et al*. 2008)

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.22519270.1393.3.2.1.9]

مرحله‌ی دوم، یا جوانه‌زنی (Germination stage) پس از اتصال اسپور به نماتـد و تغذیـه نماتـد از ریشـه، اسپور باکتری جوانه می‌زند و با تولید لوله رویشی کوتیکول نماتد را سوراخ می‌کند. البته لزوماً همگی این اتصـال‌هـا منجر به رشد و جوانه‌زنی اسپور نمی‌شود و تنها رشد کمتر از ۱۰ اسپور می‌تواند کافی باشد. مرحله‌ی سـوم یـا رشـد (Growth stage)، پرگنه‌های کوچک تولید شده از جوانه‌زنی اسپور رشـد و تکثیـر یافتـه و بـدن نماتـد مـاده را پـر می‌کنند. این اسپورها سبب تحلیل رفتن سیستم تولیدمثلی شده و مانع تولید تخم می‌شوند. در مرحله‌ی چهارم اسپورها به روش تقسیم دوتایی تولیدمثل کرده و بالغ می‌شوند. این مرحلـه، بلـوغ (Maturation stage) نـام دارد. مرحلـه‌ی پنجم آزادسازی اسپورها (Spore Release Stage) است. در درون بدن هر نماتد ماده آلوده بـیش از ۱۶۰ اندوسـپور تولید می‌شود که در نهایت پس از مرگ نماتد، بدن نماتد متلاشی شـده و اندوسـپورها خـارج مـی‌شـوند (شـکل۲). اسپورها در خاک آزاد شده و چرخه دوباره تکـرار مـی‌گـردد (Chen & Dickson 1997, Sayre & Starr 1988, Davies *et al*. 2006). گاهی بین ایجاد حوضچه‌ی غذایی و پوست انـدازی ثانویـه نماتـد، اندوسـپور جوانـه زده و شبه‌ریشه تولید می‌کند که در سرتاسر بدن نماتد گسترش می‌یابد. این شبه‌ریشه‌ها با رشد سـریع سـبب زوال سیسـتم تولیدمثلی نماتد می‌شوند. تولید اسپور همانند شیوه‌ی باسیلوس‌ها انجام می‌شود.



شکل ۲- چرخه‌ی زندگی انگلی باکتری *Pasteuria* sp. در نماتد غده ریشه (Huang *et al*. 2005)

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.22519270.1393.3.2.1.9]

در مورد امکان استفاده از این باکتری در مبارزه با نماتدها، علی‌رغم اینکه تلاش اولیه جهت کشت و تکثیرآزمایشگاهی *P. penetrans* موفقیت آمیز نبود ولی به تدریج روش‌هایی برای پشتیبانی از رشد و اسپوردهی این باکتری ابداع شده، با این وجود، همچنان مشکل مربوط به عدم اختصاصیت دامنه‌ی میزبانی باقی است (Reise *et al*. 1991). در سال ۲۰۰٤ تکثیر باکتری *P. usgae* در محیط کشت مصنوعی ابداع شده و به صورت تجارتی با نام Econem™ وارد بازار شده است، که به صورت تیمار بذر برای مبارزه با نماتد سیستی سویا کاربرد دارد (Wilson & Jackson 2013).

۲-۲- باکتری‌های فرصت‌طلب

معمولاً اکثر باکتری‌های نماتدخوار به جز باکتری‌های انگل گیاهی، به صورت گندرو زندگی می‌کنند و هدف آن‌ها از حمله به نماتدها، استفاده از این موجودات به عنوان منبع غذایی است. آن‌ها همچنین می‌توانند در برخی شرایط کوتیکول نماتد را سوراخ کرده و آن را از بین ببرند. به همین دلیل به آن‌ها باکتری‌های فرصت طلب (Opportunistic parasitic bacteria) گویند (جدول ۱).

در چین باکتری *Brevibacillus laterosporus* G4 از نمونه‌های خاک جدا شده و اثر انگلی آن روی نماتدهای *Panagrellus-redivius* و *Bursaphelenchus xylophilus* مورد بررسی قرار گرفته است. این باکتری پس از حمله به اپیدرم نماتد میزبان، سریعاً تکثیر یافته و سبب هضم کوتیکول و ایجاد یک حفره در بدن نماتد می‌شود. بافت‌های نماتد توسط آنزیم‌های هیدرولیتیک از جمله آلکالین سرین پروتئاز تخریب می‌شوند (Tian *et al*. 2007, Huang *et al*. 2005). باکتری*Bacillus firmus* نیز یک باکتری گرم مثبت و تولید کننده

جدول۱- فعالیت تعارضی باکتری‌های فرصت‌طلب بر علیه نماتدها

باکتری	نماتد هدف	نحوه عمل	منبع
Brevibacillus laterosporus G4	*Panagrellus redivius, Bursaphelenchus xylophilus*	تولید آلکالین پروتئازبرون سلولی BLG4	Huang *et al*. 2005, Tian *et al*. 2007
Bacillus B16	*Panagrellus redivius, Bursaphelenchus xylophilus*	Neutral protease Bae 16	Qiuhong *et al*. 2006

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.22519270.1393.3.2.1.9]

اسپور و بعضی جدایه‌های آن دارای فعالیت ضدنماتدی هستند. این باکتری کیسه تخم نماتد *Meloidogyne* spp. را تخریب کرده و در برخی مواقع از زهرابه نیز استفاده می‌کند. اخیراً دو محصول VOTiVO™ و Nortica™ از این باکتری جهت تیمار بذر در آمریکا به بازار عرضه شده است (Lamovsek *et al*. 2013).

