مجله ایمنی زیستی

دوره ۱۷، شماره ۱، بهار ۱۴۰۳

ISSN 2716-9804 الکترونیکی، ISSN 2717-0632 چاپی

مروری بر باکتری‌های بیماری‌زای حشرات در کنترل آفات گیاهی

نوع مقاله: مروری

سمانه نیک اختر*[۱]، شهرام آرمیده[۲]، عباس حسین‌زاده[۳]

۱- دانشجوی دکترا، گروه گیاه پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲- دانشیار، گروه گیاه پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۳- استادیار، گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهاباد، مهاباد، ایران

samanehnikakhtar1375@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۰۴، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۳۰

صفحه ۱۱۰-۹۳

چکیده

با توجه به اهمیت ایمنی غذایی و رشد روز افزون جمعیت، افزایش تولید محصولات کشاورزی ضروری است، اما عوامل بیماری‌زای گیاهی و آفات مانع دستیابی به این هدف هستند. از طرفی با توجه به کاربرد بی‌رویه سموم شیمیایی و مشکلات باقی مانده آن‌ها که سلامت محصول را کاهش داده و ارزش صادرات آن را از بین می‌برد، دانشمندان به دنبال یافتن جایگزین‌های مناسب هستند. استفاده از ترکیبات زیستی نظیر باکتری‌های بیماری‌زای حشرات می‌توانند به‌عنوان عامل کنترل زیستی با پتانسیل بالا، در این زمینه استفاده شوند. بیشتر محصولات مربوط به باکتری‌های بیماری‌زای حشرات، بر پایه باکتری‌های *Bacillus thuringiensis*، *Saccharopolyspora spinosa*، *Bacillus megaterium*، *Bacillus popillia*، *Streptomyces avermitilis*، *Photorhabdus* spp. و *Xenorhabdus* spp. هستند. آفت‌کش‌های زیستی و یا متابولیت‌های تجاری‌سازی شده آن‌ها می‌توانند در مدیریت تلفیقی اغلب آفات مورد استفاده قرار گیرند. این ترکیبات برای سلامت انسان، محیط زیست و دشمنان طبیعی بسیار کم ضرر هستند. در این بررسی، مرور کلی بر نقش زیستی باکتری‌های مهم بیماری‌زای حشرات و نحوه تاثیر آن‌ها روی چند گونه آفت مهم مورد بحث قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: آفت‌کش‌های زیستی، ایمنی غذایی، متابولیت‌های ثانویه، مدیریت تلفیقی آفات

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-12-12]

مقدمه

افزایش جمعیت و به دنبال آن افزایش تقاضا مستلزم بالا بردن میزان تولید در واحد سطح است. رقابت برای افزایش عملکرد موجب استفاده بیش از حد از سموم شیمیایی شده است. مصرف بی‌رویه آفت‌کش‌های شیمیایی علاوه بر هزینه زیادی که بر کشاورز تحمیل می‌کند، اثرات زیانباری نیز در پی دارد (Kafeshani et al. 2013). در دهه‌های اخیر، آگاهی زیست محیطی افراد و تقاضا برای کالاهای دوست‌دار محیط زیست باعث شده است تا دانشمندان حوزه کشاورزی توجه بیشتری به تولید محصولات سالم و با کیفیت داشته باشند (Khoshnevisan et al. 2015).

آفت‌کش‌های زیستی به واسطه ویژگی‌های حشره‌کشی و نقش آن‌ها در تولید محصولات سالم و ارگانیک، جایگزین‌های بالقوه‌ای برای حشره‌کش‌های شیمیایی هستند (Ali et al. 2022). تاریخچه استفاده از آفت‌کش‌های میکروبی به حدود صد سال پیش برمی‌گردد. در سال ۱۹۳۸ فرآورده تجاری *Bacillus thuringiensis* (*Bt*) تحت عنوان اسپورین در فرانسه وارد بازار شد. بعد از جنگ جهانی دوم همزمان با پدیدار شدن مقاومت آفات به آفت‌کش‌های شیمیایی، تولید و مصرف آفت‌کش‌های میکروبی به سرعت توسعه یافت. استفاده از آفت‌کش‌های میکروبی در ایران به دهه ۱۳۵۰ برمی‌گردد که اولین آفت‌کش زیستی تجاری به نام Bactospeine با ماده موثره *B. thuringiensis* در سال ۱۳۵۴ برای کنترل کرم ابریشم باف ناجور روی درختان جنگلی به ثبت رسید. در دهه ۱۳۶۰ فعالیت‌های پژوهشی بر روی عوامل کنترل میکروبی آفات گسترش یافت و این فعالیت‌ها چشمگیر بودند (Marzban and Naimi. 2018). متابولیت‌های ثانویه حاصل از باکتری‌های بیماری‌زای حشرات موفق‌ترین حشره‌کش‌های میکروبی از نظر تجاری هستند. این ارگانیسم‌ها از طریق بلع، وارد بدن میزبان شده و باعث فلج دستگاه گوارش، عفونت عمومی و در نهایت مرگ میزبان می‌شوند (Glare et al. 2017; Singh et al. 2023).

بیشتر محصولات میکروبی تجاری شده بر پایه باکتری‌های گرم مثبت، به دلیل پایداری طولانی مدت آن‌ها هستند. روش‌هایی برای بهبود پایداری طولانی مدت آفت‌کش‌های باکتریایی گرم منفی نیز در حال توسعه است. موفق‌ترین آفت‌کش میکروبی تا به امروز بر پایه باکتری *B. thuringiensis* است. سموم کریستالی و رویشی از باکتری *B. thuringiensis* تولید می‌شوند که موفق‌ترین کاربرد بیوتکنولوژیک حشره‌کش‌های زیستی باکتریایی است (Glare et al. 2017). مدیریت آفات با باکتری‌های بیماری‌زای حشرات و باکتری‌های درون همزیست

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-12-12]

گیاهان، گزینه دیگری است که ممکن است به کاهش یا حذف استفاده از آفت‌کش‌ها کمک کند (Singh et al. 2023).

به دلیل تکثیر سریع باکتری، ویژگی حشره‌کشی، ایمنی و ثبات در محیط به طور گسترده در بازار آفت‌کش‌های زیستی استفاده می‌شوند (Parmar et al. 2022). برخلاف آفت‌کش‌های شیمیایی، آفت‌کش‌های میکروبی از نظر عملکرد خاص و از نظر محیطی بدون اثرات باقی‌مانده پایدار هستند (Thakur et al. 2020). مقدار کاربرد آفت‌کش زیستی با ترکیبات شیمیایی در واحد سطح متفاوت بوده و تابعی از میزان پایداری آن‌هاست که در سطح گیاه می‌نشیند و در تماس با آفت قرار می‌گیرد (Raymond et al. 2005; Marzban et al. 2019). بعضی از آفت‌کش‌های زیستی مانند *Bt* باید به وسیله حشرات خورده شوند، بنابراین نیاز است تا این آفت‌کش‌ها در تمام سطوح گیاه یا خاک که حشره موردنظر فعالیت دارد، پخش شوند مگر اینکه از مواد جلب‌کننده کمکی استفاده شود (Marzban et al. 2019). در ادامه استفاده از باکتری‌های بیماری‌زای حشرات از قبیل باکتری *B. thuringiensis*، *Saccharopolyspora spinosa*، *B. megaterium*، *B. popillia*، *Streptomyces avermitilis*، *Photorhabdus* spp. و *Xenorhabdus* spp. به‌عنوان حشره‌کش زیستی به تفصیل مورد بررسی قرار می‌گیرد.

