مجله ایمنی زیستی
دوره ۱۵، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۱
ISSN ۲۷۱۶-۹۸۰۴ الکترونیکی، ISSN ۲۷۱۷-۰۶۳۲ چاپی

مروری بر اهمیت و مسیر تجاری‌سازی فرآورده‌های بیوکنترل میکروبی کشاورزی در ایران

نوع مقاله: مروری 20.1001.1.27170632.1401.15.3.4.2

تکتم عطایی سلامی*[۱]، غلامحسین شهیدی بنجار[۲]، اکرم صادقی[۳]، حسن دارِم[۴]

۱- دانشجوی دکتری تخصصی بیماری شناسی گیاهی دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
۲- استاد تمام گروه بیماری شناسی گیاهی دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
۳- استادیار بخش بیوتکنولوژی میکروبی، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۴- دانش‌آموخته مقطع کارشناسی ارشد رشته مهندسی ژنتیک و به‌نژادی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران
ataeisalami10@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۲۳، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۲۰
صفحه ۷۸-۶۵

چکیده

آگاهی عمومی از اثرات سوء و بلند مدت سموم شیمیایی دفع آفات نباتی منجر به استقبال و کاربرد روش‌های کم خطر برای انسان و محیط زیست شده است. در سال‌های اخیر، راهکارهای جایگزینی مانند کنترل زیستی به‌عنوان رویکردی کم خطر و پایدار برای مدیریت بیماری‌ها و آفات گیاهی مورد توجه قرار گرفته است. تولید عوامل بیوکنترل آفات کشاورزی در هر کشور طبق قوانین و دستورالعمل‌های سازمان‌های کشاورزی، محیط زیست و غذا و دارو در آن کشور انجام شده و حسب قواعد خاص طی مراحل مختلف پس از اخذ مجوز تجاری‌سازی می‌شوند. در ایران اجرا و نظارت بر قوانین مربوط به تولید فرآورده‌های بیوکنترل در کشاورزی، تحت نظر سازمان حفظ نباتات و همکاری چند سازمان دیگر انجام می‌شود. در این مقاله، به اختصار مروری بر اهمیت استفاده از عوامل بیوکنترل در کشاورزی و مراحل اخذ مجوز و تولید و چگونگی عرضه آنها به بازارهای داخلی آورده شده است.

واژه‌های کلیدی: آفت‌کش‌های میکروبی، بیماری‌های گیاهی، تجاری‌سازی، سموم شیمیایی، فرآورده‌های بیوکنترل.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-08-04]
[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.3.4.2]

مقدمه

شواهد فراوانی مبنی بر اثرات زیانبار مصرف آفت‌کش‌های شیمیایی بر محیط زیست و سلامت انسان وجود دارند (Zhang et al. 2022). افزایش مصرف آفت‌کش‌های شیمیایی موجب رها شدن مواد سمی در محیط زیست شده و به دنبال آن بهداشت انسان و محیط زیست مورد تهدید قرار گرفته است. کاربرد آفت‌کش‌های شیمیایی باعث مشکلاتی نظیر کاهش تنوع زیستی، کاهش تثبیت نیتروژن در خاک و تخریب محل زندگی جانداران به‌خصوص پرنده‌ها و گونه‌های در معرض خطر شده است. به‌علاوه انسان از طرق مختلفی از جمله مصرف مواد غذایی، آفت‌کش‌ها را دریافت می‌کند که میزان مواجهه با سموم از طریق مواد غذایی پنج برابر سایر راه‌ها مانند تنفس و نوشیدن آب است. انسان در عصر حاضر برای به دست آوردن مواد غذایی کافی جهت رفع نیازمندی‌های خود و نسل‌های آینده بیش از پیش در فشار قرار دارد. از اینرو، دستیابی به این هدف بدون انتخاب و استفاده از بهترین روش‌های امن علمی و فنی عملی نخواهد بود. کاربرد آفت‌کش‌های شیمیایی به تنهایی راه حل مناسبی جهت کنترل آفات نبوده و در مسیر کشاورزی پایدار قرار ندارد (Khorramnejadian et al. 2014). در طی ۱۲۰ سال اخیر، حدودا ۲۰۰۰ عامل کنترل‌کننده آفات در ۱۹۶ کشور با مشکلات زیست‌محیطی عمده ای مواجه شده‌اند (Mijani et al. 2021). به‌طور کلی، توجه به کنترل زیستی (بیولوژیک) آفات و بیماری‌های گیاهی به دلایل بسیاری در دهه‌های اخیر افزایش یافته است (Muenchrath et al. 2023). مقاومت آفات در برابر آفت‌کش‌ها یکی از عوامل مؤثر در عدم تأثیر سموم شیمیایی بوده (Bras et al. 2022) و همچنین مصرف‌کنندگان بیشتر متقاضی محصولاتی هستند که به شیوه‌های پایدار تولید شده و عاری از باقیمانده‌های حشره‌کش‌ها هستند (Frank. 2010). از طرف دیگر، مواردی از قبیل اهمیت بیشتر برای حفاظت از محیط زیست در میان تولیدکنندگان و عموم مردم باعث تلاش بیشتر جهت حفظ کشاورزی پایدار می‌شود. همچنین مقاوم شدن تعدادی از آفات به یک یا چند آفت‌کش تولیدکنندگان را وادار می‌سازد به دنبال راهکارهای مدیریتی جایگزین باشند (Frank. 2010). دیربازی است که بشر از میکروارگانیسم به‌دلیل نقش مفیدشان در نظام‌های حیات بهره می‌برد. این ریزجانداران اثرات زیادی بر انسان، حیوان و همچنین حیات گیاهی دارند. در نیمه دوم قرن اخیر، نقش این میکروارگانیسم‌ها در

