

آشنایی با انواع کودهای زیستی (نیتروژنی، فسفاتی و پتاسیمی)

Introduction to the Types of Biofertilizers (Nitrogen, Phosphate, and Potassium)

فاطمه کریمی، کارشناس آزمایشگاه خاکشناسی مرکز تحقیقات کاربردی و تولید بذر شرکت توسعه کشت دانه های روغنی

مقدمه:

نیاز جوامع به غذا سالیان در حال افزایش بوده و برآوردها نشان می‌دهد که برای تغذیه بشر نسبت به قرن گذشته به افزایش ۱۰۰ درصدی تولید محصولات کشاورزی نیاز است. مصرف کودهای شیمیایی یکی از راه‌های مرسوم برطرف کردن نیاز تغذیه ای محصولات کشاورزی بوده و از پرمصرف‌ترین نهاده‌های کشاورزی در تولید محصول می‌باشند. گرچه کودهای شیمیایی به آسانی و به سرعت عناصر موردنیاز گیاه را تأمین نموده و موجبات رشد آن را فراهم می‌کنند با این حال، از پتانسیل آلوده‌سازی بالایی برخوردار بوده به طوری که استفاده از آنها موجب افزایش گازهای گلخانه‌ای، افزایش جذب فلزات سنگین توسط محصولات کشاورزی و اثرات منفی بر جامعه میکروبی خاک می‌شود. مصرف بی‌رویه و نامتعادل کودهای شیمیایی باعث آلودگی آب و خاک شده و در نهایت موجب مسمومیت انسان، دام و آبزیان می‌شود. بر این اساس، تقاضا برای محصولات ارگانیک روند افزایشی به خود گرفته است؛ بنابراین ارائه راهکارهای مبتنی بر توسعه پایدار و توجه به حفظ سلامت محیط زیست برای افزایش تولید محصولات کشاورزی امری ضروری است.

یکی از روش‌های افزایش تولید محصولات کشاورزی استفاده از پتانسیل ریزجانداران مفید خاک‌زی است. کودهای زیستی فرآورده‌هایی هستند که حاوی تعداد مناسبی از یک یا چند ریزجاندار مفید و یا متابولیت‌های حاصل از فعالیت آنها می‌باشند. کودهای زیستی قادرند بخشی از نیازهای گیاه به یک و یا چند عنصر را تأمین و یا موجب افزایش تحمل گیاه در برابر تنش‌هایی همانند شوری، خشکی، گرما، سرما و عوامل بیماری‌زای گیاهی شوند. اگرچه کودهای زیستی قادر نیستند جایگزین همه کود موردنیاز گیاه شوند اما انتظار می‌رود به‌عنوان یک مکمل در کنار کودهای شیمیایی

بتوانند بخشی از نیاز گیاه را تأمین و مقداری از مصرف کودهای شیمیایی را کاهش دهند.

اولین کود زیستی با جداسازی باکتری‌های ریزوبیوم از گره‌های ریشه باقلا در سال ۱۸۹۶ در آمریکا و به‌صورت کشت آگاری در ظروف شیشه‌ای بسته‌بندی و به بازار عرضه شد. هم‌اکنون شرکت‌های چندملیتی وجود دارند که کودهای زیستی تولیدی خود را به سراسر جهان عرضه می‌کنند. امروزه کودهای زیستی در بسیاری از محصولات کشاورزی در دنیا مصرف شده که سبب افزایش محصول معادل ۲۵-۱۰ درصد می‌شوند به طوری که ارزش اقتصادی آن میلیاردها دلار در سال برآورد شده است. سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO)، کودهای زیستی را به‌عنوان یکی از منابع تأمین‌کننده عناصر غذایی گیاهان به رسمیت شناخته است.

