

مطالعه اهمیت باکتری‌ها در صنعت کشاورزی

فاطمه مینابی پور^۱

۱- دانشجوی کارشناسی رشته میکروبیولوژی، گروه علوم پایه- زیست شناسی دانشگاه شیراز، ایران

چکیده:

باکتری‌های مفید خاک و ریزوسفری (Plant growth-promoting bacteria; PGPB) نقش محوری در بهبود حاصلخیزی خاک، افزایش رشد گیاه، کنترل عوامل بیماری‌زا و افزایش تحمل گیاهان به استرس‌های زیستی و غیرزیستی دارند. استفاده از این میکروارگانیسم‌ها می‌تواند وابستگی به کودها و آفت‌کش‌های شیمیایی را کاهش دهد و کشاورزی را به سمت پایدارتر و کم‌هزینه‌تر سوق دهد. این مقاله مروری، مکانیسم‌های اصلی (ثابت‌سازی نیتروژن، حل‌کنندگی فسفات، تولید هورمون‌های رشد، بیوکنترل)، کاربردهای صنعتی و موانع ترجمه یافته‌های تحقیقاتی به محصولات تجاری را از مطالعات ۲۰۲۰ به بعد جمع‌بندی می‌کند.

کلیدواژه‌ها: میکروبیوم، باکتری، صنعت کشاورزی

مقدمه:

رشد جمعیت جهانی و نیاز به افزایش تولید غذا در حالی رخ می‌دهد که منابع خاک و آب محدود است و مصرف گسترده کودها و آفت‌کش‌های شیمیایی پیامدهای زیست‌محیطی (آلودگی، از دست رفتن تنوع میکروبیاتی) به دنبال دارد [۴]. برای مقابله با این چالش‌ها، تحقیقات اخیر بر روی نقش میکروبیوم ریشه و بکارگیری باکتری‌های مفید در کشاورزی متمرکز شده‌اند [۲]. شواهد نشان می‌دهد که مدیریت هدفمند میکروبیوم می‌تواند عملکرد محصولات و تاب‌آوری آن‌ها را افزایش دهد [۵].

مواد و روش:

برای تهیه این مرور، جستجوی سیستماتیک در گوگل اسکولار و پایگاه‌های اصلی (PubMed/PMC, ScienceDirect, MDPI, Frontiers) برای مقالات مروری و تحقیقاتی منتشرشده از ژانویه ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۵ انجام شد. کلیدواژه‌ها شامل: "plant growth-promoting bacteria", "rhizosphere microbiome", "biological control bacteria", "PGPB review 2020-2025" بودند. از میان نتایج، مقالات مروری و شواهد تجربی با تمرکز بر کاربردهای عملی و شواهد مزرعه‌ای انتخاب شدند [۱][۶].

نتایج تحقیق:

نقش میکروبیوم ریزوسفر و سازوکارهای رشد محوری: میکروبیوم ریشه شامل باکتری‌ها و سایر میکروارگانیسم‌هاست که با مکانیسم‌های متنوعی (تولید هورمون‌های رشد مثل IAA، تسهیل جذب عناصر، حل‌کنندگی فسفات، تولید آنزیم‌ها و توکسین‌های ضدپاتوژن) رشد گیاه را تسهیل می‌کنند [۲][۷].

ثابت‌سازی نیتروژن و باکتری‌های ازت‌ثابت‌کن (مثلاً *Rhizobium*، *Azospirillum*): استفاده از باکتری‌های ازت‌ثابت‌کن به‌ویژه در حبوبات، می‌تواند مقدار کود ازته مورد نیاز را به‌طور چشمگیری کاهش دهد و در برخی سیستم‌ها عملکرد را حفظ یا افزایش دهد؛ با این حال انسجام نتایج در مقیاس مزرعه بستگی به نوع سویه، شرایط خاک و مدیریت کشاورزی دارد [۴][۵].

کنترل بیولوژیک (Biocontrol): سویه‌هایی از *Bacillus*، *Pseudomonas* و برخی آکتینومایست‌ها به‌عنوان عوامل کنترل بیولوژیک مؤثر شناخته‌شده‌اند که از طریق تولید آنتی‌بیوتیک‌ها، رقابت برای منابع و القای سیستم ایمنی گیاهی، بیماری‌های مهم گیاهی را کاهش می‌دهند [۳].