۲-۳- باکتری‌های منطقه‌ی فرایشه

باکتری‌های منطقه‌ی فرایشه (Rhizobacteria) و باکتری‌های درون‌رُست به عنوان فعال‌کننده عوامل مبارزه زیستی و افزایش‌دهنده‌ی رشد گیاهان مورد استفاده قرار می‌گیرند (Sikora 1992). برخی از باکتری‌های محیط ریشه تحت نام عمومی باکتری‌های تقویت‌کننده‌ی رشد گیاه (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) شناخته می‌شوند (Compant *et al*. 2005, Giannakou *et al*. 2004). این باکتری‌ها اطراف ریشه، سطح ریشه یا درون ریشه را کلنیزه می‌کنند (Glick 1995). کلنیزه‌کنندگان قوی ریشه موجوداتی هستند که به فضای بین سلولی لایه‌ی اپیدرم و بافت پوست نفوذ کرده و یا محکم به سطح ریشه می‌چسبند و با شُستن شدید نیز حذف نمی‌شوند (Hass & Defago 2005). خصوصیاتی مانند تحرک، تولید تار یا تارچه، سرعت رشد، جذب شیمیایی (Chemotoxy) به سمت ترشحات ریشه، میزان جمعیّت، توانایی استفاده از ترکیبات خاص ترشحات ریشه، سن و رقم گیاه و شرایط محیطی، بر کلنیزاسیون موفق ریشه توسط باکتری تأثیر دارند (Roberts *et al*. 1994). ریزوباکترهایی که توانایی مهار نماتدهای ساکن را دارند، دارای این ویژگی‌ها می‌باشند:

۱- توانایی کلنیزه‌سازی سطح ریشه، ۲- توانایی استقرار درون‌رُستی در بافت ریشه، ۳- وابستگی به ترشحات ریشه (ریزوباکتری‌ها در مناطق خاص ریشه قادر به تغییر الگوهای ترشحی ریشه هستند و بنابراین روی مراحلی از زندگی نماتد که وابسته به این ترشحات است، تأثیر می‌گذارند)، ٤- استقرار در نزدیکی نوک ریشه، در محل ظهور ریشه‌های ثانویه (نماتدهای ساکن به سمت نوک ریشه‌ها تمایل دارند و میزبان را در این نواحی تشخیص داده و نفوذ می‌کنند).
۵- به طور مستقیم و غیرمستقیم رشد گیاه را افزایش می‌دهند. سازوکارهای مستقیم آن‌ها شامل فراهم آوردن فسفر قابل جذب، تثبیت نیتروژن، اخذ و جذب آهن برای گیاه (به واسطه‌ی تولید سیدروفورها و هورمون‌های گیاهی) است. سازوکارهای غیرمستقیم شامل تولید آنتی‌بیوتیک، کاهش آهن قابل دسترس بیمارگرهای گیاهی در فرایشه، ساخت آنزیم‌های تجزیه کننده‌ی دیواره سلولی، ساخت آنزیم کیتیناز (جهت هیدرولیز لایه کیتین دیواره‌ی تخم حشرات و

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.22519270.1393.3.2.1.9]

نماتدها) و رقابت با موجودات مضر (جهت اشغال مکان‌های تغذیه‌ای و القای مقاومت فراگیر علیه بیمارگرهای مختلف گیاهی) می‌باشد. انواع سویه‌های این باکتری‌ها می‌توانند یک یا بیش از یک سازوکار را درون فرایشه انجام دهند. کاربرد ترکیبات آروماتیک مانند بنزآلدهید (Benzaldehyde) و سیترال (Citral) سبب افزایش جمعیت باکتری‌های تقویت کننده رشد گیاه در خاک و افزایش توان بازدارندگی خاک می‌شوند (Hass & Defago 2005, Dowling & O'Gara 1994). گونه‌های ۲ جنس *Bacillus* و *Pseudomonas* توانایی تعارضی بیشتری در فرایشه دارند. این ریزوباکتری‌ها جمعیت نماتدها را با سازوکارهای مختلفی از جمله تولید آنتی‌بیوتیک، متابولیت‌های ثانویه و آنزیم‌ها، ایجاد مقاومت فراگیر و رقابت غذایی کاهش می‌دهند (جدول ۲). تولید آنتی‌بیوتیک از سازوکارهای اصلی مبارزه زیستی در سودوموناس‌های فلورسنت می‌باشد که در غلظت‌های پائین و با تأثیر روی سیستم‌های حیاتی موجودات سبب مرگ و یا توقف رشد آن‌ها می‌شوند (Handelsman & Stabb 1996). گزارش شده که فنازین (فنازین ۱-کربوکسیلیک اسید، فنازین ۱-کربوکسامید)، ۲و٤ دی استیل فلوروگلوسینول، پیولوتئورین، پیرولنیترین شناسایی شده در باکتری‌های گرم منفی متعارض، به ویژه سودوموناس‌های فلورسنت می‌باشند (جدول ۳). آنتی‌بیوتیک‌های کانوزامین و زویتمایسین نیز به وسیله‌ی *Bacillus cereus* تولید می‌شوند. همچنین عوامل محیطی نیز در بیوسنتز ترکیبات ضد میکروبی توسط این باکتری‌ها تاثیر دارند(Keel & Defago 1997).

از سایر ریزوباکتری‌های متعارض نماتدها می‌توان از گونه‌های جنس‌های *Corynebacterium*، *Clavibacter*، *Burkhloderia*، *Arthrobacter*، *Agrobacterium*، *Rhizobium* و *Desulforibtio* نام برد (Glick 1995).

جدول ۲- فعالیت تعارضی باکتری‌های منطقه‌ی فرایشه بر علیه نماتدها

باکتری	نماتد هدف	نحوه عمل	منبع
Bacillus (بیش از ١٤ گونه) و *Pseudomonas* (بیش از ١١ گونه)	کاهش جمعیت نماتدهای مختلف در خاک	تولید آنتی‌بیوتیک، آنزیم‌ها و متابولیت‌های ثانویه، ایجاد مقاومت فراگیر و رقابت غذایی	Siddiqui & Mahmood 1999, Meyer *et al*. 2000, Kloepper *et al*. 1992

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.22519270.1393.3.2.1.9]

جدول ۳- فعالیت تعارضی باکتری‌های منطقه‌ی فاریشه با تولید آنتی‌بیوتیک بر علیه نماتدها.