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-08-04]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.3.4.2]

کشاورزی تحت عنوان کود زیستی و به دنبال آن آفت‌کش‌های میکروبی شناخته شد. مطالعه روی میکروب‌ها در جهت تجاری‌سازی آنها در بازار جهانی، نقطه عطف جدیدی را برای پژوهشگران در کشاورزی امروزه ایجاد کرده است. آنها مواد طبیعی هستند و برای نظام‌های تغذیه‌ای و مدیریت تلفیقی آفات با میزان امنیت مناسب برای جانوران عالی و حیات گیاهی موثرند (Jahan. 2015). آفت‌کش‌های زیستی به آفت‌کش‌هایی گفته می‌شود که از منابع طبیعی مانند حیوانات، گیاهان، باکتری‌ها و برخی مواد معدنی به دست می‌آیند. کل تولید جهانی آفت‌کش‌های زیستی بیش از ۳۰۰۰ تن در سال است که به سرعت در حال افزایش است (Arakere et al. 2022). در واقع آفت‌کش‌های زیستی گروهی از ترکیبات با منشا طبیعی یا میکروارگانیسم‌هایی هستند که به‌عنوان عوامل مهارکننده رشد آفت‌های کشاورزی شناخته می‌شوند. این ترکیبات به سه گروه مختلف شامل آفت‌کش‌های بیوشیمیایی، آفت‌کش‌های میکروبی و ترکیبات زیستی که در گیاهان مهندسی ژنتیک شده برای مقاومت گیاهان در برابر آفت‌ها تولید می‌شوند، تقسیم شده‌اند. آفت‌کش‌های میکروبی شامل میکروارگانیسم‌های گوناگون از قبیل باکتری‌ها، قارچ‌ها، ویروس‌ها و پروتوزوئرها هستند و بزرگترین گروه از آفت‌کش‌های زیستی، حشره‌کش‌های میکروبی هستند. تاکنون در حدود ۱۰۰ گونه میکروارگانیسم با عملکرد حشره‌کشی شناسایی شده است. برخی از این حشره‌کش‌ها از قبیل باکتری *Bacillus thuringiensis* از گذشته به‌عنوان آفت‌کش موثر و ایمن علیه لاروهای بال پولک‌داران مورد استفاده قرار گرفته‌اند. باکتری *B. thuringiensis* (Bt) در مرحله اسپورزایی، کریستال‌های پروتئینی متشکل از گروه‌های مختلف سموم cry و cyt را ترشح می‌کند. پروتئین‌های cry برای راسته‌های حشرات Lepidoptera و Coleoptera، Hymenoptera، Diptera و همچنین نماتدها سمی است (Sadeghi et al. 2016). به‌تازگی استفاده از گونه‌های دیگر میکروبی به‌منظور مهار رشد و گسترش آفات افزایش یافته است. به‌طورکلی این آفت‌کش‌ها در ۴ مدل مختلف به صورت اسپورهای کریستالی شده (*B. thuringiensis*)، انگل اجباری (*Bacillus popilliae*)، بیماریزاهای بالقوه (*Serratia marcesens*) و بیماریزاهای اختیاری (*Pseudomonas aeruginosa*) قرار دارند که دو گروه اول از جمله مهمترین آفت‌کش‌های میکروبی محسوب می‌شوند. آفت‌کش‌های زیستی به‌دلیل عدم سمیّت برای سایر موجودات و عملکرد

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-08-04]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.3.4.2]

اختصاصی بر آفت، برای محیط زیست مفید هستند. از دیگر فواید استفاده از آفت‌کش‌های زیستی می‌توان به زیست تخریب‌پذیری و تاثیر این ترکیبات در غلظت‌های کم بر روی آفات اشاره کرد (Valipour et al. 2018).

آفت‌کش‌های میکروبی

آفت‌کش میکروبی به آفت‌کش‌هایی گفته می‌شود که حاوی میکروارگانیسم‌های زنده یا فرآورده‌های حاصل از آنها باشد (Glare and Moran-diez, 2016). تاریخچه استفاده از آفت‌کش‌های میکروبی به حدود صد سال پیش برمی‌گردد. در سال ۱۹۳۸، sporeine به‌عنوان فرآورده تجاری *B. thuringiensis* در فرانسه وارد بازار شد و 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* (var. kurestaki) در سال ۱۳۵۴ برای کنترل 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 چشمگیرتر شد (Marzban and Naimi, 2018). اولین علف‌کش زیستی mycoherbicide بود که در سال ۱۹۸۱ بر پایه قارچ *Phytophthora palmivora* ساخته شد. باکولوویروس‌ها، بیماریزاهایی هستند که به حشرات و سایر بندپایان حمله می‌کنند. اکثر باکولوویروس‌های مورد استفاده به‌عنوان BCA (biocontrol Agent) از جنس *Nucleopolyhedrovirus* هستند. این ویروس‌ها کاندیدایی عالی برای حشره‌کشی با طیف محدودی از گونه‌ها هستند که هیچ تاثیر منفی بر گیاهان، پستانداران، پرندگان، ماهی‌ها یا حتی حشرات غیرهدف ندارند. *Cydia pomonella granulosis virus* (CpGV) یک گرانولوویروس از خانواده *Baculoviridae* است که به‌عنوان آفت‌کش نیز استفاده می‌شود (Pandya. 2018). اکتینومیست‌ها (*Actinomycetes*) بخش بزرگی از جامعه میکروبی ریزوسفر را شامل می‌شوند و قادر به کلنیزه کردن ریشه گیاهان هستند (Ebrahimi-Zarandi et al. 2021).