تاریخچه‌ی باکتری‌های بیماری‌زای حشرات

حشرات بزرگترین گروه جانوران روی زمین هستند و به وسیله ویروس‌ها، قارچ‌ها، باکتری‌ها و پارازیت‌ها و غیره آلوده می‌شوند. چندین مکانیسم‌های دفاعی برای مهره‌داران و بی‌مهرگان رایج است. از بین حشرات شب‌پره موم خوار بزرگ *Galleria mellonella* Linnaeus به‌عنوان مدل برای مطالعه برهم‌کنش میزبان و بیمارگر حشرات استفاده می‌شود. این حشره ابزار مناسبی برای شناسایی عوامل بیمارگر حشرات و پاسخ سلول‌های بافت میزبان هستند (Soleimani et al. 2022). در دهه ۱۹۶۰ اولین باکتری با فعالیت حشره‌کشی گزارش گردید، قوی‌ترین آنها جدایه‌های باکتری *B. thuringiensis* است (Berry. 2012). دامنه باکتری بیمارگر حشرات خانواده Bacillaceae مانند *B. thuringiensis*، *Lysinibacillus sphaericus*، Meyer and Neide spp.، *aenibacillus* و *Brevibacillus laterosporus* Laubach به خوبی نشان داده شده است. حشره پاتوژن‌های متعلق به کلاس Gammaproteobacteria که شامل همزیست‌های نماتد بیمارگر حشرات *Photorhabdus* spp. و *Xenorhabdus* spp. است و گونه *Serratia entomophila* sp. و *Yersinia entomophaga* Hurst نیز مهم هستند. گونه‌های Betaproteobacteria نیز خواص حشره‌کشی

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-12-12]

وسیعی را از خود نشان می‌دهند. این گروه شامل سویه‌های *Burkholderia* spp. و *Chromobacterium* spp. است (Glare et al. 2012; Ruiu. 2015). جنس *Xenorhabdus* ssp. شامل تعدادی گونه از جمله *Xenorhabdus nematophilus*، *Xenorhabdus beddingii*، *Xenorhabdus bovienii* و *Xenorhabdus poinarii* است. طبقه بندی جنس *Photorhabdus* ssp. شامل سه گونه *Photorhabdus luminescens*، *Photorhabdus temperata* و *Photorhabdus asymbiotica* است. دو مورد از این گونه‌ها نیز به زیرگونه‌های جدید تقسیم شده‌اند. بنابراین گروه *P. luminescens* دارای سه زیرگونه luminescens، akhurstii و laumondii و گروه *P. temperata* دارای یک زیرگونه به نام temperata است (Waterfield and Daborn, 2019).

نقش زیستی باکتری‌ها

رویکرد و روش‌های مدیریت آفات در طول زمان، راه کارهایی را برای به حداقل رساندن اثرات زیست محیطی تجربه کرده است که خطرات مرتبط با مصرف زیاد مواد شیمیایی را کاهش می‌دهد (Ruiu et al. 2013). باکتری‌ها در محیط گسترده هستند و برهمکنش‌های مختلفی با حشرات دارند (Feldhaar. 2011). بسیاری از گونه‌های باکتری در بدن حشرات زندگی و سطوح مختلفی از روابط متقابل را ایجاد می‌کنند، تعدادی از آنها به‌عنوان بیمارگر حشرات عمل می‌کنند. باکتری‌های بیمارگر حشرات چندین روش را برای حمله به میزبان، غلبه بر پاسخ‌های ایمنی آن، آلوده کردن و کشتن آن ایجاد کرده‌اند. مکانیسم‌هایی که منجر به این نوع فعل و انفعالات می‌شوند، در طول یک فرآیند تکاملی طولانی توسعه یافته‌اند (Vilcinskas. 2010). در همین راستا انواع سموم حشره‌کش توسط باکتری‌های اسپورساز بیمارگر حشرات تولید شده است که ساختار و نحوه عملکرد مشابهی دارند. سموم پروتئینی که توسط باکتری *B. thuringiensis* در اجسام پاراسپورال تولید می‌شود دارای طیف عمل حشره‌کشی محدود هستند، در موارد دیگر باکتری‌ها متابولیت‌هایی تولید می‌کنند که طیف حشره‌کشی وسیع‌تری را دارند (Ruiu. 2015).

نحوه تاثیر باکتری‌ها روی حشرات

از آن جایی که تعدادی از باکتری‌ها مواد سمی شیمیایی و متابولیت‌های ثانویه تولید می‌کنند؛ می‌توانند گزینه بسیار خوبی برای مدیریت آفات باشند (Leroy et al. 2011). بسیاری از گونه‌های استرپتومایسس متابولیت‌هایی تولید می‌کنند که برای حشرات آفت سمی هستند. اسپور گونه‌های استرپتومایسس مولکول‌های سمی را تولید می‌کنند

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-12-12]

و لاروهـای تغذیـه کننـده از آن‌هـا را می‌کشـند. مکانیسم‌های کشتن مخـتص متابولیت‌هـای سـمی آن‌هاست. در شرایط آزمایشـگاهی، متابولیت‌هـای تولیـد شـده توسـط استرپتومایسـس‌ها می‌تواننـد موجب کنترل مگس‌های خانگی شوند (Ho et al. 2020). متابولیت‌هـــای ثانویـــه در بـــاکتری *Streptomyces hydrogenans* DH16 دارای فعالیت لاروکشی و مهار رشـد پروانـه برگ‌خـوار *Spodoptera litura* Fab. را دارد. نتایج نشان داده است که در بیشترین غلظت استرپتومایسس (۱۶۰۰ میکروگرم در میلی‌لیتر)، دارای تلفاتی نزدیـک بـه ۷۰ درصد لاروی، ۶۶/۶۶ درصد پیش شـفیرگی و ۱۰۰ درصد شـفیرگی بـوده اسـت. متابولیت‌هـای ثانویه همچنین دوره رشد لارو را طولانی و کاهش ظهور حشرات کامل، طـول عمـر بـالغین کـاهش، باروری و درصد تخم‌ریزی در غلظت‌هـای بـالاتر همراه با ناهنجاری‌های مورفولـوژیکی نسـبت بـه شاهد ثبت شده است. کاهش قابل توجه در رشـد نسبی و میزان مصرف، کارایی غـذای بلـع شـده و هضم شـده و افـزایش قابلیـت هضـم تقریبـی در لاروهـای پـرورش یافتـه بـا جیـره مکمـل بـا متابولیت‌های ثانویه این باکتری را بـه همـراه دارد (Kaur et al. 2014).

آورمکتین‌هـا گروهـی از متابولیت‌هـای ثانویـه هستند که توسط *S. avermitilis* تولیـد می‌شـوند. آن‌ها کانال‌های کلریـدی ورودی گلوتامـات را در اعصاب و عضلات فعال می‌کنند که به نوبه خـود عملکرد و حرکت حلـق را مختـل و از گرسـنگی می‌میرنـد (Shinde et al. 2021). بـاکتری استرپتومایسس دارای نرخ متابولیک بالا، توانایی از بین بردن کیتین، لیگنوسلولزها و سایر مواد را دارد (Higginbotham and Murphy, 2010). همچنین در باکتری *S. spinosa* که تولید متابولیـت ثانویـه اسـپینوزین A و D را می‌کنـد کـه همـان سـم اسپینوزاد اسـت ایـن سـم بـه صـورت تماسـی و گوارشی عمل می‌کند. اسپینوزاد گیرنـده نیکـوتین استیل کولین را فعال می‌کند و گیرنده گامـا آمینـو بوتیریـک اسـید (GABA) در سیسـتم عصـبی را تحت تاثیر قرار می‌دهد که منجر به مـرگ حشـره هـدف می‌شـود (Singh and Mazumdar, 2022). نحوه اثر باکتری *Bt* در معده میانی حشـره اسـت. بدین صورت که کریستال‌های پروتئینی Bt پس از هضم توسط پروتئازهای موجود در قسمت میـانی مجرای هاضمه حشره به جایگاه‌هـای ویـژه‌ای در رأس ریزپرزهـــای سـلول‌های مخـاطی مجـرای هاضمه لاروها می‌چسبند و پس از چسبیدن، وارد فضای پلاسمایی سلول و ایجاد جراحـت و زخـم شـده و موجـب پـاره شـدن دیـواره روده و فلـج دستگاه گوارش و با ورود اسپور به حفره عمـومی موجب عفونت خون و نهایتا مرگ حشره می‌شوند (Shazdehahmadi et al. 2019). تولیـد اجسـام پاراسپورال در داخـل سـلول‌های اسـپورانگیال در