باکتری	نحوه عمل	نماتد میزبان	تاثیر	منبع
Pseudomonas fluorescens	تولید ۲و٤ دی‌استیل فلوروگلوسینول	نماتدهای سیستی سیب‌زمینی	کاهش تحرک لاروها، افزایش مرگ و میر	Cronin *et al.* 1997
P. fluorescens جدایه CHA0	تولید ۲و٤ دی‌استیل فلوروگلوسینول	*M. javanica*	کاهش تفریخ تخم نماتدها و بلوغ لاروها	Siddiqui & Shaukat 2004; مجذوب و همکاران ۱۳۹۱
P. chlororaohis جدایه PA23	تولید آنتی‌بیوتیک فنازین (30 µl)	*M. incognita*	جلوگیری از تفریخ تخم نماتد	Kavitha *et al.* 2005

تولیدسیانید هیدروژن (HCN) نیز از متابولیت‌های ثانویه ریزوباکتری‌های متعارضی مانند *P. fluorescens*، *P. aeruginosa* و *Chromobacterium violaceum* است (Askeland & Morrison 1983, Knowles & Bunch 1986) (جدول ٤). برخی معتقدند که به دلیل وابسته بودن تولید سیانید هیدروژن به کمبود آهن و اثر کلاته‌کنندگی روی آن، یک سیدروفور محسوب می‌گردد. سیانید هیدروژن در رشد، ذخیره‌ی انرژی و یا متابولیسم اولیه شرکت ندارد ولی به‌طور کلی به عنوان یک متابولیت ثانویه در مبارزه زیستی نقش مؤثری ایفا می‌نماید (Vining 1990). سیانید هیدروژن از تولید انرژی به صورت بسته‌های ATP در مسیر تنفسی سیتوکروم اکسیداز ممانعت می‌کند. مقادیر اندک سیانید هیدروژن در حد میکرومولار، بازدارندگی شدیدی بر فعالیّت آنزیم سیتوکروم اکسیداز دارد (Lambers 1980). جدایه‌های باکتری‌های مولد سیانید هیدروژن می‌توانند به صورت مطمئن در مبارزه با عوامل بیمارگر خاکزی مورد استفاده قرار گیرند، زیرا بر سایر ریزجانداران خاک و یا رشد گیاهان اثر سوء ندارند (Bagnasco 1998). اسیدآمینه گلیسین، پیش‌ماده‌ی تولید سیانید هیدروژن می‌باشد. اکسیداسیون و حذف گروه کربوکسیل از گلیسین منجر به تولید دی‌اکسیدکربن و سیانید هیدروژن می‌گردد که آنزیمی به نام سنتز هیدروژن سیانید کاتالیزور این واکنش است. این آنزیم یک فلاووپروتیین (Flavoprotein) متصل به غشای باکتری می‌باشد که متعلق به گروه آنزیمی گلیسین‌دی‌هیدروژناز (Glycine dihydrogenase) می‌باشد. تحقیقات نشان داده که علاوه بر سیانید هیدروژن، متابولیت‌های ثانویه دیگری همچون اسیدبوتریک و سولفیدهیدروژن نیز اثر بازدارندگی بر فعالیّت نماتدها

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.22519270.1393.3.2.1.9]

جدول۴- فعالیت تعارضی باکتری‌های منطقه‌ی فراریشه با تولید سیانید هیدروژن بر علیه نماتدها

باکتری	نحوه عمل	نماتد میزبان	تاثیر	منبع
Pseudomonas fluorescens جدایه CHA0	تولید سیانید هیدروژن	*M. javanica*	تأثیر بر تفریخ تخم و سبب مرگ و میر لارو نماتد	Siddiqui *et al*. 2007

دارند، به طور مثال باکتری *Clostridium butyricum* با تولید اسیدبوتریک و باکتری *Desulfovibrio desulfaricans* با تولید سولفید هیدروژن باعث کاهش تکثیر نماتدها می‌شوند (Hollis & Rodriguez 1966).

آنزیم‌های کیتیناز و پروتئاز نیز از مهم‌ترین آنزیم‌های هیدرولیتیک می‌باشند که توسط باکتری‌های متعارض نماتدها ترشح می‌شوند (جدول ۵). برای مثال پوسته تخم در نماتدها شامل کیتین می‌باشد و وجود آنزیم کیتیناز می‌تواند بازدارنده‌ای برای تفریخ تخم آن باشد.

آهن یک عنصر حیاتی برای همه‌ی جانداران محسوب می‌شود. آهن به صورت کاتیون ۲ ظرفیتی توسط گیاه جذب می‌گردد. بنابراین، آهن ۳ ظرفیتی پیش از جابجایی به درون سیتوپلاسم، باید در سطح ریشه احیا شود. اغلب موجودات هوازی و بی‌هوازی اختیاری در شرایط کمبود آهن تولید ترکیباتی با وزن مولکولی پائین می‌کنند که تمایل زیادی به تشکیل کمپلکس با آهن ۳ظرفیتی دارند. این مواد سیدروفور یا حاملین آهن نامیده می‌شوند. سیدروفورها تقریباً توسط همه‌ی موجودات اعم از باکتری‌ها و قارچ‌های بیماری‌زای گیاهی و بسیاری از عوامل بیماری‌زای انسانی تولید می‌گردند. به طور کلی نقش‌هایی که تاکنون برای سیدروفورها شناخته شده شامل افزایش دهنده‌ی رشد گیاه، ارتباط با شدت بیماری‌زایی، مهارزیستی عوامل بیماری‌زای گیاهی و مقاومت القایی می‌باشد. تا به امروز ٤٤ نوع

جدول ۵- فعالیت تعارضی باکتری‌های منطقه‌ی فراریشه با تولید آنزیم‌های تجزیه کننده بر علیه نماتدها