این گروه از باکتری‌ها به‌عنوان عوامل کنترل زیستی کارآمد بیماریزاهای مختلف خاک از طریق تولید طیف وسیعی از آنتی‌بیوتیک‌ها با عملکرد ضد باکتریایی و ضد قارچی علیه گونه‌های

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-08-04]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.3.4.2]

Rhizoctonia ،*Fusarium*, *Phytophthora* spp. ،spp. *Pythium* spp. ،*Verticillium* spp. و *Alternaria* sp. (Hassanisaadi et al. 2021) (Aghighi et al. 2004) گزارش شده‌اند. گونه‌هایی از جنس *استرپتومایسس* (*Streptomyces*) که بزرگترین جنس در میان اکتینومیست‌ها است، به‌عنوان عوامل کنترل‌کننده قارچ‌ها و باکتری‌های بیماریزا و همچنین تحریک کننده رشد گیاهان معرفی شده‌اند. عده‌ای از این باکتری‌ها علاوه بر کاربرد وسیع در حوزه تولید کودها و سموم زیستی قادرند تا ۱۳ ٪ نمک را در زمین‌های شور تحمل کرده و رشد کنند (Karimi et al. 2019).

از جمله کاربردهای جانبی آفت‌کش و کودهای زیستی، کاهش نیترات در محصولات کشاورزی است. امروزه استفاده بیش از حد از کودهای شیمیایی در گلخانه‌ها منجر به تجمع سطوح بالای نیترات در سبزیجات و صیفی‌جات شده است. باکتری‌های موجود در کودهای زیستی می‌توانند عناصر غذایی را از شکل غیرقابل استفاده یا نامحلول به شکل قابل استفاده یا محلول تبدیل کنند. مطالعات زیادی نشان می‌دهند که کودهای زیستی محتوای نیترات میوه را کاهش داده و کیفیت آن را افزایش می‌دهند. مکانیسمی که باکتری‌ها به وسیله آن باعث کاهش نیترات میوه می‌شوند، هنوز مشخص نشده است اما یک علت آن می‌تواند کاهش محتوای نیترات در خاک ریزوسفر باشد (Nasirzadeh et al. 2021).

فرمولاسیون آفت‌کش‌های میکروبی

یکی از مواردی که در بحث استفاده اقتصادی عوامل میکروبی مطرح است، فرمولاسیون این عوامل است. در این ارتباط فرمولاسیونی مناسب است که کارآیی و دوام بالایی داشته و در برابر شرایط محیطی مقاومت زیادی نشان دهد. کاربردی‌ترین و رایج‌ترین فرمولاسیون آفت‌کش‌های میکروبی شامل امولسیون (EC)، سوسپانسیون غلیظ (SC)، پودر وتابل (WP)، گرانول قابل تعلیق در آب (WG)، فرمولاسیون‌های پوششی (Coating) و میکروکپسول (MC) است (Marzban and Naimi, 2018). آفت‌کش‌های میکروبی یک چالش فرمولاسیون منحصر به فرد را برای شیمیدانان و زیست‌شناسان علاقه مند به توسعه این جایگزین‌های سازگار با محیط زیست برای سموم شیمیایی ارائه می‌دهند. کلید این موفقیت‌ها در تمایل پژوهشگران دانشگاهی و صنعتی برای همکاری با یکدیگر و در نظر گرفتن راه‌های جدید فرمولاسیون میکروبی است که فراتر

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-08-04]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.3.4.2]

از فرمولاسیون‌های توسعه‌یافته برای مواد شیمیایی باشد (McGuire et al. 2023).

شرکت‌های بزرگ آفت‌کش‌های زیستی در دنیا

شرکت‌های عمده‌ای که آفت‌کش‌های مختلف را تولید می‌کنند شامل Bayer Crop، Science AG، BASF SE، Certis LLC، Agraquest، Koppert Biological systems، Marrone Bio-innovations، Valent Biosciences هستند (Abbey et al. 2019).

نانوآفت‌کش‌های زیستی

علی‌رغم مزایای فراوان آفت‌کش‌های زیستی از نظر ویژگی‌های زیست فعالی، در محیط مزرعه به راحتی تجزیه می‌شوند و ماهیت فرار ترکیبات فعال آنها منجر به ناکارآمدی در کاربردهای مزرعه می‌شود (Zhao et al. 2017). این ویژگی‌ها مسئول کاهش کارایی آنها هستند. برای حل این چالش، بسیاری از محققین علاقه مند به توسعه فرمولاسیون‌های آفت‌کش‌های زیستی کارآمد هستند که مدیریت موثر کشاورزی را ممکن می‌سازد (Kala et al. 2020). نانو آفت‌کش‌های زیستی را می‌توان با استفاده از هر عنصر و یا اکسید فلزی مانند Cu، Ag، ZnO و SiO_2 با کارایی بالا برای حفاظت در برابر آفات و عوامل بیماری‌زا ساخت (Ungureanu. 2022). در این راستا، استفاده از ابزارهای نانوتکنولوژی برای تغییر فرمولاسیون‌های بیو آفت‌کش ناکارآمد، در جهت توسعه فرمول آفت‌کش‌های زیستی مفید و آینده‌نگر بسیار مهم است (Luiz de Oliveira et al. 2018). هدف از طراحی یک فرمول مبتنی‌بر نانو، بهبود خواص آفت‌کش‌های زیستی است (Gašić et al. 2013). فرمول معمولی در ابتدا بر اساس محلول‌های حلال ساده کنسانتره‌های امولسیون‌پذیر (ECs) یا مخلوط پودری شامل فرمول پودرهای مرطوب‌کننده (WPs) توسعه می‌یابد. فرمول‌های نسل جدید را می‌توان از طریق امولسیون روغن در آب (EW) و فرمول میکروامولسیون‌ها (MEs) برای دستیابی به پراکندگی‌های همگن توسعه داد. جدیدترین فرمول نانوامولسیون‌ها (NEs) شامل پراکندگی روغن در آب با قطره نانو، اندازه (۱۰۰-۱ نانومتر) است که با استفاده از یک سورفکتانت مناسب که در ترکیبات آلی و آب محلول است و در نتیجه پایداری جنبشی را فراهم می‌کند، تهیه شده است. علی‌رغم پیشرفت‌های فراوان در مورد حشره‌کش‌های زیستی با فرمولاسیون نانو، و همچنین کاربرد گسترده آن، مسائل زیست‌محیطی مانند مقاومت در برابر آفات همچنان وجود دارد.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-08-04]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.3.4.2]