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-12-12]

B. popillae مشاهده شده است، حتی اگر آن‌ها مستقیما مسئول عمل حشره‌کشی نباشند. اسپورهای این باکتری توسط لارو بلعیده شده و در همولنف تکثیر می‌شوند. تجمع اسپورها باعث کدورت همولنف می‌شود و به همین دلیل به آن بیماری شیری می‌گویند (Zhang et al. 1997; Mampallil et al. 2017). باکتری‌های *Photorhabdus* spp. و *Xenorhabdus* spp. به ترتیب در ارتباط با نماتدهای خانواده Heterorhabditidae و Steinernematidae زندگی می‌کنند (Waterfield and Daborn, 2019). باکتری‌های *Xenorhabdus* spp. و *Photorhabdus* spp. در روده نماتدهای حشره بیماریزا زندگی می‌کنند. آن‌ها می‌توانند با کمک این نماتدها از طریق یک روزنه طبیعی مانند دهان و مقعد یا با نفوذ مستقیم از طریق پوست وارد حشرات میزبان شوند. باکتری‌ها در سیستم خونی حشرات رها می‌شوند (Bode. 2009; Fukruksa et al. 2017). باکتری‌های آزاد شده مجموعه‌ای از مولکول‌های کوچک تولید می‌کنند که با کشتن و تغذیه از حشره مرده به همزیستی باکتری-نماتد کمک می‌کند. باکتری *Xenorhabdus* spp. همچنین برای کاهش رقابت با باکتری‌هایی که می‌توانند روی کوتیکول نماتد حمل شوند یا در روده حشره وجود داشته باشند، مولکول‌های ضد میکروبی تولید کنند (Pidot et al. 2014)، سپس باکتری‌ها تکثیر می‌شوند و سموم و ترکیبات ضد میکروبی آزاد می‌کنند که منجر به عفونت عمومی و مرگ حشرات در عرض ۲۴ تا ۴۸ ساعت می‌شود (Bode. 2009; Fukruksa et al. 2017). باکتری *Photorhabdus* spp. در طول چرخه زندگی خود باید (۱) میزبان حشره را بکشد، (۲) از رشد و نمو نماتد حمایت کند و (۳) بتواند نسل جدید لاروهای عفونت‌زا تولید کند (Clarke. 2014).

گونه‌های مهم باکتری در کنترل آفات

باکتری *B. thuringiensis*

این باکتری جزء پروکاریوت‌ها بوده و یکی از موفق‌ترین حشره‌کش‌های زیستی، متابولیت‌های حاصل از باکتری *B. thuringiensis* است که برای حشرات اثر کشندگی دارد (Akbari and Aramideh, 2024). باکتری *B. thuringiensis* یک باکتری گرم مثبت، میله‌ای شکل و اسپورساز است که چندین پروتئین حشره‌کش تولید می‌کند. پروتئین‌های کریستالی (Cry) که به‌طور معمول به‌عنوان δ-اندوتوکسین‌ها شناخته می‌شوند، این پروتئین‌ها در طول اسپورزایی ساخته می‌شوند و برای تشکیل کریستال‌های پاراسپورال تجمع می‌یابند که فعالیت آفت‌کشی را علیه گونه‌هایی از راسته‌های مختلف حشرات آفت از جمله Lepidoptera، Diptera، Hymenoptera و Coleoptera همچنین در برابر برخی از نماتدهای

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-12-12]

بیماری‌زای گیاهی نشان می‌دهند (Bravo et al. 2011; Ranjbari et al. 2011; Chattopadhyay et al. 2017).

زیرگونه *B. thuringiensis* subsp. israelensis همچنین پروتئین‌های دیگری را تولید می‌کنند که به‌طور معمول به‌عنوان پروتئین‌های Cyt (سیتولیتیک) شناخته می‌شوند که همراه با پروتئین‌های Cry سنتز و متبلور می‌شوند و فعالیت سمی علیه پشه‌ها و مگس‌های سیاه از خود نشان می‌دهند (Ataei Salami1 et al. 2023). سایر پروتئین‌های Bt با فعالیت حشره‌کشی که دیرتر از پروتئین‌های Cry کشف شدند، در مرحله رشد رویشی تولید می‌شوند و قبل از پروتئین Cry ترشح می‌شوند و به‌طور معمول به‌عنوان پروتئین‌های حشره‌کش رویشی شناخته می‌شوند (Yin et al. 2020). این پروتئین‌های قابل ترشح شامل پروتئین‌های دوتایی Vpb1/Vpa2 (قبلا Vip1/Vip2 نامیده می‌شد) با فعالیت سمی در برابر آفات سخت بالپوش هستند (Warren et al. 1998). پروتئین‌های Vip (که قبلا Vip3 نامیده می‌شد) با فعالیت حشره‌کش روی حشرات بالپولک داران (Estruch et al. 1996) و Vpb4 (قبلا Vip4 نامیده می‌شد) روی کرم ریشه ذرت *Diabrotica virgifera* virgifera است (Yin et al. 2020). پروتئین‌های Vip3 به‌عنوان ماده فعال فرمول‌های حشره‌کش مورد استفاده قرار نگرفته‌اند، زیرا در محیط کشت ترشح شده و بعد از مدتی خاصیت خود را از دست می‌دهند (Estruch et al. 1996; Palma et al. 2023). سویه‌های خاص جنس باسیلوس توانایی ایجاد مقاومت سیستمیک القایی (ISR)، امکان کلونیزاسیون اندوفیت، تشکیل بیوفیلم و منبع اصلی آنتی بیوتیک‌های پپتیدی با طیف اثر وسیع هستند که علیه عوامل بیماری‌زای مختلف میکروبی و نماتدها به‌عنوان عوامل بیماری‌زای باکتریایی موثر گزارش شده‌اند (Zulaiha et al. 2022). حشره‌کش زیستی Bt در بسیاری از محصولات آفت‌کش از جمله Acrobe، Bactospeine، Berliner، Certain، Dipel، Javelin، Leptox، Novabac، Teknar، Thuricide و Victory وجود دارد (Barnett and Brundage, 2010) (جدول ۱).

جدول ۱- بعضی از فرم‌های تجاری باکتری *B. thuringiensis* (Barnett and Brundage, 2010)

سرتین (Certain)	ویکتوری (Victory)	فرم‌های تجاری باکتری *B. thuringiensis*
برلینر (Berliner)	توریسید (Thuricide)	
باکتوپسین (Bactospeine)	نوابک (Novabac)	
آکروب (Acrobe)	لپتوکس (Leptox)	
دیپل (Dipel)	جاولین (Javelin)	

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-12-12]