باکتری	نحوه عمل	نماتد میزبان	تاثیر	منبع
Pseudomonas aeruginosa	تولید پروتئاز یا گلیکوپروتئاز	*Meloidogyne*	جلوگیری از فعالیّت نماتد	Cronin *et al*. 1997
B. ambifaria	تولید کیتیناز و پروتئاز	*M. incognita*	بازدارندگی از تفریخ تخم و حرکت لارو سن ۲	Lie *et al*. 2005
B. subtilis	فرمولاسیون همراه با کیتین	*M. incognita*	کاهش تولید گال و افزایش رشد ریشه‌ی گیاه (خربزه و فلفل)	Kokalis-Burelle & Samac 2002

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.22519270.1393.3.2.1.9]

سیدروفور در سودوموناس‌های فلورسنت کشف و شناسایی شده است که از بین آن‌ها می‌توان به سیدروفورهای پیووردین (Pyoverdin)، پیوکلین (Pyochelin) و مشتقات اسید سالسیلیک اشاره داشت. به این ترکیبات در باکتری‌های سودوموناس سودوباکتین (Pseudobactin) گفته می‌شود. محققین معتقدند که تولید سیدروفور برای هر گونه از سودوموناس‌ها اختصاصی است. سیدروفورها، آهن موجود در خاک را از دسترس بیمارگرها خارج می‌کنند و با این عمل بیمارگرها تحت شرایط کمبود آهن قرار می‌گیرند.در مورد آلودگی‌های نماتدی، سیدروفورها نقشی در کنترل آن‌ها توسط این باکتری‌ها ندارند. چون نماتدها انگل‌های اجباری هستند و مواد معدنی خود از قبیل آهن را از گیاه تأمین می‌کنند، بنابراین کمبود آهن تأثیری روی آن‌ها نمی‌گذارد. با این وجود سیدروفورها در حفظ سلامت گیاهان در برابر بیمارگرها از جمله نماتدهای انگل گیاهی، با تحریک رشد گیاه مؤثرند (Kloepper *et al*. 1992, Loper & Buyer 1991).

مقاومت القایی فراگیر(Induced Systemic Resistance=ISR) نیز می‌تواند توسط ریزوباکتری‌ها، در گیاهان بوجود آید درحالی‌که این مقاومت توسط عوامل دیگر القا شود، Systemic Acquired Resistance یا SAR نام دارد (Van Loon *et al*. 1998). مقاومت اکتسابی بیشترین میزان مقاومت گیاه بوده و ایجاد نکروز می‌کند، در حالی که مقاومت القایی نشانه‌های خشکیدگی روی میزبان گیاهی ایجاد نمی‌کند (Cameron *et al*. 1994) (جدول ٦).مقاومت القایی سیستمیک مقاومتی است که به تجمع اسید سالسیلیک وابسته نیست و فعالیّت ژن‌های وابسته به بیماری‌زایی یک مسیر پیام‌رسانی جدید را دنبال می‌کنند که در آن، اجزاء از پاسخ اتیلین و اسید جاسمونیک در تحریک یک واکنش دفاعی به کار گرفته می‌شوند. عوامل تعیین‌کننده‌ی باکتریایی که سبب ایجاد این مقاومت می‌شوند، شامل لیپوپلی‌ساکاریدها، سیدروفورها می‌باشند. طبق مطالعات، فروبردن ریشه نهال‌ها در سوسپانسیون *P. fluorescens*، سطح پرکسیداز را افزایش داد. تجمع پلی‌فنل اکسیداز (PolyPhenol Oxidase) و فنیل آلانین آمونیالیاز (Phenylalanine Ammonia Lyase) در ریشه‌های گوجه‌فرنگی بیانگر این بود که فرمولاسیون‌های باکتریایی باعث القای مقاومت فراگیرعلیه نماتد غده ریشه *M. javanica* شده‌اند (مختاری و همکاران ۱۳۸۸).

امروزه تعدادی از ریزوباکتری‌های به صورت محصولات تجارتی و به عنوان نماتدکش به اسامی زیر به بازار

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.22519270.1393.3.2.1.9]

جدول ۶- فعالیت تعارضی باکتری‌های ایجاد کننده مقاومت القایی فراگیر بر علیه نماتدها

منبع	تاثیر	نماتد میزبان	نحوه عمل	باکتری
مختاری و همکاران ۱۳۸۸. خلیفی و همکاران ۱۳۹۱	ایجاد مقاومت سیستمیک با کاهش تعداد توده تخم و متوسط تعداد تخم در هر توده تخم	*Meloidogyne javanica*	تولید ترکیبات دفاعی مثل فیتوآلکسین‌ها، ترکیبات فنلی، افزایش آنزیم‌های دفاعی مثل پراکسیداز	*Pseudomonas fluorescens*
Hallmann *et al*. 2001	جلوگیری زودهنگام آلودگی ناشی از نماتدها	*G. pallida* *M. incognita*	ایجاد مقاومت القایی با استفاده از لیپوپلی‌ساکاریدها	*Rhizobium etli* G12

عرضه شده‌اند:

۱. Deny : یک محصول از باکتری *Burkhloderia cepacia* است، که سبب کاهش تفریخ تخم نماتدها و بالغ شدن لاروها می‌شود (Meyer & Roberts 2002).

۲. Yield Bio و Gustafson LLC : شامل ۲ باکتری *Bacillus amyloliquefaciens* و *Paenobacillus macerans* است و برای مبارزه با نماتدهای انگل گیاهی در گوجه‌فرنگی، فلفل و توت‌فرنگی استفاده می‌شوند (Meyer *et al*. 2000).

۳. BioNem : شامل ۳٪ اسپورهای لیوفیلیزه‌ی *Bacillus firmus* و ۹۷٪ افزودنی‌های غیرسمی (عصاره گیاهی و حیوانی) است، که برای مهار نماتدهای غده ریشه استفاده می‌شود و بر طبق آزمایش‌های انجام شده، تأثیر آن حتی از *Pasteuria penetrans* بهتر است. عصاره‌های گیاهی و حیوانی افزوده شده به این محصول علاوه بر اثر ضد نماتدی، تأثیر محرکی بر جمعیّت موجودات ریزوسفر دارد (Giannakou & Prophetou-Athanasiadou 2004).