فرمول‌های نانویی آفت‌کش‌های زیستی دارای مزایای مفید، از جمله افزایش اثربخشی و کارایی (پراکندگی خوب، ترشوندگی مناسب و چسبیدن دقیق به هدف موردنظر) با خواص بهبود یافته هستند (Melanie et al. 2022).

مسیر تجاری‌سازی آفت‌کش‌های میکروبی در ایران

به دلیل ماهیت عوامل زیستی کنترل آفات بعضی از ملزومات اطلاعاتی برای تصویب این عوامل با اطلاعات مربوط به تصویب آفت‌کش‌های شیمیایی متفاوت است. دستورالعمل تصویب آفت‌کش‌های میکروبی توسط سازمان حفظ نباتات کشور اعلام شده است. این دستورالعمل شامل نیازهای اطلاعاتی برای درخواست تصویب از جمله شناسایی فرآورده، خواص زیستی عامل فعال، اطلاعات سم‌شناسی، اطلاعات مربوط به باقیمانده، اثرات بوم‌شناختی، اطلاعات مربوط به کارایی و مصرف، خصوصیات آفت‌کش میکروبی، نحوهٔ برچسب‌نویسی آفت‌کش‌های زیستی میکروبی، ضوابط صدور پروانه تولید عوامل میکروبی کنترل زیستی و شرایط لازم برای یک واحد تولیدی عوامل میکروبی کنترل زیستی است. در مراحل بعد، اطلاعاتی در خصوص روش برچسب‌نویسی آفت‌کش‌های زیستی میکروبی و شاخص‌های طبقه‌بندی آفت‌کش‌ها تدوین شده است (https://www.ppo.ir/fa-IR).

آفت‌کش‌های میکروبی تصویب شده در کشور

در اینجا به چند مورد از آفت‌کش‌های میکروبی تصویب‌شده در ایران که در سایت حفظ نباتات کشور ذکر شده‌اند اشاره شده است: حشره‌کش زیستی باکتوسپین با فرمولاسیون ۹۰٪ WP با عامل فعال *Bacillus thuringiensis* subsp. kurstaki برای کنترل ابریشم‌باف ناجور درختان جنگلی، حشره‌کش زیستی MVP با فرمولاسیون ۹۰٪ WP با عامل فعال *B. thuringiensis* subsp. kurstaki برای کنترل ابریشم‌باف ناجور درختان جنگلی، حشره‌کش زیستی بایولپ با فرمولاسیون SC با عامل فعال *B. thuringiensis* subsp. kurstaki برای کنترل خوشه‌خوار انگور، حشره‌کش زیستی بایولپ پی با فرمولاسیون WP با عامل فعال *B. thuringiensis* subsp. kurstaki برای کنترل بید کلم و کرم غوزه پنبه، حشره‌کش زیستی ناتورالیس ال با فرمولاسیون ۷/۱۶٪ SC با عامل فعال *Beauveria bassiana* برای کنترل آفت عسلک پنبه، حشره‌کش زیستی مایکوتال با فرمولاسیون WP با عامل فعال *Lecanicillium muscarium* برای کنترل آلرود گلخانه با نام علمی *Trialeurodes vaporariorum*

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-08-04]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.3.4.2]

برای محصولات هدف شامل سبزیجات و گل‌های زینتی گلخانه، حشره‌کش زیستی کاپسانم با عامل فعال نماتد بیمارگر حشرات *Steinernema carpocapsa* به میزان ۸۶٪ برای کنترل تلفیقی بید سیب‌زمینی با نام علمی *Phthorimaea operculella* برای محصولات هدف شامل سبزیجات و گل‌های زینتی گلخانه، قارچ‌کش زیستی تریانوم پی با فرمولاسیون WP با عامل فعال *Trichoderma harzianum* T22 برای کنترل پژمردگی فوزاریومی خیار با عامل *Fusarium oxysporum* f.sp. radices- *cucumerinum* برای محصول هدف خیار گلخانه ای و بوته میری با سه عامل *Phytophtora* spp.، *Rhizoctonia* spp. و *Fusarium oxysporum* برای محصول هدف گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای، قارچ‌کش زیستی تالارومین با فرمولاسیون ذرات جامد قابل انتشار در آب با عامل فعال *Talaromyces flavus* V PO TF 52 برای کنترل پژمردگی ورتیسیلیومی گونه‌های *Verticillium albo-atrum* و *V. dahliae* برای محصولات هدف شامل سیب‌زمینی، قارچ‌کش زیستی چانگ می با فرمولاسیون WP با عامل فعال *Bacillus subtilis* برای کنترل بلاست برنج با نام علمی *Magnaporthe grisea* در شرایط مزرعه، قارچ‌کش زیستی تریانوم جی با فرمولاسیون G با عامل فعال *Trichoderma harzianum* T22 برای کنترل بیماری بوته میری با عامل *Fusarium* spp. برای طالبی و بوته میری با عامل *Fusarium* spp.، *Rhizoctonia* spp. و *Pythium* spp. برای گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای، قارچ‌کش زیستی پارس باسیل با فرمولاسیون SC با عامل فعال *B. velezensis* strain RTS-M11 برای کنترل بوته میری فوزاریومی با نام علمی *F. oxysporum* بر روی محصول هدف گوجه‌فرنگی گلخانه ای، قارچ‌کش زیستی سرنادوآسو با فرمولاسیون SC با عامل فعال *B. subtilis* QST ۷۱۳ برای کنترل کپک خاکستری با نام علمی *Botrytis cinerea* برای محصول هدف توت‌فرنگی گلخانه‌ای، قارچ‌کش زیستی رویین ۱ با فرمولاسیون پودر مرطوب با عامل فعال *B. subtilis* strain BS106 برای کنترل پوسیدگی رایزوکتونیایی ریشه با عامل *Rhizoctonia solani* بر روی محصول هدف چغندر قند (https://www.ppo.ir/fa-IR).