باکتری *S. avermitilis*

باکترهای استرپتومایسس ۵۰ درصد از کل جمعیت اکتینوباکتری‌های خاک را تشکیل می‌دهد (Sathya et al. 2017). باکتری *S. avermitils* متعلق به فراوان‌ترین گروه میکروارگانیسم‌های موجود در خاک یعنی اکتینومیست‌ها و از خانواده Streptomycetaceae است. یک باکتری گرم مثبت، پروکاریوتی، چند سلولی و هوازی با محتوای گوانین+سیتوزین (G+C) بالا است (Kim and Goodfellow, 2002; Aswathy et al. 2023) که تحت شرایط سخت محیطی، دستخوش تغییرات مورفولوژیکی و تبدیل هیف‌ها به اسپور می‌شوند. این تبدیل همراه با تولید متابولیت‌های ثانویه و ترشح آنزیم‌های خارج سلولی است. همه این فرآیندها به شدت در سطوح مختلف توسط انواع تنظیم‌کننده‌های رونویسی تنظیم می‌شوند (Guo et al. 2010; Wang et al. 2014) و از آنجایی که این باکتری در خاک‌های حاوی مواد پوسیده فراوان وجود دارند با قارچ‌ها زیستگاه مشترک دارد و بسیار شبیه به قارچ‌ها به نظر می‌رسد (Siddique et al. 2014). این باکتری‌ها به دلیل تولید متابولیت فرار، ژئوسمین، بوی خاک مانندی دارند (Hasani et al. 2014). استرپتومایسس نقش مهمی در ارتقای رشد گیاه (PGP)، ارتقای سلامت گیاه (حفاظت از محصول)، تخریب بقایای آلی و تولید محصولات جانبی (متابولیت‌های ثانویه) مورد علاقه تجاری در زمینه‌های کشاورزی ایفا می‌کند (Aggarwal et al. 2016). استرپتومایس‌ها در ریزوسفر و ریزوپلان به محصولات در افزایش رشد اندام هوایی و ریشه، عملکرد دانه، تثبیت نیتروژن زیستیی، حل شدن مواد معدنی (مانند فسفر و روی) و کنترل زیستیی حشرات آفت و بیمارگرهای گیاهی کمک می‌کنند. علاقه فزآینده‌ای به استفاده از متابولیت‌های ثانویه تولید شده توسط استرپتومایسس‌ها مانند بلاستیسیدین-اس، کوساگامایسین، استرپتومایسین، اکسی تتراسایکلین، والیدامایسین، پلی‌اکسین‌ها، ناتامایسین، اکتینوات، مایکوستاپ، آبامکتین و امامکتین بنزوات و آورمکتین‌ها وجود دارد (Aggarwal et al. 2016) (جدول ۲). متابولیت ثانویه، پلی‌کتیدها دسته مهمی از ترکیبات زیستی فعال را تشکیل می‌دهند. آن‌ها از پیش‌سازهای Acyl CoA توسط سنتازهای پلی‌کتید (PKSs) بیوسنتز می‌شوند. استفاده از بیوسنتز ترکیبی برای تشکیل PKSهای هیبریدی به‌عنوان یک رویکرد عالی برای توسعه پلی‌کتیدهای جدید در نظر گرفته می‌شود (Feng et al. 2019). به دلیل توانایی تولید آنزیم‌های مهم صنعتی، تولید متابولیت‌های ثانویه در طی فرآیند تخمیر (Tsujibo et al. 2003; Siddique et al. 2014) و همچنین پوشش حدود ۸۰ درصد محصولات

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-12-12]

آنتی‌بیوتیکی معروف هستند (Hopwood et al. 2000).

جدول ۲- بعضی از متابولیت‌های ثانویه تولید شده توسط استرپتومایسس‌ها (Aggarwal et al. 2016)

پلی اکسین ها (Polyoxins)	بلاستیسیدین -اس (Blasticidin-S)
ناتامایسین (Natamycin)	کوساگامایسین (Kasugamycin)
اکتینوات (Actinoate)	استرپتومایسین (Streptomycin)
مایکوستاپ (Mycostop)	اکسی تتراسایکلین (Oxytetracycline)
آبامکتین (Abamectin)	والیدامایسین (Validamycin)
امامکتین بنزوات (Emamectin Benzoate)	

اجزای محیط بر جداسازی استرپتومایسس تاثیر می‌گذارد. محیط‌های حاوی گلیسرول یا نشاسته به‌عنوان منابع کربن و آرژنین، کازئین یا نیترات به‌عنوان منابع نیتروژن بهترین جداسازی را به همراه خواهند داشت، عوامل ضد قارچی مختلف به نام نیستاتین، سیکلوهگزیماید و پیماریک به‌طور معمول در طول جداسازی برای به دست آوردن ایزوله‌های باکتریایی خالص استفاده می‌شوند. شناسایی استرپتومایسس براساس اندازه اسپور، مورفولوژی، زنجیره، رنگدانه، ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی است (Awad et al. 2009). استرپتومایسس‌ها رشته‌های پایداری را تشکیل می‌دهند و قادر به تولید زنجیره‌های بلند اسپور با رشد هوایی هستند (Siddique et al. 2014).

از باکتری *S. avermitilis* جدا شده از خاک به‌عنوان بهترین جایگزین برای مواد شیمیایی جهت کنترل زیستی آفات نظیر کرم غوزه پنبه *Helicoverpa armigera*، پروانه برگ‌خوار *S. litura* و کنه‌ها در طیفی وسیعی از محصولات زراعی، میوه، سبزیجات و زینتی استفاده می‌شود (Arasu et al. 2013). باکتری *S. avermitilis* دارای اثر ضدباکتریایی و ضدقارچی بالقوه مانند ماکرولیدها هستند. آن‌ها باعث آزاد شدن و اتصال گاما آمینو بوتیریک اسید در پایانه‌های عصبی می‌شوند. فعالیت الکتریکی در سلول‌های عصبی و عضلانی در نتیجه، یون‌های کلرید وارد سلول‌ها شده و باعث فلج شدن سیستم عصبی عضلانی می‌شوند (Jonsbu et al. 2002; Prakash et al. 2022) و اسپورهای هوازاد تولید می‌کنند که لاکتون‌های ماکروسیکلیک، مانند اولیگومایسین و متابولیت‌های ثانویه، شامل آورمکتین، که به‌عنوان صفات آگروزیستیی و آنتاگونیستی استفاده می‌شوند (Sundarapandian et al. 2002). متابولیت‌های زیست فعال مشتق شده از *Streptomyces* spp. دارای سمیت کمتر برای

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-12-12]

ارگانیسم های غیرهدف (Koga et al. 1987; Aswathy et al. 2023) و همچنین دارای فعالیت نماتدکشی و کنه‌کشی است (Takatsu et al. 2003; Wang et al. 2010). برای ساخته شدن سموم آورمکتینی از باکتری *S. avermitilis* نیاز به کربن و نیتروژن کافی در محیط کشت است (Bloomquist, 1993; Prakash et al. 2022).

باکتری *S. spinosa*

باکتری *S. spinosa* یک باکتری گرم مثبت، رشته‌ای، هوازی و غیرمقاوم در محیط‌های اسیدی است (Mertz and Yao, 1990; Liu et al. 2021). گونه‌های مختلفی از جنس *S. spinosa* با توانایی تولید ترکیبات فعال زیستی مختلف برای مصارف کشاورزی گزارش شده‌اند. فعال‌ترین و فراوان‌ترین اسپینوسین‌ها از محیط‌های تخمیر *S. spinosa*، اسپینوسین‌های A و D هستند (Štepic et al. 2011; Luo et al. 2012).

خوشه ژن بیوسنتزی *اسپینوسین* ۲۳ (*ORF*)، شامل پنج ژن رمزکننده پلی‌کتید سنتاز (*spnA*، *B*، *C*، *D* و *E*)، چهار ژن دخیل در تشکیل پیوند C-C درون مولکولی (*spnF*، *J*، *L* و *M*)، چهار ژن مسئول اتصال رامنوز و متیلاسیون (*spnG*، *I*، *K* و *H*)، شش ژن شرکت‌کننده در بیوسنتز فوروزامین (*spnP*، *O*، *N*، *Q*، *R* و *S*) و چهار ژن (*ORF-L15*، *ORF-L16*، *ORF-R1* و *ORF-R2*) است (Waldron et al. 2001; Tang et al. 2011). ژن‌های دخیل در بیوسنتز رامنوز (*gtt*، *gdh*، *epi* و *kre*) به این خوشه مرتبط نیستند (Tang et al. 2011). مخلوط اسپینوسین A (۸۵ درصد اسپینوساد) و اسپینوسین D (۱۵ درصد اسپینوساد) اسپینوساد نامیده می‌شود، که فاقد اثرات منفی آفت‌کش‌های شیمیایی و سمیت کم روی حشرات و پستانداران غیرهدف است (Luo et al. 2012). حشره‌کش اسپینوساد، دارای فعالیت انتخابی علیه حشرات آفت راسته‌های Coleoptera، Hymenoptera و Diptera است (Dhakal et al. 2017).