۲-۴- باکتری‌های درون‌رُست

این باکتری‌ها در ریشه و ساقه‌ی سبزیجات و میوه‌ها یافت می‌شوند اما به گیاه آسیبی نمی‌رسانند. آن‌ها سبب بهبود رشد گیاه شده و از پیشرفت بیماری‌های نماتدی جلوگیری می‌کنند (Hallmann *et al.* 2001). ریزوباکتری‌ها و باکتری‌های درون‌رُست سازوکارهای مشابهی را در مقابل نماتدها نشان می‌دهند (جدول ۷).

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.22519270.1393.3.2.1.9]

جدول ۷- فعالیت تعارضی باکتری‌های درون‌رست بر علیه نماتدها

منبع	نحوه عمل	نماتد هدف	باکتری
Hallmann *et al*. 2002, Shaukat *et al*. 2002, Compant *et al*. 2005	تولید زهرابه، ایجاد مقاومت فراگیر، افزایش رشد گیاه و رقابت غذایی	نماتدهای غده ریشه و مولد زخم	اکثر ریزوباکتری‌ها به عنوان باکتری‌های درون‌رُست معرفی می‌شوند.

۲-۵- باکتری‌های همزیست با نماتدهای بیمارگر حشرات

تعدادی از نماتدها انگل حشرات هستند (عبدالهی ۱۳۹۱). دو باکتری از جنس‌های *Xenorhabdus* و *Photorhabdus* که همزیست نماتدهای بیمارگر حشرات از جنس‌های *Steinernema* و *Heterorhabdus* هستند، می‌توانند با تولید زهرابه‌هایی ایندولی،آمونیومی یا استیلبنی سبب ایجاد محیطی سمی برای لارو سن ۲ نماتد غده ریشه و لارو سن ٤ نماتد پژمردگی کاج شوند و از تفریخ تخم‌های نماتد غده ریشه نیز جلوگیری کنند (جدول۸).

۲-۶-باکتری تشکیل دهنده‌ی پروتیین‌های کریستالی

باکتری *Bacillus thuringiensis* چند نوع پروتئین کریستالی (Cry Protein) تولید می‌کند. تا به حال ٦ نوع از آن‌ها برای لاروهای تعدادی از نماتدهای آزاد و انگل گیاهی مضرشناخته اند (Alejandra *et al*. 1998, Marroquin *et al*. 2000, Wei *et al*. 2003, Krotze *et al*. 2005).

۳- تلفیق چند جاندار متعارض در مبارزه با نماتدهای انگل گیاهی

تأثیر ۳ جدایه از باکتری‌های *P. fluorescence*، *Bacillus subtilis* و *Pantoea* sp. به صورت جداگانه و در ترکیب با هم روی رقم‌های خیار سوپرآملیا و رویال نشان داده که کاربرد توأم هر سه باکتری نسبت به استفاده از

جدول ۸- فعالیت تعارضی باکتری‌های همزیست با نماتدهای بیمارگر حشرات بر علیه نماتدهای انگل گیاهی.

منبع	نحوه عمل	نماتد هدف	جنس باکتری
Grewal *et al*. 1999, Lewis *et al*. 2001	تولید زهرابه‌های ایندولی،آمونیومی یا استیلبنی	*Bursaphelenchus xylophilus*, *M. incognita* and their eggs	*Xenorhabdus* and *Photorhabdus*

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.22519270.1393.3.2.1.9]

هر یک به صورت جداگانه و یا در ترکیب‌های دوتایی اثر بیشتری در افزایش شاخص‌های رویشی گیاه و کاهش شاخص‌های مربوط به نماتد غده ریشه از جمله تعدادغده و تولیدمثل آن دارد. همچنین جدایه CHA0 از باکتری *P. fluorescence* با کاهش ۵۵/۳ درصدی تعداد غده و ۹۱/۱ درصدی تولیدمثل نماتد به عنوان مؤثرترین جدایه شناخته شده است(مجذوب و همکاران ۱۳۹۱). بررسی اثر تلفیقی قارچ *Trichoderma harzianum* و باکتری *P. fluorescence* علیه نماتد *M. javanica* در آزمایشگاه نشان داده که این تلفیق باعث افزایش معنی‌دار مرگ و میر لاروها نسبت به کاربرد هر ریزجاندار به طور جداگانه دارد (Siddiqui & Shaukat 2004). بررسی اثر تلفیقی باکتری *Pseudomonas fluorescent* با قارچ‌های *Trichoderma harzianum* و ۲ گونه *Glomus* برای مبارزه با نماتد غده ریشه گوجه فرنگی نشان داده که تلفیق جدایه‌های NSK2 و UTPF86 *Pseudomonas fluorescent* با *G. mosseae* و *G. intraradices* بهترین نتیجه را در کاهش تعداد و قطر غده‌ها، دارند(Golzari *et al*. 2011).

نتیجه

در طول ۲۰ سال گذشته مطالعات زیادی در مورد امکان استفاده از باکتری‌ها برای مبارزه با نماتدهای انگل گیاهی صورت گرفته و چندین محصول تجارتی از باکتری‌هایی که پتانسیل نماتدکشی دارند، به بازار عرضه شده‌اند. از جمله روش‌های موثر و مناسبی که امروزه پیشنهاد می‌شود مدیریت تلفیقی نماتدهای انگل گیاهی، شامل تلفیق کاربرد چند جاندار متعارض موثر با روش‌های زراعی، کشت ارقام مقاوم، برقراری تناوب زراعی مناسب برای افزایش رشد و تکثیر ریزجانداران متعارض است.

منابع **References**

خلیفی س. و خداکرمیان غ. ۱۳۹۱. بیوکنترل نماتد *Meloidogyne javanica* مولد غده ریشه زیتون در شرایط گلخانه با استفاده از سودوموناس‌های فلورسنت. *دانش گیاهپزشکی ایران* ۴۳(۲): ۳۲۳-۳۳۲.

عبدالهی، م. ۱۳۹۱. نماتدهای مرتبط با حشرات با تاکید بر گونه‌های بیمارگر . *دانش بیماری‌شناسی گیاهی* ۲(۱) : ۴۹-۳۴.