نکته قابل توجه در تولید عوامل بیوکنترل این است که دستیابی به شرایط بهینه کشت سویه برتر میکروبی نقش قابل توجهی در تولید صنعتی آن دارد و عواملی مانند نوع محیط کشت، افزودنی‌های ضروری، دما و اسیدیته باید برای

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-08-04]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.3.4.2]

تکثیر جمعیت باکتری همراه با حفظ فیزیولوژی سلول در نظر گرفته شوند (Abbasi et al. 2020).

کودهای زیستی

اغلب بیوکنترل‌های زیستی علاوه بر ممانعت از بیمارگرها و یا ایجاد بیماری خصوصیات کودی و محرک رشد گیاهی نیز از خود نشان می‌دهند که بنابر هدف مورد استفاده و ارجحیت کارآیی، آنها را در دسته کود و یا سم زیستی قرار می‌دهند. کودهای زیستی دارای عملکرد چندگانه‌ای در نظام کشاورزی هستند و موجب بهبود کیفیت فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک می‌شوند (Fathi et al. 2016). با نظر به اینکه در اکثر موارد، کمیت و کیفیت عناصر غذایی خاک در حد مطلوب نیست، کودهای زیستی به‌منظور تامین عناصر غذایی مطلوب موردنیاز گیاهان تولید می‌شوند (Yazdani et al. 2010).

امروزه کودهای زیستی به‌عنوان جایگزین کودهای شیمیایی برای افزایش حاصلخیزی خاک و عملکرد بهتر محصولات کشاورزی در بحث کشاورزی پایدار مطرح شده‌اند. کودهای زیستی همچنین از طریق فرآیندهای زیستی عناصر غذایی را در خاک از حالت غیرقابل دسترس به حالت قابل دسترس برای گیاه درآورده و به‌عنوان مایه تلقیح میکروبی استفاده می‌شوند (Braun and Colla, 2023).

انواع کودهای زیستی

از مهمترین انواع کودهای زیستی عبارتند از:

ورمی کمپوست: کود ورمی کمپوست توسط گونه‌هایی از کرم خاکی تولید می‌شود. این کرم‌ها با زیر و رو کردن خاک و همچنین تغذیه عناصر موجود در خاک و آمیختن آن با آنزیم‌های گوارشی خود خاک را اصلاح کرده و با حرکات خود در خاک، راه نفوذ اکسیژن به آن را باز می‌کنند (Raza et al. 2022). کودهای زیستی باکتریایی: از جمله پرکاربردترین کودهای زیستی باکتریایی کودهایی هستند که منشا آنها باکتری‌های *ریزوبیوم* (*Rhizobium*)، *ازتوباکتر* (*Azotobacter*)، *ازوسپریلیوم* (*Azospirillum*) و *سودوموناس* (*Pseudomonas*) هستند. این باکتری‌ها در تثبیت نیتروژن، تحریک رشد گیاهان، افزایش ترشح هورمون‌های گیاهی و سیدروفورها، تولید اسیدهای آلی و در نهایت کنترل زیستی عوامل بیماریزای گیاهی اهمیت زیادی دارند (Soares. 2022).

کود زیستی قارچ مایکوریزایی: مایکوریزا گروهی از قارچ‌های همزیست با ریشه گیاهان

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-08-04]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.3.4.2]

هستند که باعث افزایش توانایی و مقاومت در مقابل عوامل میکروبی در گیاه می‌شوند. این قارچ‌ها با نفوذ به ریشه گیاهان باعث القای رشد طولی ریشه می‌شوند. یکی از مهمترین اثرات قارچ‌های مایکوریز افزایش عملکرد گیاهان بخصوص در خاک‌هایی با حاصلخیزی پایین است. همچنین از طریق افزایش جذب آب، افزایش مقاومت در برابر تنش‌های زنده و غیر زنده باعث بهبود رشد و نمو عملکرد گیاهان میزبان در سیستم کشاورزی پایدار می‌شوند (Kuila and Ghosh, 2022).

میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات: این میکروارگانیسم‌ها با تولید متابولیت‌ها و ترشح در خاک روی عناصر معدنی و ترکیبات آلی فسفاته اثر گذاشته و موجب آزادسازی فسفر و حل شدن آن در محلول خاک گشته و آن را در دسترس گیاه قرار می‌دهند. مهمترین میکروارگانیسم‌های حل کننده فسفات از باکتری‌ها *Bacillus* spp. و *Pseudomonas* spp. و از قارچ‌ها جنس‌های *Aspergillus* و *Penicillum* هستند (Amarasinghe et al. 2022).