بعضی از فرم‌های تجاری باکتری *S. spinosa* در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳ – بعضی از فرم‌های تجاری باکتری *S. spinosa*

منابع	فرم تجاری باکتری *S. spinosa*
Štepic et al. 2011	لیسر (Laser 240)
Rang et al. 2020	تریسر (Tracer)
Yadav et al. 2024	لارگو (Largo 45% SC)
Rang et al. 2020	اسپینتور (Spintor)

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-12-12]

Rang et al. 2020	اینتراست (Entrust SC)
Rang et al. 2020	ساکسس (Success 2.5% SC)

باکتری *Bacillus popillia*

در میان خانواده Bacillaceae جنس *Bacillus* با گونه *B. popilliae* مسئول ایجاد بیماری شیری (milky disease) در لاروهای سخت بالپوشان بوده (Singh et al. 2023; Zhang et al. 1997) و به همراه *B. thuringiensis* از عوامل بیماری‌زا در برابر آفات بالپولک‌داران است (Sarwar, 2021). باکتری *B. popilliae* یک هوازی اختیاری است که می‌تواند با رشد بی‌هوازی سازگار شود (Sharpe and Rhodes, 1973). این باکتری یک بیمارگر اجباری بوده و باعث بیماری و مرگ و میر نهایی حشرات خانواده Scarabaeidae مربوطه می‌شود (Huang et al. 2012).

باکتری‌های *Photorhabdus* spp. و *Xenorhabdus* spp.

باکتری‌های *Xenorhabdus* spp. و *Photorhabdus* spp.، گاما پروتئوباکتری و گرم منفی از خانواده Enterobacteriaceae هستند، که با نماتدهای بیماری‌زای حشرات (EPNs) جنس *Steinernema* spp. و *Heterorhabditis* spp. رابطه همزیستی دارند (Forst et al. 1997; Fukruksa et al. 2017) و شامل بیمارگرهای مهم پستانداران مانند اشریشیا کلی، سالمونلا و گونه‌های یرسینیا نیز هستند (Lewis and Clarke, 2012). این باکتری‌ها ترکیبات زیست فعال زیادی تولید می‌کنند که فعالیت‌های حشره‌کشی، سلول‌کشی و ضد میکروبی را نشان می‌دهند (Bode. 2009; Fukruksa et al. 2017). فعالیت نماتدها به همراه باکتری‌ها به‌عنوان عوامل کنترل زیستی روی حشرات آفت که تهدیدی برای کشاورزی و سلامت عمومی هستند به خاک اعمال می‌شوند (Shapiro-Ilan et al. 2019). باکتری‌های *Xenorhabdus* spp. و *Photorhabdus* spp. با تولید مجموعه‌ای از آنزیم‌ها و ترکیبات دیگر می‌توانند ایمنی حشرات را سرکوب کنند، میزبان را به سرعت بکشند و بافت آن را از بین ببرند و همچنین با استفاده از سنتز پلی‌کتید (PKSs) و پپتیدهای غیر ریبوزومی، عملکرد دفاعی در برابر دشمنان طبیعی انجام دهند (Cimen et al. 2022). هر دو باکتری آنتی بیوتیک، کریستال‌های پروتئین درون سلولی و محصولات متعدد دیگر تولید می‌کنند (Forst et al. 1997).

باکتری *Bacillus megaterium*

باکتری *B. megaterium* یکی دیگر از باکتری‌های بیماریزای حشرات است و یک باکتری

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-12-12]

گرم مثبت، به‌طور عمده هوازی و اسپورساز است که به‌طور گسترده در زیستگاه‌های مختلف از خاک گرفته تا آب دریا، رودخانه، غذاهای دریایی و دریاچه نمک یافت می‌شود (Vary et al. 2007; Aksoy et al. 2018).

استفاده از باکتری *B. megaterium* که می‌تواند متابولیت‌های حشره‌کش تولید کند، ابزاری امیدوارکننده برای کنترل غیرشیمیایی آفات (Aksoy et al. 2018)، همچنین یک عامل کنترل زیستی بالقوه نماتدها است (Huang et al. 2010). قادر به رشد روی بسترهای مختلف است (Bora et al. 1994; Palma et al. 2023). این باکتری یکی از میزبان‌های منتخب برای تولید فرمولاسیون قابل پاشیدن در آفت‌کش‌های میکروبی بر پایه پروتئین‌های Vip از *B. thuringiensis* است (Palma et al. 2023). سلول‌های باکتری *B. megaterium* علاوه‌بر قابلیت انباشت پروتئین‌های Vip، محافظت متوسطی را در برابر عملکرد مضر نور UV برای جلوگیری از غیرفعال شدن فعالیت حشره‌کشی پروتئین نشان داده‌اند (Palma et al. 2024).

نتیجه‌گیری

آفت‌کش‌های میکروبی برای انسان غیرسمی هستند و بیشتر مختص گونه خاص حشره بوده و روی ارگانیسم‌های غیر هدف تاثیر کمتری دارند. در حالی‌که برخی از آن‌ها کُند عمل می‌کنند، برخی دیگر تاثیر سریع دارند و برخی می‌توانند به اندازه حشره‌کش‌های شیمیایی موثر باشند، به‌ویژه هنگامی‌که در ترکیب با مواد دیگر استفاده شوند. از دیگر مزایای اصلی کنترل‌های میکروبی این است که بسیاری از آن‌ها می‌توانند در محیط باقی بمانند و به عوامل کنترل زیستی تبدیل شوند که کنترل طولانی مدت و کاهش هزینه‌ها را فراهم می‌کنند. با توجه به ویژگی‌های باکتری‌های بیماری‌زای حشرات، می‌توان از آن‌ها در مدیریت تلفیقی و همراه با سایر عوامل در تولید محصول سالم و ارگانیک به جای سموم شیمیایی استفاده کرد. این باکتری‌ها قابلیت کنترل حشرات آفت راسته‌های مختلف را داشته و می‌توانند در ترکیب با آفت‌کش‌های گیاهی و همراه با سایر روش‌های غیرشیمیایی مورد استفاده قرار گیرند. علی‌رغم این مزایای فراوان چالش‌هایی که ممکن است در تجاری‌سازی محصولات میکروبی وجود داشته باشد، شامل ویژگی‌های زیست فعالی که در محیط مزرعه به راحتی تجزیه شده و ماهیت فرار ترکیبات آن‌ها به ناکارآمدی در کاربردهای مزرعه منجر می‌شوند. برای حل این معضل بسیاری از پژوهشگران علاقمند به توسعه تولید فرمولاسیون‌های آفت‌کش‌های زیستی کارآمد هستند که مدیریت موثر کشاورزی را ممکن می‌سازد.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-12-12]

References فهرست منابع

Aggarwal N, Thind SK, Sharma S. 2016. Role of secondary metabolites of actinomycetes in crop protection. In: Subramaniam G, Arumugam S, Rajendran V. (Eds.). Plant growth promoting actinobacteria. Springer, Singapore. 99-121. https://doi.org/10.1007/978-981-10-0707-1_7.

Akbari S, Aramideh S. 2024. Effect of salicylic acid isolated from three native willow species in combination with *Bacillus thuringiensis* B. on the oak leaf roller, *Tortrix viridana* L. Forest Research and Development. 10(3): 395-409. (In Farsi with English abstract). https://doi.org/10.30466/jfrd.2024.55211.1717.