مجذوب ش.، کارگر بیده ا.، تقوی س. م. و حمزه زرقانی ح. ا. ۱۳۹۱. بررسی اثر باکتری‌های فراریشه بر نماتود ریشه

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.22519270.1393.3.2.1.9]

گرهی *Meloidogyne javanica* روی خیار در شرایط گلخانه. *بیماری‌های گیاهی* ۴۸(۱): ۶۹-۸۴.

مختاری س.، صاحبانی ن. و اعتباریان ح. ر. ۱۳۸۸. بررسی کنترل بیولوژیک و القای سیستمیک فعالیت آنزیم پراکسیداز در گیاه گوجه‌فرنگی آلوده به نماتد مولد گره ریشه *Meloidogyne javanica* توسط باکتری آنتاگونیست *Pseudomonas fluorescence* CHA0. *کشاورزی* ۱۱(۱): ۱۵۱-۱۶۱.

Alejandra B., Sergio S. & Lorena L. 1998. Characterization of cry genes in a Mexican *Bacillus thuringiensis* strain collection. *Applied and Environmental Microbiology* 64: 4965–4972.

Anderson J. M., Preston J. F., Dichson D. W., Hewlett T. E., Williams N. H. & Maruniak J. E. 1999. Phylogenetic analysis of *Pasteuria penetrans* by 16S rRNA gene cloning and sequencing. *Journal of Nematology* 31: 319–325.

Askeland R. A. & Morrison S. M. 1983. Cyanid production by *Pseudomonas fluorescens* and *Pseudomonas aeruginosa*. *Applied and Environmental Microbiology* 45: 451-457.

Atibalentja N., Noel G. R. & Domier L. L. 2000. Phylogenetic position of North American isolates of *Pasteuria* that parasitizes the soybean cyst nematodes, *Heterodera glycines*, as inferred from 16s rDNA sequence analysis. *International Journal of Systemic and Evolutionary Microbiology* 50: 605-613.

Bagnasco P. 1998. Fluorescent *Pseudomonas* spp. as biocontrol agents against forage legume root pathogenic fungi. *Soil Biochemistry* 30: 1317-1322.

Bird D. M., Opperman C. H. & Davies K. G. 2003. Introduction between bacteria and plant-parasitic nematodes: now and then. *International Journal of Parasitology* 30: 1269-1276.

Boenare N. E., Givaudan A., Brehelin M. & Laumond C. 1997.Symbiosis and pathogenicity of nematode–bacterium complex. *Symbiosis* 22: 21–45.

Bravo A. 1997. Phylogenic relationship of *Bacillus thuringiensis* d-endotoxin family protein and their functional domains. *Journal of Bacteriology* 179: 2793–2801.

Cameron R. K., Dixon., R. A. & Lamb C. J. 1994. Biologically induced systemic acquired resistance in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Journal* 5: 715-25.

Chen Z. X., Dickson D.W. & Mitchell D.J. 1997. Suppression mechanisms of *Meloidogyne arenaria* race 1 by *Pasteuria penetrans. Journal of Nematology* 29: 1–8.

Chen Z. X. & Dickson D. W. 1998. Review of *Pasteuria penetrans*: Biology, Ecology, and Biological control Potential. *Journal of Nematology* 30: 313-340.

Compant S., Duffy B., Nowak J., Clement C. & Barka E. A. 2005. Use of plant growth-promoting Bacteria for biocontrol of plant diseases: Principles, Mechanism of Action, and Future Prospect. *Applied and Environmental Microbiology* 71(9): 4951-4959.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.22519270.1393.3.2.1.9]

Cronin D., Moenne-Loccoz Y., Dunne C. & O'Gara F**.** 1997**.** Inhibition of egg hatch of the potato cyst nematode *Globodera rostochiensis* by chitinese-producing bacteria. *European Journal of Plant Pathology* 103: 433–440.

Davies K. G. & Opperman C. H. 2006. A potential role for collagen in the attachment of *Pasteuria penetrans* to nematode cuticle. *Multitrophic Interactions in the Soil* 29: 11-16.

Davis E. L., Hussey R. S., Mitchum M. G. & Baum T. J. 2008. Parasitism proteins in nematode–plant interactions. *Current Opinion in Biotechnology* 11: 360–366.

Devidas P. & Rehberger L. A. 1992. The effects of exotoxin from *Bacillus thuringiensis* on *Meloidogyne incognita* and *Caenorhabditis elegans. Plant and soil* 145: 115-120.

Dowling D. N. & O'Gara F. 1994. Metabolites of *Pseudomonas* involved in the biocontrol of plant disease. *Trends Biotechnology* 12: 133-141.

Ebert D., Rainey P., Embley T. M. & Scholz D. 1996. Development, life cycle, ultrastructure and phylogenetic position of *Pasteuria ramosa* Metchnikoff 1888: rediscovery of an obligate endoparasite of Daphnia magna Straus. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 351: 1689–1701.

Giannakou I. O. & Prophetou-Athanasiadou D. 2004. A novelnon-chemical nematicidal for the control of root-knot nematodes. *Applied Soil Ecology* 26: 69–79.

Giblin-Davis R. M., Williams D. S., Wergin W. P., Dickson D. W., Hewlett T. E., Bekal S. & Becker J. O. 2001. Ultrastructure and development of *Pasteuria* sp. (S-1 strain), an obligate endoparasite of *Belonolaimus longicaudatus*. *Journal of Nematology* 33: 227–238.

Glick B. R. 1995. The enhancement of plant growth by free-living bacteria. *Canadian Journal of Microbiology* 41: 109-117

Gnanamanickam S. S., Vasudevan P., Reddy M. S., Kloepper J. W. & Defago G. 2002. Principles of biological control CRC press, Netherlands, 450 pp.

Golzari H., Ahmadzadeh M., Panjehkeh N., Salari M. & Sedaghati-Khoravi E. 2011. The effects of some biocontrol agents and their combination on root-knot disease on tomato. *Department of Plant Protection* 1(1): 1-11.