میکروارگانیسم‌های اکسیدکننده گوگرد: اکسایش گوگرد در خاک باعث تامین سولفات مورد نیاز گیاه شده و همچنین باعث کاهش pH خاک و بهبود جذب عناصری مانند Zn، Fe و P می‌شوند. در بین میکروارگانیسم‌هایی که باعث اکسایش گوگرد می‌شوند، باکتری *تیوباسیلیوس* (*Thiobacillus*) نقش مهمتری دارد (Nguyen et al. 2022).

تجزیه و تحلیل خطرات

میکروارگانیسم‌هایی که به‌عنوان BCA به صورت کودها و سموم زیستی استفاده می‌شوند باید اثربخشی مناسب داشته و خطری برای محیط زیست و انسان و حیوانات نداشته باشند. از جمله خطرات سموم زیستی قارچی این است که طیف وسیعی از متابولیت‌ها توسط قارچ‌ها ترشح می‌شوند که برخی از این متابولیت‌ها برای انسان و حیوانات سمی هستند (Vey et al. 2001). این نگرانی وجود دارد که متابولیت‌های قارچی سمی ممکن است وارد زنجیره غذایی شوند و خطراتی را برای انسان و حیوانات ایجاد کنند. یکی دیگر از خطرات سموم زیستی، ماندگاری این سموم در طبیعت است. از جمله این سموم، سم Bt است. ماندگاری سم Bt ظاهراً نتیجه اتصال خاک به ذرات فعال سطحی است که تجزیه زیستی سم را کاهش می‌دهد. انتشار سم ممکن است کنترل حشرات و سایر عوامل بیماریزا را تقویت کند یا تهدیدی برای گونه‌های غیر هدف از جمله

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-08-04]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.3.4.2]

میکروبیوتای خاک باشد (Rajashekhar et al. 2021).

نتیجه گیری نهایی

بیش از ۴۰ درصد از تولید جهانی محصولات کشاورزی به‌دلیل آفات و بیماری‌های گیاهی از بین می‌روند (Chakraborty and Newton, 2011). کشاورزان معمولا برای مدیریت آفات و افزایش بازده محصولات کشاورزی به فناوری‌های شیمیایی وابسته‌اند (Agilinejad et al. 2006). امروزه بیش از ۳۰۰ ترکیب شیمیایی پرخطر از جمله سموم و کودهای شیمیایی با هدف حاصلخیزی خاک، کنترل آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز در بخش کشاورزی مصرف می‌شوند (Mojarradi et al. 2013). این آفت‌کش‌ها بر منابع آبی، اکوسیستم و همچنین انسان تاثیرات منفی می‌گذارند. این مواد به‌عنوان جهش‌زاهای احتمالی در نظر گرفته شده‌اند زیرا دارای اجزایی برای ایجاد انحراف در دی.اِن.ا هستند (Hassaan and Nemr, 2020). تخمین زده می‌شود که حدود ۳۸۵ میلیون مورد مسمومیت ناخواسته و حاد با آفت‌کش‌ها، سالانه در سراسر جهان رخ می دهد که حدود ۱۱۰۰۰ مرگ و میر را شامل می‌شود (Boedeker et al. 2020). در بین اقشار مختلف جامعه، کشاورزان به‌طور مستقیم و غیرمستقیم با سموم شیمیایی سر و کار دارند. طبق برآوردهای سازمان بهداشت جهانی، سالیانه حدود سه میلیون نفر کارگر کشاورزی مسموم می‌شوند و تعدادی از آنها می‌میرند که این امر نیز یکی از اثرات منفی مصرف سموم شیمیایی است (Mousavi et al. 2013). به‌طور کلی ماهیت آفت‌کش‌های شیمیایی مخاطره‌آمیز است و از طرف دیگر ضعف مدیریت و برنامه‌ریزی در بسیاری از کشورها باعث شده است که کاربرد آنها به‌عنوان اکسیر معجزه‌گر در بسیاری از کشورها تلقی شود. این ضعف‌ها شامل استفاده غیراصولی از کشاورزی ارگانیک، مدیریت تلفیقی آفات و کنترل زیستی، همچنین عدم استفاده از جایگزین‌های سموم شیمیایی و یا ضعف در به کارگیری این جایگزین‌ها از جمله سموم و کودهای زیستی است (Khorramnejadian and Gehvarband, 2014). مطالعه و پژوهش در ارتباط با ماهیت سموم و کودهای زیستی، روش استفاده و فرمولاسیون آنها، مدت زمان نگهداری، زمان و شرایط کاربرد عوامل زیستی و همچنین خطرات زیست محیطی آنها لازم و ضروری است. استفاده از میکروارگانیسم‌ها در صنعت نیاز به دانش کامل و استفاده از علم زیست فناوری میکروبی دارد. دریافت مجوزهای لازم و طی مراحل قانونی ثبت

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-08-04]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.3.4.2]

آفت‌کش در ایران در سایت حفظ نباتات کشور آورده شده است. از جمله امور لازم برای تقویت جایگزینی و استفاده بیشتر از سموم و کودهای زیستی، رعایت قوانین و مقررات ذکر شده در سایت حفظ نباتات کشور توسط تولیدکنندگان از یک سو و حمایت مالی دولت از تولیدکنندگان، بسترسازی مناسب جهت کاربرد بیشتر و جایگزینی بهتر سموم زیستی با سموم شیمیایی و همچنین تربیت نیروی انسانی متخصص جهت پژوهش و اجرا و آموزش به کشاورزان از سوی دیگر است.