Aksoy HM, Tuncer C, Saruhan İ, Erper İ, Öztürk M, Akca İ. 2018. Isolation and characterization of *Bacillus megaterium* isolates from dead pentatomids and their insecticidal activity to *Palomena prasina* nymphs. Akademik Ziraat Dergisi. 7(1): 21-28. https://doi.org/10.29278/azd.440586.

Ali S, Aqueel MA, Saeed MF, Shakeel Q, Raheel M, Ullah MI. 2022. Utilization of entomopathogenic bacteria for modern insect pest management. In: Mandal SD, Ramkumar G, Karthi S, Jin F. (Eds.) New and future development in biopesticide research: Biotechnological exploration. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-3989-0_3.

Arasu MV, Al-Dhabi NA, Saritha V, Duraipandiyan V, Muthukumar C, Kim, SJ. 2013. Antifeedant, larvicidal and growth inhibitory bioactivities of novel polyketide metabolite isolated from *Streptomyces* sp. AP-123 against *Helicoverpa armigera* and *Spodoptera litura*. BMC Microbiology. 13: 1-6. https://doi.org/10.1186/1471-2180-13-105.

Aswathy J, Elanchezhyan K, Allwin L, Razak TA. 2023. Effect of Streptomyces strains on non-target organisms. Pharma Innovation. 12(9): 2280-2284.

Ataei Salami1 T, Shahidi Banjar G, Sadeghi A, Darem H. 2023. A review of the importance and commercialization path of agricultural microbial biocontrol products in Iran. Journal of Biosafety. 15(3):65-78. (In Farsi with English abstract)

Awad HM, El-Sahed K, El-Nakkadi A. 2009. Isolation, screening and identification of newly isolated soil Streptomyces (*Streptomyces sp*. NRC-35) for b-Lactamase inhibitor production. World Applied Sciences Journal. 7(5): 637-646.

Barnett JB, Brundage KM. 2010. Immunotoxicology of pesticides and chemotherapies. West Virginia University School of Medicine, Morgantown, WV, USA Elsevier Ltd. 5: 467-487.

Berry C. 2012. The bacterium, *Lysinibacillus sphaericus*, as an insect pathogen. Journal of Invertebrate Pathology. 109(1): 1-10. https://doi.org/10.1016/j.jip.2011.11.008.

Bloomquist JR. 1993. Toxicology, mode of action and target site-mediated resistance to insecticides acting on chloride channels. Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Pharmacology, Toxicology and Endocrinology. 106(2): 301-314. https://doi.org/10.1016/0742-8413(93)90138-B.

Bode HB. 2009. Entomopathogenic bacteria as a source of secondary metabolites. Current Opinion in Chemical Biology. 13(2): 224-230. https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2009.02.037.

Bora RS, Murty MG, Shenbagarathai R, Sekar V. 1994. Introduction of a lepidopteran-specific insecticidal crystal protein gene of *Bacillus thuringiensis subsp. kurstaki* by conjugal transfer into a *Bacillus megaterium* strain that persists in the cotton phyllosphere. Applied and Environmental Microbiology. 60(1): 214-222. https://doi.org/10.1128/aem.60.1.214-222.1994.

Bravo A, Likitvivatanavong S, Gill SS, Soberón M. 2011. *Bacillus thuringiensis*: a story of a successful bioinsecticide. Insect Biochemistry and Molecular Biology. 41(7): 423-431. https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2011.02.006.

Chattopadhyay P, Banerjee G, Mukherjee S. 2017. Recent trends of modern bacterial insecticides for pest control practice in integrated crop management system. 3 Biotech. 7: 1-11. https://doi.org/10.1007/s13205-017-0717-6.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-12-12]

Cimen H, Touray M, Gulsen SH, Hazir S. 2022. Natural products from *Photorhabdus* and *Xenorhabdus*: mechanisms and impacts. Applied Microbiology and Biotechnology. 106: 4387–4399. https://doi.org/10.1007/s00253-022-12023-9.

Clarke DJ. 2014. The genetic basis of the symbiosis between *Photorhabdus* and its invertebrate hosts. Advances in Applied Microbiology. 88: 1-29. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800260-5.00001-2.

Constant RHF, Waterfield N, Daborn P. 2019. Insecticidal toxins from *Photorhabdus* and *Xenorhabdus*. In Encyclopedia of Microbiology. Academic Press. New York, NY, USA. 704–715.

Dhakal D, Pokhrel AR, Jha AK, Thuan NH, Sohng JK. 2017. *Saccharopolyspora species*: laboratory maintenance and enhanced production of secondary metabolites. Current Protocols in Microbiology. 44(1): 1-13. https://doi.org/10.1002/cpmc.21.

Estruch JJ, Warren GW, Mullins MA, Nye GJ, Craig JA, Koziel MG. 1996. Vip3A, a novel *Bacillus thuringiensis* vegetative insecticidal protein with a wide spectrum of activities against lepidopteran insects. Proceedings of the National Academy of Sciences. 93(11): 5389-5394. https://doi.org/10.1073/pnas.93.11.5389.

Feldhaar H. 2011. Bacterial symbionts as mediators of ecologically important traits of insect hosts. Ecological Entomology. 36(5): 533-543. https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.2011.01318.x.

Feng Y, Yu Z, Zhang S, Xue Z, Huang J, Zhang H, Wan X, Chen A, Wang J. 2019. Isolation and characterization of new 16-membered macrolides from the aveA3 gene replacement mutant strain *Streptomyces avermitilis* TM24 with acaricidal and nematicidal activities. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 67(17): 4782-4792. https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jafc.9b00079.

Forst S, Dowds B, Boemare N, Stackebrandt E. 1997. *Xenorhabdus* and *Photorhabdus* spp.: bugs that kill bugs. Annual Review of Microbiology. 51(1): 47-72. https://doi.org/10.1146/annurev.micro.51.1.47.

Fukruksa C, Yimthin T, Suwannaroj M, Muangpat P, Tandhavanant S, Thanwisai A, Vitta A. 2017. Isolation and identification of *Xenorhabdus* and *Photorhabdus* bacteria associated with entomopathogenic nematodes and their larvicidal activity against Aedes aegypti. Parasites and Vectors. 10: 1-10. https://doi.org/10.1186/s13071-017-2383-2.

Glare T, Caradus J, Gelernter W, Jackson T, Keyhani N, Köhl J, Marrone P, Morin L, Stewart A. 2012. Have biopesticides come of age? Trends in Biotechnology. 30(5): 250-258. https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2012.01.003.

Glare TR, Jurat-Fuentes JL, O'callaghan M. 2017. Basic and applied research: entomopathogenic bacteria. In: Lacey LA (ed.) Microbial control of insect and mite pests. Academic Press. New York, NY, USA. 47-67. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803527-6.00004-4.

Guo J, Zhao J, Li L, Chen Z, Wen Y, Li J. 2010. The pathway-specific regulator AveR from *Streptomyces avermitilis* positively regulates avermectin production while it negatively affects oligomycin biosynthesis. Molecular Genetics and Genomics. 283: 123-133. https://doi.org/10.1007/s00438-009-0502-2.

Hasani A, Kariminik A, Issazadeh K. 2014. Streptomycetes: characteristics and their antimicrobial activities. International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research. 2(1): 63-75.

Higginbotham SJ and Murphy CD. 2010. Identification and characterisation of a *Streptomyces* sp. isolate exhibiting activity against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. Microbiological Research. 165(1): 82-86. https://doi.org/10.1016/j.micres.2008.12.004.

Ho LK, Daniel-Ivad M, Jeedigunta SP, Li J, Iliadi KG, Boulianne GL, Hurd TR, Smibert CA, Nodwell JR. 2020. Chemical entrapment and killing of insects by bacteria. Nature Communications. 11(1): 1-9. https://doi.org/10.1038/s41467-020-18462-0.