Grewal P. S., Lewis E. E. & Venkatachari S. 1999. Allelopathy: a possible mechanism of suppression of plant-parasitic nematodes by entomopathogenic nematodes. *Journal of Nematology* 1:735–743.

Hallmann J., Quadt-Hallmann A., Miller W. G., Sikora R. A. & Lindow S. E. 2001. Endophytic colonization of plants by the biocontrol agent *Rhizobium etli* G12 in relation to *Meloidogyne incognita* infection. *Phytopathology* 91: 415-422.

Handelsman J. & Stabb E. V. 1996. Biocontrol of soil born plant pathogens. *The Plant Cell* 8: 1855-1869.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.22519270.1393.3.2.1.9]

Hass D. & Defago G. 2005. Biological control of soil borne pathogens by fluorescent pseudomonads. *Nature Reviews of Microbiology* AOP, Published online 10 March 1-13.

Hewlett T. E., Smith K. S. & Griswold S. T. 2003. Comparison of the efficacy of *Pasteuria penetrans* endospores produced *invivo* and *invitro* for the control of *Meloidogyne arenaria*. In: Proceedings of the Methyl Bromide Alternative Organization Annual Meeting.

Hollis J. P. & Rodriguez-Kabana R. 1966. Rapid kill of nematodes in flooded soil. *Phytopathology* 56: 1015–1019.

Huang X. W., Tian B. Y., Niu Q. H., Yang J. K., Zhang L. M. & Zhang K. Q.2005. An extracellular protease from *Brevibacilluslaterosporus*G4 without parasporal crystal can serve as a pathogenic factor in infection of nematodes. *Research in Microbiology* 156: 719–727.

Hugot J. P., Baujard P. & Morand S. 2001. Biodiversity in helminthes and nematodes as a field of study: an overview. *Nematology*. 3: 199-208.

Jatala P. 1986. Biological control of plant-parasitic nematodes. *Annual Review of Phytopathology* 24: 453–489.

Kavitha K. & Mathiyazhagan S. 2005. Broad spectrum action of phenazine against activity and dormant structure of fungal pathogens and root Knot nematode. *Archives of Phytopathology and Plant Protection* 38: 69-76.

Keel C. & Defago G. 1997. Interaction between beneficial soil bacteria and root Pathogens: mechanisms and ecological impact. In: Gange, A.C. & Brown, V.K. Mutitrophic interactions in terrestrial system. *Oxford, Blackwell Science* 27-47.

Kloepper J. W. & Schroth M. N. 1981. Development of a powder formulation of rhizobacteria for inoculation of potato seed pieces. *Phytopathology* 71: 590-592.

Kloepper J. W., Rodriguez-Kabana R., Mcinroy J. A. & Young R. W. 1992. Rhizosphere bacteria antagonistic to soybean cyst and root-knot nematodes: identification by fatty acid analysis and frequency of biological control activity. *Plant Soil* 139: 75–84

Knowles C. J. & Bunch A. W. 1986. Microbial cyanide metabolism. *Advances in Microbial Physiology* 27: 73-111.

Kokalis-Burelle N., Vavrina C. S., Rosskopf E. N. & Shelby R. A. 2002. Field evaluation of plant growth-promoting rhizobacteria amended transplant mixes and soil solarization for tomato and pepper production in Florida. *Plant Soil* 238: 257–266.

Krotze A. C., O'Grady J., Gough J. M., Pearson R., Bagnall N. H., Kemp D. H. & Akhurst R. J. 2005. Toxicity of *Bacillus thuringiensis* to parasitic and free-living life stages of nematodes parasites of live stock. *International Journal of Parasitology*. 35: 1013–1022.

Lambers H. 1980. The physiological significance of cyanide resistant respiration in higher plants. *Plant Cell Environment* 3: 293-302.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.22519270.1393.3.2.1.9]

Lamovsek J., Gregor U. & Stanislav T. 2013. Biological Control of Root-knot Nematodes (*Meloidogyne* spp.): Microbes against the pests. *Acta agariculture Slovenica* 101(2): 263-275.

Lewis E. E., Grewal P. S. & Sardanelli S. 2001. Interactions between *Steinernema feltiae–Xenorhabdus bovienii* insect pathogen complex and root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. *Biology Control* 21: 55–62.

Lie B., Xie G. L., Soad A. & Coosemans J. 2005. Suppression of *Meloidogyne javanica* by antagonistic and plant growth promoting rhizobacteria. *Journal of Zhejiang University Science* 6: 496–501.

Loper J. E. & Buyer J. S. 1991. Siderophores in microbial interactions on plant surfaces. *Molecular Plant Microbe Interaction* 4: 5-13

Mankau R. 1980. Biological control of nematodes pests by natural enemies. *Annual Review of Phytopathology* 18: 415–440.

Marroquin L. D., Elyassnia D., Griffitts J. S., Feitelson J. S. & Aroian R. V. 2000. *Bacillus thuringiensis* (Bt) toxin susceptibility and isolation of resistance mutants in the nematode *Caenorhabditis elegans*. *Genetic* 155: 1693–1699.

Meyer S. L. F. & Roberts, D. P. 2002. Combinations of biocontrol agents for management of plant-parasitic nematode and soilborne plant-pathogenic fungi. *Journal of Nematology*. 34: 1–8.

Meyer S. L. F., Massoud S. I., Chitwood D. J. & Roberts D. P. 2000. Evolution of *Trichoderma virens* and *Burkholderia cepacia* for antagonistic activity against root-knot nematode, *Meloidogyne incognita. Journal of Nematology* 2: 871-879.

Qiuhong N., Xiaowei H., Lin Z., Yunxia L., Jinkui Y. and Keqin Z. 2006. A neutral protease from *Bacillus* nematocida, another potential virulence factor in the infection against nematodes. *Archives of Microbiology* 185: 439–448

Paul V. J., Frautschy S., Fenical W. & Nealson K. H. 1981. Antibiotics in microbial ecology: isolation and structure assignment of several new antibacterial compounds from the insect symbiotic bacteria *Xenorhabdus* spp. *Journal of Chemistry and Ecology* 7: 589–597.