فهرست منابع

References

Abbasi S, Sadeghi A, Safaie N. 2020. Biocontrol of cucumber damping-off by *Streptomyces* Strains producing siderophore and cellulase under extreme condition. Biological Journal of Microorganism. 20: 1-3. (In Farsi with English abstract).

Abbey L, Abbey J, Leke-Aladekoba A, Iheshiulo EM, Ijenyo M. 2019. Biopesticides and biofertilizers: types, production, benefits, and utilization. Byproducts from Agriculture and Fisheries: Adding Value for Food, Feed, Pharma, and Fuels. 14: 479-500.

Aghighi S, Shahidi Bonjar GH, Rawashdeh R, Batayneh S, Saadoun I. 2004. First report of antifungal spectra of activity of Iranian actinomycetes strains against *Alternaria solani, Alternaria alternate, Fusarium solani, Phytophthora megasperma, Verticillium dahliae* and *Saccharomyces cerevisiae*. Asian Journal of Plant Sciences. 3: 463-71.

Agilinejad M, Farshad A, Aliasghar F, Naqvi M. and Haqqani H. 2006. Investigating the relationship between the use of pesticides and its effects on the health of farmers in different provinces of the country. Iran Occupational Health Journal. 3: 1-2. (In Farsi with English abstract).

Amarasinghe T, Madhusha C, Munaweera I, Kottegoda N. 2022. Review on Mechanisms of Phosphate Solubilization in Rock Phosphate Fertilizer. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 28: 944-60.

Arakere UC, Jagannath S, Krishnamurthy S, Chowdappa S, Konappa N. 2022. Microbial bio-pesticide as sustainable solution for management of pests: achievements and prospects. Biopesticides. 1: 183-200.

Boedeker W, Watts M, Clausing P, Marquez E. 2020. The global distribution of acute unintentional pesticide poisoning: estimations based on a systematic review. BMC public health. 20: 1-9.

Bras A, Roy A, Heckel DG, Anderson P, Karlsson Green K. 2022. Pesticide resistance in arthropods: Ecology matters too. Ecology Letters. 25: 1746-59.

Braun JC and Colla LM. 2023. Use of Microalgae for the Development of Biofertilizers and Biostimulants. BioEnergy Research. 16: 289-310.

Chakraborty S and Newton AC. 2011. Climate change, plant diseases and food security: an overview. Plant pathology. 60:2-14.

Ebrahimi-Zarandi M, Bonjar GH, Riseh RS, El-Shetehy M, Saadoun I, Barka EA. 2021. Exploring two *Streptomyces* species to control *Rhizoctonia solani* in tomato. Agronomy. 8: 1384.

Fathi A, Fernia A, Maliki A. 2016. The effect of nitrogen and phosphorus biological fertilizers on vegetative characteristics, dry matter and corn yield. Agricultural Applied Research. 20: 1-7. (In Farsi with English abstract).

Frank SD. 2010. Biological control of arthropod pests using banker plant systems: past progress and future directions. Biological Control. 1: 8-16.

Gašić S and Tanović B. 2013. Biopesticide formulations, possibility of application and future trends. Pesticidi i fitomedicina. 28: 97-102.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-08-04]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.3.4.2]