Hopwood DA, Buttner MJ, Bibb MJ, Kieser T, Charter KF. 2000. Antibiotic production by Streptomyces. Pract Streptomyces Genet. 1(1): 42.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-12-12]

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: 417-422. https://doi.org/10.1007/s10658-009-9550-z.

Huang S, Sheng P, Zhang H. 2012. Isolation and identification of cellulolytic bacteria from the gut of *Holotrichia parallela* larvae (Coleoptera: Scarabaeidae). International Journal of Molecular Sciences. 13(3): 2563-2577. https://doi.org/10.3390/ijms13032563.

Kafeshani O, Yahai M, Entezari MH, Hesanzadeh A, Mohabat L, Torabi A. 2013. Comparing the nitrate level in vegetables irrigated with Zayandehrood River and well water. Journal of Health Research, Eighth. 2:196-201. (In Farsi with English abstract)

Kaur T, Vasudev A, Sohal SK, Manhas RK. 2014. Insecticidal and growth inhibitory potential of Streptomyces hydrogenans DH16 on major pest of India, *Spodoptera litura* (Fab.) (Lepidoptera: Noctuidae). BMC Microbiology. 14: 1-9. https://doi.org/10.1186/s12866-014-0227-1.

Khoshnevisan B, Bolandnazar E, Shamshirband S, Shariati HM, Anuar NB, Kiah MLM. 2015. Decreasing environmental impacts of cropping systems using life cycle assessment (LCA) and multi-objective genetic algorithm. Journal of Cleaner Production. 86: 67-77. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.08.062.

Kim SB, Goodfellow M. 2002. *Streptomyces avermitilis sp. nov*., nom. rev., a taxonomic home for the avermectin-producing streptomycetes. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. 52(6): 2011-2014. https://doi.org/10.1099/00207713-52-6-2011.

Koga D, Isogai A, Sakuda S, Matsumoto S, Suzuki A, Kimura S, Ide A. 1987. Specific inhibition of *Bombyx mori* chitinase by allosamidin. Agricultural and Biological Chemistry. 51(2): 471-476. https://doi.org/10.1271/bbb1961.51.471.

Leroy PD, Sabri A, Verheggen FJ, Francis F, Thonart P, Haubruge E. 2011. The semiochemically mediated interactions between bacteria and insects. Chemoecology. 21: 113-122.https://doi.org/10.1007/s00049-011-0074-6.

Lewis EE, Clarke DJ. 2012. Nematode parasites and entomopathogens. In: Insect Pathology. 2nd (Eds.) Vega F, Kaya H. Academic Press, London, UK. 395–424.

Liu Z, Xiao J, Tang J, Liu Y, Shuai L, Cao L, Xia Z, Dind X, Rang J, Xia, L. 2021. Effects of acuC on the growth development and spinosad biosynthesis of *Saccharopolyspora spinosa*. Microbial Cell Factories. 20: 1-15. https://doi.org/10.1186/s12934-021-01630-2.

Luo Y, Kou X, Ding X, Hu S, Tang Y, Li W, Huang F, Yang Q, Chen H, Xia L. 2012. Promotion of spinosad biosynthesis by chromosomal integration of the Vitreoscilla hemoglobin gene in *Saccharopolyspora spinosa*. Science China Life Sciences. 55: 172-180. https://doi.org/10.1007/s11427-012-4276-0.

Mampallil LJ, Faizal MH, Anith KN. 2017. Bacterial bioagents for insect pest management. Journal of Entomology and Zoology Studies, 5(6): 2237-2244.

Marzban R, Naimi S. 2018. A review of microbial pesticide formulations. Biological Control in Herbal Medicine. 7: 39 -55. (In Farsi with English abstract)

Marzban R, Heidari A, Sheykhi Gorjan A, Kalantari M, Parsa H. 2019. Efficiency of different spraying techniques for microbial pesticide, *Bacillus thuringiensis* in controlling diamondback moth. Journal Pesticides in Plant Protection Sciences. 6(1): 38-46. (In Farsi with English abstract)

Mertz FP, Yao RC. 1990. Saccharopolyspora spinosa sp. nov. isolated from soil collected in a sugar mill rum still. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. 40(1): 34-39. https://doi.org/10.1099/00207713-40-1-34.

Palma L, Ruiz de Escudero I, Mañeru-Oria F, Berry C, Caballero P. 2023. Insecticidal activity of microencapsulated Vip3Ag4 protein in Bacillus megaterium. In Biology and Life Sciences. 24(1): 9. https://doi.org/10.3390/IECT2023-14822.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-12-12]

Palma L, de Escudero IR, Mañeru-Oria F, Berry C, Caballero P. 2024. UV protection and insecticidal activity of microencapsulated Vip3Ag4 protein in Bacillus megaterium. Toxicon. 247: 107807. https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2024.107807.

Parmar P, Rajkumar BK, Butani N. 2022. Isolation and Identification of Entomopathogenic Bacillus Species. Practical Handbook on Agricultural Microbiology. 99-110. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-1724-3_13.

Pidot SJ, Coyne S, Kloss F, Hertweck C. 2014. Antibiotics from neglected bacterial sources. International Journal of Medical Microbiology. 304(1): 14-22. https://doi.org/10.1016/j.ijmm.2013.08.011.

Prakash VA, Sermalatha G, Selvarathinam T. 2022. Extraction of bioactive compounds from *Streptomyces avermitilis* and *Azadirachta indica* and Evaluation against *Spodoptera litura*: A green approach. Journal of Entomology and Zoology Studies. 10(1): 143-152.

Rang J, He H, Yuan S, Tang J, Liu Z, Xia Z, Khan TA, Hu S, Yu Z, Hu Y, Sun Y. 2020. Deciphering the metabolic pathway difference between *Saccharopolyspora pogona* and *Saccharopolyspora spinosa* by comparative proteomics and metabonomics. Frontiers in Microbiology. 11. 396. https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00396.

Ranjbari S, Safaralizadeh MH, Aramideh S. 2011. Insecticidal effect of *Bacillus thuringiensis* var Kurstaki on the various instars larvae of *Plutellax ylostella* L. (Lep.: plutellidae) under laboratory condition. Egyptian Academic Journal of Biological Sciences. 3(1): 27-32.

Raymond B, Hartley SE, Cory JS, Hails RS. 2005. The role of food plant and pathogen-induced behaviour in the persistence of a nucleopolyhedrovirus. Journal of Invertebrate Pathology. 88(1): 49-57. https://doi.org/10.1016/j.jip.2004.09.005.

Ruiu L. 2015. Insect pathogenic bacteria in integrated pest management. Insects. 6(2): 352-367. https://doi.org/10.3390/insects6020352.

Ruiu L, Satta A, Floris I. 2013. Emerging entomopathogenic bacteria for insect pest management. Bulletin of Insectology. 66(2): 181-186.

Sarwar M. 2021. Killing bacteria as agents of insect pest control. Biopesticides in Organic Farming. CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781003027690.

Sathya A, Vijayabharathi R, Gopalakrishnan S. 2017. Plant growth-promoting actinobacteria: a new strategy for enhancing sustainable production and protection of grain legumes. 3 Biotech. 7: 1-10. https://doi.org/10.1007/s13205-017-0736-3.

Shapiro-Ilan D, Hazir S, Glazer I. 2019. Advances in use of entomopathogenic nematodes in integrated pest management. In: Kogan M, Higley L. (Eds.) Integrated management of insect pestes. Burleigh Dodds Science Publishing, England. 649-678. https://doi.org/10.1201/9780429275395.

Sharpe ES, Rhodes RA. 1973. The pattern of sporulation of *Bacillus popilliae* in colonies. Journal of Invertebrate Pathology. 21(1): 9-15. https://doi.org/10.1016/0022-2011(73)90106-7.