Persidi A., Lay J. G., Manousis T., Bishop A. H. & Ellar D. J. 1991.Characterization of potential adhesions of the bacterium *Pasteuria penetrans*, and of putative receptors on the cuticle of *Meloidogyne incognita*, a nematode host. *Journal of Cell Science* 100:613–622.

Pitcher R. S. 1963. The role of plant-parasitic nematodes in bacterial diseases. *Phytopathology*. 53: 35–9.

Powell N. T. 1971. Interactions of plant parasitic nematodes with other disease causing agents in Plant Parasitic Nematodes **.**2: 119–36.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.22519270.1393.3.2.1.9]

Raski D. J. and Hewitt, W. B. 1963. Plant parasitic nematodes as vectors of plant viruses. *Phytopathology* 53: 39–47.

Reise R. W., Hackett K. L. & Huettel R. N. 1991. Limited in vitro cultivation of *Pasteuria nishizawae*. *Journal of Nematology* 23:547

Roberts A. H. C., Sinclair A. G., Johnstone P. D., Risk W. H., Smith L. C., O'Connor M. B. & Nguyen L. 1994. Changes in soil olsen pover six years with annual applications of triple superphosphate or reactive phosphate rock. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 37: 229-237.

Sasser J. N. 1989. Plant parasitic nematodes: The farmer's hidden enemy. *Crop Protection* 115 pp.

Sayre R.M., Wergin W.P., Schmidt J.M. and Starr M.P. 1991. *Pasteuria nishizawae* sp-nov, a mycelia and endospore-forming bacterium parasitic on cyst nematodes of genera *Heterodera* and *Globodera. Research in Microbiology* 142, 551–564.

Sayre R. M. & Starr N. 1988. Bacterial diseases of nematodes and their role in controlling nematode populations. *Journal of Agriculture, Ecosystem and Environment* 24: 263-279.

Schneider S. M., Rosskopf E. N., Leesch J. G., Chellemi D. O., Bull C. T. & Mazzola M. 2003. Research on alternatives to methyl bromide: pre-plant and post-harvest. *Pest Management and Science* 59:814–826.

Shaukat S. S., Siddiqui I. A. & Ali S. A. 2002. In vitro survival and nematicidal activity of *Rhizobium*, *Bradyrhizobium* and *Sinorhizobium*. The influence of various NaCl concentrations. *Pakistan Journal of Biology Science* 5: 669–671.

Siddiqui Z. A. & Mahmood I. 1999. Role of bacteria in the management of plant parasitic nematodes: a review. *Bio resource Technology* 69: 167–179.

Siddiqui A. & Shaukat S. S. 2004. *Trichoderma harzianum* enhances the production of nematicidal compounds *in vitro* and improves biocontrol of *Meloidogyne javanica* by *Pseudomonas fluorescens* in tomato. *Letters in applied microbiology* 38(2): 169-175.

Siddiqui Z.A., Baghel G. & Akhtar M. S. 2007. Biocontrol of *Meloidogyne javanica* by *Rhizobium* and plant growth-promoting rhizobacteria on lentil. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 23: 435-441.

Sikora R. A. 1992. Management of the antagonistic potential in agriculture ecosystems for the biological control of plant parasitic nematodes. *Annual Review of Phytopathology* 30: 245–270.

Stirling G. R. 1991. Biological Control of Plant Parasitic Nematodes. CAB International, Wallingford.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.22519270.1393.3.2.1.9]

Stirling G. R., Bird A. F. & Cakurs A. B. 1986. Attachment of *Pasteuria penetrans* spores to the cuticle of root-knot nematodes. *Revolution of Nematology* 9: 251–260.

Tian B., Yang J. & Zhang K. Q. 2007. Bacteria used in the biological control of plant-parasitic nematodes. *European Microbiological Societies.* 61: 197-213.

VanLoon L. C., Bakker, P. A. H. M. & Pieterse C. M. 1998. Systemic resistance induced by rhizosphere bacteria. *Annual Review of Phytopathology* 36: 453–483.

Vining L. C. 1990. Functions secondary metabolites. Annual Review of Microbiology 44: 395-427

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 Science* 100: 2760-2765.

Wilson M.J. and Jackson T.A. 2013. Progress in the commercialisation of bionematicides. *BioControl* 58: 715–722.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.22519270.1393.3.2.1.9]

Application of Bacteria in Biological Control of Plant-Parasitic Nematodes

MOHAMMAD ABDOLLAHI✉ & NEGIN AKRAMIPOOR

Associate Professor and M.Sc. Student, Department of Plant Protection,
Faculty of Agriculture, University of Yasouj , Yasouj, Iran
(✉ Corresponding author, E.mail: abdollahi@yu.ac.ir)

Abdollahi M. & Akramipoor N. 2014. Application of bacteria in biological control of plant-parasitic nematodes. *Plant Pathology Science* 3(2):1-20.

Abstract

Plant-parasitic nematodes are one of the most important pests worldwide and cause considerable economic loss to many of agricultural products. Some of soil inhabited nematodes are affected by some of antagonistic bacteria, so they can be used in biological control. Nematodes can be affected by bacteria in different ways such as direct suppression, promotion of plant growth, and facilitation of rhizosphere colonization. In overall, regarding to effect of soil inhabits bacteria on nematodes; they can be classified as toxin producing, antibiotic producing and enzyme producing as well as plant growth promoting groups. Based on the recent researches, bacteria are divided to six groups including: parasitic bacteria (nematophagous bacteria), opportunistic parasitic bacteria, rhizobacteria, endophytic bacteria, symbionts of entomopathogenic nematodes and cry protein-forming bacteria. Combination of bacteria with some other antagonistic microorganisms was successful in control of plant parasitic nematodes.

Key words: Bacteria, Antagonist, Nematode, *Pasteuria*, *Meloidogyne*

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.22519270.1393.3.2.1.9]