بهبود تحمل به استرس‌های غیرزیستی (خشکی، شوری، دمای بالا): مطالعات نشان می‌دهند که برخی PGPB با تعدیل مسیرهای فیزیولوژیک گیاه (مثل تولید پروتئین‌های شوک حرارتی، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و متابولیت‌های اسمولیت) می‌توانند تحمل گیاهان را به استرس‌های غیرزیستی افزایش دهند [۲][۸].

چالش‌ها و موانع کاربرد در مقیاس تجاری: علیرغم نتایج امیدبخش آزمایشگاهی و گلخانه‌ای، ترجمه به موفقیت مزرعه‌ای و تجاری با مشکلاتی مانند پایداری سویه‌ها در خاک واقعی، تأثیر محیط بر عملکرد سویه‌ها، مقررات، و فرآیند ثبت و تولید صنعتی همراه است [۳][۶].

بحث:

منابع تغذیه و بهره‌وری کود: جایگزینی یا تکمیل کودهای شیمیایی با بیوفertilizره‌های حاوی باکتری‌های ازت‌ثابت‌کن و فسفات‌حل‌کن می‌تواند هم از نظر اقتصادی و هم از دیدگاه محیط‌زیستی مفید باشد؛ با این حال عملکرد وابسته به تعامل پیچیده خاک-گیاه-میکروب است و نیاز به آزمون‌های میدانی در پهنه‌های مختلف خاکی دارد [۴][۵].

بایوکنترل و مدیریت بیماری‌ها: باکتری‌های بیوکنترل راه‌حل پایداری برای کاهش مصرف آفت‌کش‌ها ارائه می‌دهند اما نیاز به پروتکل‌های انتخاب و کاربرد دقیق دارند (مثلاً استفاده از کنسرسیون‌ها یا فرمولاسیون‌هایی که بقا و اثربخشی را افزایش می‌دهند) [۳][۶].

مهندسی میکروبیوم و ژنتیک گیاهی: مقالات جدید نشان می‌دهند که انتخاب ژنتیکی گیاهان برای تعامل بهتر با میکروبیوم (یا معکوساً هدایت میکروبیوم) می‌تواند یک راهبرد آینده‌نگر برای افزایش کارایی PGPB باشد [۲][۷].

استانداردسازی، مقررات و پذیرش بازار: یکی از موانع کلیدی، نبود استانداردهای جهانی یکپارچه برای ارزیابی، ثبت و تولید محصولات مبتنی بر میکروارگانیسم‌هاست. تسهیل مسیرهای مقرراتی و ارائه شواهد مزرعه‌ای قوی می‌تواند پذیرش کشاورزان و سرمایه‌گذاران را افزایش دهد [۶].

نتیجه‌گیری:

باکتری‌های مفید نقش چندوجهی و تعیین‌کننده‌ای در افزایش پایداری و بهره‌وری کشاورزی دارند: از تأمین عناصر غذایی تا کنترل بیماری‌ها و افزایش تحمل به استرس‌ها. مطالعات ۲۰۲۰ به بعد روندی به سمت درک بهتر سازوکارها، مهندسی میکروبیوم و توسعه راهکارهای مزرعه‌ای نشان می‌دهند. برای انتقال موثر این دستاوردها به عمل، لازم است پژوهش‌های میدانی گسترده‌تر، فرمولاسیون‌های پایدارتر و چارچوب‌های مقرراتی حمایتی توسعه یابند [۱-۶].

منابع:

- 1-Pantigoso HA, et al. The rhizosphere microbiome: Plant–microbial interactions for resource acquisition and stress tolerance. *Frontiers in Microbiology / Review* 2022
- 2- Xun W, et al. Dissection of rhizosphere microbiome and exploiting microbial functions in sustainable agriculture. *New Phytologist* 2024.
- 3- Haq IU, et al. Eco-smart biocontrol strategies utilizing potent microbes for sustainable crop protection: A 2024 review. *Agricultural Reviews / ScienceDirect* 2024.
- 4 .Liu-Xu L, et al. Harnessing Green Helpers: Nitrogen-Fixing Bacteria and Their Applications in Agriculture. *Horticulturae (MDPI)* 2024.
- 5- Bitire TD, et al. Impact of nitrogen-fixation bacteria on legume productivity and soil health: experimental and review insights. *Frontiers in Microbiology* 2023.
- 6-Villavicencio-Vásquez M, et al. Biological control agents: mechanisms of action, selection, and deployment in modern agriculture. *Frontiers in Agronomy* 2025.