Shazdehahmadi M, Sajadi S, Shahadati Moghadam Z. 2019. Study the interaction effects of combined application of some native strains of *Bacillus thuringiensis* and *Nucleopolyhedrovirus* on control of *Helicoverpa armigera*. Applied Plant Protection. 7(2): 73-84. (In Farsi with English abstract)

Shinde B, Berge S, Jadhav T, Magdum P, Sharma R. 2021. Screening of secondary metabolites Produced by *Streptomyces* Species from a Soil Sample that Can Produce Anti-Nematodal and antiprotozoal avermectins. Journal of Pharmaceutical Research International. 33(6): 90-98. https://doi.org/10.9734/JPRI/2021/v33i631192.

Siddique S, Syed Q, Adnan A, Qureshi FA. 2014. Isolation, characterization and selection of avermectin-producing *Streptomyces avermitilis* strains from soil samples. Jundishapur Journal of Microbiology. 7(6): e10366. https://doi.org/10.5812/jjm.10366.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-12-12]

Singh P, Mazumdar P. 2022. Microbial pesticides: trends, scope and adoption for plant and soil improvement. Biopesticides. 2: 37-71. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823355-9.00023-7.

Singh RP, Abhik P, Durga P, Gagan K, Singh BK. 2023. Entomopathogenic bacteria: a potential biological weapon against insect-pests management. Just Agriculture. 3(10): 190-99.

Soleimani P, Mehrvar A, Vaez N. 2022. Biological indices of the entomopathogenic fungi, *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae*, and assessment of their virulence diversity. Journal of Entomological SociEty of Iran. 41(4): 281-300. (In Farsi with English abstract)

Štepic P, Majcen D, Kos A, Martinović A. 2011. New possibilities of active spinosad (insecticide laser 240SC and GF-120) from dow agrosciences, in an integrated and biological control of plant. Ljubljana, Društvo za varstvo rastlin Slovenije (Plant Protection Society of Slovenia).

Sundarapandian S, Sundaram MD, Tholkappian P, Balasubramanian V. 2002. Mosquitocidal properties of indigenous fungi and actinomycetes against *Culex quinquefasciatus* Say. Journal of Biological Control. 16(1): 89-91.

Takatsu T, Horiuchi N, Ishikawa M, Wanibuchi K, Moriguchi T, Takahashi S. 2003. 1100-50, a novel nematocide from *Streptomyces lavendulae* SANK 64297. The Journal of Antibiotics. 56(3): 306-309. https://doi.org/10.7164/antibiotics.56.306.

Tang Y, Xia L, Ding X, Luo Y, Huang F, Jiang Y. 2011. Duplication of partial spinosyn biosynthetic gene cluster in *Saccharopolyspora spinosa* enhances spinosyn production. FEMS microbiology letters. 325(1): 22-29. https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2011.02405.x.

Thakur N, Kaur S, Tomar P, Thakur S, Yadav AN, Rastegari AA, Yadav AN, Yadav N. 2020. Microbial biopesticides: current status and advancement for sustainable agriculture and environment. In: Singh HB, Vaishnav A. (Eds.) New and future developments in microbial biotechnology and bioengineerin: sustainable agriculture: advances in microbe-based biostimulants. Elsevier, The Netherlands. 243-282. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820526-6.00016-6.

Tsujibo H, Kubota T, Yamamoto M, Miyamoto K, Inamori Y. 2003. Characterization of chitinase genes from an alkaliphilic actinomycete, *Nocardiopsis prasina* OPC-131. Applied and Environmental Microbiology. 69(2): 894-900. https://doi.org/10.1128/AEM.69.2.894-900.2003.

Vary PS, Biedendieck R, Fuerch T, Meinhardt F, Rohde M, Deckwer WD, Jahn D. 2007. *Bacillus megaterium*—from simple soil bacterium to industrial protein production host. Applied Microbiology and Biotechnology. 76: 957-967. https://doi.org/10.1007/s00253-007-1089-3.

Vilcinskas A. 2010. Coevolution between pathogen-derived proteinases and proteinase inhibitors of host insects. Virulence. 1(3): 206-214. https://doi.org/10.4161/viru.1.3.12072.

Waldron C, Matsushima P, Rosteck PR, Broughton MC, Turner J, Madduri K, Crawford KP, Merlo DJ, Baltz RH. 2001. Cloning and analysis of the spinosad biosynthetic gene cluster of *Saccharopolyspora spinosa*. Chemistry & biology. 8(5): 487-499.

Wang XJ, Wang M, Wang JD, Jiang L, Wang JJ, Xiang WS. 2010. Isolation and identification of novel macrocyclic lactones from *Streptomyces avermitilis* NEAU1069 with acaricidal and nematocidal activity. Journal of agricultural and food chemistry. 58(5): 2710-2714. https://doi.org/10.1021/jf902496d.

Wang JB, Zhang F, Pu JY, Zhao J, Zhao QF, Tang GL. 2014. Characterization of AvaR1, an autoregulator receptor that negatively controls avermectins production in a high avermectin-producing strain. Biotechnology Letters. 36: 813-819. https://doi.org/10.1007/s10529-013-1416-y.

Warren GW, Koziel MG, Mullins MA, Nye GJ, Carr B, Desai NM, Kostichka K, Duck NB, Estruch JJ, Novartis Corp. 1998. "Auxiliary proteins for enhancing the insecticidal activity of pesticidal proteins." U.S. Patent and Trademark Office.

Yadav SPS, Pokhrel S, Poudel A, Devkota S, Katel S, Bhattarai N, Gautam P. 2024. Evaluation of different insecticides against *Liriomyza sativae* (Diptera: Agromyzidae) on cucumber

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-12-12]

plants. Journal of Agriculture and Food Research. 15: 100987. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.100987.

Yin Y, Flasinski S, Moar W, Bowen D, Chay C, Milligan J, Kouadio JL, Pan A, Werner B, Buckman K, Zhang J. 2020. A new *Bacillus thuringiensis* protein for Western corn rootworm control. PloS One. 15(11): 1-16. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242791.

Zhang J, Hodgman TC, Krieger L, Schnetter W, Schairer HU. 1997. Cloning and analysis of the first cry gene from *Bacillus popilliae*. Journal of Bacteriology. 179(13): 4336-4341. https://doi.org/10.1128/jb.179.13.4336-4341.1997.

Zulaiha S, Munif A, Nawangsih AA. 2022. Potensi bakteri endofit asal lantana camara, kelapa sawit, dan mangrove untuk mengendalikan meloidogyne spp. pada tanaman terung. Journal Fitopatologi Indonesia. 18(5): 213-221.

A Review of Entomopathogenic Bacteria in Plant Pest Control

Samaneh Nikakhtar[*1], Shahram Aramideh[2], Abbas Hosseinzadeh[3]

1- PhD student, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.

2- Associate Professor, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.

3- Assistant Professor, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Mahabad Branch, Mahabad, Iran.

samanehnikakhtar1375@gmail.com

Abstract

Consider to importance of food safety and the growing population, it is essential to increase agricultural production. However, plant pathogens and pests are hindering the achievement of this goal. On the other hand, due to the excessive use of chemical pesticides and their residual problems that reduce the health of the product and destroy its export value, researcher is looking for suitable alternatives. The use of biological compounds such as entomopathogenic bacteria can be used as a high-potential biological control agent in this field. Most entomopathogenic bacteria products are based on *Bacillus thuringiensis*, *Saccharopolyspora spinosa*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus popillia*, *Streptomyces avermitilis*, *Photorhabdus* spp. and *Xenorhabdus* spp. Biological pesticides or their commercialized metabolites can be used in integrated management of most pests. These compounds are very harmless to human health, the environment and natural enemies. This review discusses the biological role of important entomopathogenic bacteria and mode of action on several important pest species.

Keywords: Biological pesticides, Food safety, Secondary metabolites, Integrated pest management

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-12-12]