Glare T and Moran-Diez M. 2016. Microbial-based biopesticides: Methods and protocols. Humana Press imprint published by Springer Nature. 59-60.
Hassaan MA and El Nemr A. 2020. Pesticides pollution: Classifications, human health impact, extraction and treatment techniques. The Egyptian Journal of Aquatic Research. 1: 207-20.
Hassanisaadi M, Shahidi Bonjar GH, Hosseinipour A, Abdolshahi R, Ait Barka E, Saadoun I. 2021. Biological control of *Pythium aphanidermatum*, the causal agent of tomato root rot by two *Streptomyces* root symbionts. Agronomy. 26: 846.
https://www.ppo.ir/fa-IR
Jahan M, Azim Zadeh J and Abdullahi M. 2015. A comprehensive and practical guide to biological fertilizers and microbial pesticides for sustainable agriculture. Agricultural Education and Promotion Publications. (In Farsi with English abstract).
Kala S, Sogan N, Agarwal A, Naik SN, Patanjali PK, Kumar J. 2020. Biopesticides: Formulations and delivery techniques. InNatural Remedies for Pest, Disease and Weed Control. 1: 209-220.
Karimi E, Sadeghi A, Mahmoudi M. 2019. Biotechnology and biofertilizers in Iran and the world. Agricultural Engineering and Natural Resources. (In Farsi with English abstract).
Khorramnejadian Sh and Gehvarband S. 2014. Review of types of biological pesticides in agricultural pest management, first international comprehensive environmental conference. (In Farsi with English abstract).
Kuila D and Ghosh S. 2022. Aspects, problems and utilization of Arbuscular Mycorrhizal (AM) application as bio-fertilizer in sustainable agriculture. Current Research in Microbial Sciences. 23:100107.
Luiz de Oliveira J, Ramos Campos EV, Fraceto LF. 2018. Recent developments and challenges for nanoscale formulation of botanical pesticides for use in sustainable agriculture. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 3: 913-8898.
Marzban R and Naimi S. 2018. A review of microbial pesticide formulations. Biological control in herbal medicine.7: 39-55. (In Farsi with English abstract).
McGuire MR, Connick WJ, Quimby PC. 2023. Formulation of microbial pesticides. InControlled-release delivery systems for pesticides. 13: 173-193.
Melanie M, Miranti M, Kasmara H, Malini DM, Husodo T, Panatarani C, Joni IM, Hermawan W. 2022. Nanotechnology-based bioactive antifeedant for plant protection. Nanomaterials. 14: 630.
Mijani R, Shahidi Bonjar GH, Aghighi S, Sadeghi A. 2021. Evaluating the effects of soil-borne Streptomyces spp. on tomato growth indices under biotic stress condition caused by Phytophthora nicotianae. Biological Journal of Microorganism. 22: 57-70. (In Farsi with English abstract).
Mojarradi gh, Saida Shirin G, Atai H. 2013. Analysis of structures promoting and hindering the acceptance of organic agriculture from the point of view of Zanjan agricultural Jihad experts. Journal of Agricultural Education and Extension Sciences.10: 11-15. (In Farsi with English abstract).
Mousavi M. Khosravipour B, Surkhi A. 2013. Identifying the factors affecting the attitude of the green farmers of Bavi city of Khuzestan province towards organic agriculture. Rural Development Strategies Quarterly. 1: 105-116. (In Farsi with English abstract).
Muenchrath DA, Sandor JA, Norton JB, Homburg JA. 2023. Maize experiment in a traditional Zuni agroecosystem: nutrient composition. Agroecology and Sustainable Food Systems. 7: 162-87.
Nasirzadeh F, Eigharlou M, Khelghatibana F, Sadeghi A. 2021. Nitrate and nitrite: Sources, impact on human health and reduction of nitrate accumulation in agricultural products using bio-fertilizers. 14: 1-16. (In Farsi with English abstract).
Neelima G, Madhuri G, Shaila O. 2021. Microbial pesticides for insect pest management: Success and risk analysis. Int. J. Environ. Clim. Chang. 11: 18-32.
Nguyen PM, Do PT, Pham YB, Doan TO, Nguyen XC, Lee WK, Nguyen DD, Vadiveloo A, Um MJ, Ngo HH. 2022. Roles, mechanism of action, and potential applications of sulfur-oxidizing bacteria for environmental bioremediation. Science of The Total Environment. 852: 158203.
Pandya IY. 2018. Pesticides and their applications in agriculture. Asian J Appl Sci Technol. 2: 894-900.
Rajashekhar M, Rajashekar B, Sathyanarayana E, Keerthi MC, Kumar PV, Ramakrishna K, Vanisree K, Raza ST, Wu J, Rene ER, Ali Z, Chen Z. 2022. Reuse of agricultural wastes, manure, and biochar as an organic amendment: A review on its implications for vermicomposting technology. Journal of Cleaner Production. 12: 132200.
Sadeghi M, Sadeghi A, Karimi E. 2016. A review on *Bacillus thuringiensis* Berliner (Bt) as bioinsecticide. Journal of Biosafety. 10: 99-114. (In Farsi with English abstract).
Soares EV. 2022. Perspective on the biotechnological production of bacterial siderophores and their use. Applied Microbiology and Biotechnology. 106: 3985-4004.
Ungureanu C. 2022. Nano bio pesticide: today and future perspectives. InBiopesticides. 1: 201-206 .

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-08-04]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.3.4.2]

Valipour R, Razavi Z, Varesh Zare R. 2018. Biological pesticides and their application in agriculture, the first national conference of new technologies in the field of chemical engineering and biological sciences, Tehran. (In Farsi with English abstract).
Vey A, Hoagland RE, Butt TM. 2001. 12 Toxic metabolites of fungal biocontrol agents. Fungi as Biocontrol Agents. 311.
Yazdani M, Pirdashti H, Esmaeili MA, Bahmaniar M. 2010. Effect of inoculation phosphate solubilization microorganisms (PSM) and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on nutrient use efficiency in corn (Zea mays L.) cultivation. 3: 32301.
Zhang X, Ma T, Cheng C, Lv J, Bai H, Jiang X, Zhang Y, Xin H. 2022. Effects of waste milk on growth performance, immunity, and gut health of dairy calves. Animal Feed Science and Technology. 285: 115241.
Zhao X, Cui H, Wang Y, Sun C, Cui B, Zeng Z. 2017. Development strategies and prospects of nano-based smart pesticide formulation. Journal of agricultural and food chemistry. 27: 6504-6512.

An Overview of the Importance and Path of Commercialization of Agricultural Microbial Biocontrol Products in Iran

Toktam Ataei Salami[1*], Gholamhossein Shahidi Banjar[2], Akram Sadeghi[3], Hasan Darem[4]
1- Ph.D. student in Plant Pathology, Shahid Bahonar University, Kerman, Kerman, Iran.
2- Full Professor, Department of Plant Pathology, Shahid Bahonar University, Kerman, Kerman, Iran.
3- Assistant Professor of Microbial Biotechnology Department, Agricultural Biotechnology Research Institute (ABRII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
4- Graduate of the master's degree in Genetic and Plant Breeding Engineering, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.
ataeisalami10@gmail.com

Abstract

Awareness of the long-term adverse effects of chemical pesticides has led to the use and acceptance of less harmful approaches and alternative applications such as biological methods as promising and sustainable methods for managing plant diseases and pests. The production of agricultural biocontrol agents in each country is carried out according to the laws and instructions of the agricultural organizations of that country and enters the market according to specific rules and through different stages to obtain a license. In Iran, the implementation and monitoring of the laws related to the production of agricultural biocontrol products are carried out under the supervision of the Plant Protection Organization and the cooperation of several other organizations. In this article, an overview of the importance of using biocontrol agents in the agricultural sector and the stages of obtaining a license and production and how to supply to domestic markets is given.

Keywords: Microbial Pesticides, Plant Diseases, Commercialization, Chemical Toxins, Biocontrol Products.

[Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2025-08-04]

[DOR: 20.1001.1.27170632.1401.15.3.4.2]