نیتروژن و کودهای زیستی نیتروژنی:

در غالب سیستم‌های کشاورزی، نیتروژن به‌عنوان عنصر محدودکننده تولید محصول شناخته می‌شود. به رغم حضور مقادیر فراوان نیتروژن در اتمسفر، اما گیاهان قادر به استفاده از این منبع نمی‌باشند و برای اینکه این منبع عظیم برای گیاهان قابل

استفاده شود بایستی طی فرایند تثبیت شیمیایی یا بیولوژیکی به فرم آمونیم و قابل دسترس گیاه تبدیل شود. در فرایند تثبیت بیولوژیک تنها گروه خاصی از پروکاریوت‌های دی‌آزوتروف به واسطه داشتن آنزیم نیتروژناز قادر به تثبیت نیتروژن مولکولی به فرم آمونیوم هستند. در برخی منابع تثبیت‌کنندگان نیتروژن را در دو گروه کلی همزیست‌ها (که شامل باکتریهای ریزوبیوم است) و آزادزی‌ها (که اختصاصی است و ویژگی برای میزبان خاص ندارند) تقسیم می‌کنند و در گروه دوم تثبیت‌کنندگانی نظیر آروسپیریوم، ازتوباکتر، بورخولدريا، هرباسپیریوم، باسیلوس و پنیباسیلوس و سایر باکتریها قرار می‌گیرند (گوسوامی و همکاران ۲۰۱۶).

تثبیت نیتروژن به شیوه همزیستی:

در تثبیت نیتروژن به صورت همزیستی می‌توان از همزیستی ریزوبیوم – لگوم، همزیستی اکتینوریزی و همزیستی آزولا نام برد. همزیستی ریزوبیوم- لگوم از جمله مهمترین نمونه‌های تثبیت نیتروژن به شیوه همزیستی می‌باشد. طرف میزبان شرکت‌کننده در این همزیستی گیاهان لگوم است، که در ۳ زیرخانواده تقسیم شده و ۷۰۰ جنس و ۱۴۰۰۰ گونه را در خود جای می‌دهند و از این میان تنها ۲۰۰ گیاه لگوم به وسیله بشر کشت و کار می‌شود. میزان نیتروژن تثبیت شده از طریق همزیستی در هر سال به ازاء هر هکتار با توجه به نوع گیاه لگوم بین ۵۰ تا ۳۰۰ کیلوگرم متغیر می‌باشد (براهماپراکاش و ساهو ۲۰۱۲)، شمس‌الدین و همکاران (۲۰۱۷).

همزیستی اکتینوریزی بین اکتینومیست فرانکیا (*Frankia*) و گیاهان میزبان بوته‌ای، درختچه یا درختان شکل می‌گیرد. این همزیستی در ۲۵ جنس از گیاهان دولپه‌ای نظیر (سنجد، توسکا، کازوآرینا و ...) دیده می‌شود. این همزیستی به ویژه در سیستمهای جنگلی-کشاورزی مفید واقع می‌شود و میزان تثبیت بیولوژیک نیتروژن در هر سال به ازاء هر هکتار ۹۰ کیلوگرم گزارش شده است (براهماپراکاش و ساهو ۲۰۱۲).

یک رابطه همزیستی بین سیانوباکتر *Anabaena azollae* و سرخس آبی *Azolla* تشکیل می‌شود. از این همزیستی در شالیزارهای برنج به ویژه در کشورهای نظیر فیلیپین، چین، ویتنام، تایلند و سریانکا به عنوان کود زیستی نیتروژنی استفاده می‌شود و به دلیل C/N پایین، بقایای این همزیستی سریعاً تجزیه شده و نیتروژن مولکولی تثبیت شده در آن به فرم معدنی و قابل استفاده برای گیاه برنج در اختیار آن قرار می‌گیرد. در فاصله بین دو کشت یا قبل از کشت برنج، از آزولا استفاده نموده و با برگرداندن آن به خاک شالیزار باعث تجزیه و معدنی شدن آن می‌شوند، در مواردی هم

همراه با کشت برنج استفاده می‌شود که در این حالت علاوه بر تثبیت نیتروژن می‌تواند مانع از گسترش علفهای هرز نیز شود (براهماپراکاش و ساهو ۲۰۱۲).

تثبیت نیتروژن به شیوه آزادزی و همیار:

در تثبیت نیتروژن به شیوه آزادزی و همیار می‌توان از سیانوباکترها، ازتوباکتر، آروسپیریوم و *Gluconoacetobacter diazotrophicus* نام برد. مهمترین باکتریهای گروه تثبیت‌کنندگان نیتروژن به شیوه آزادزی متعلق به *Derxia*, *Azotobacter* و

Beijerinikia می‌باشد. از این میان، ازتوباکترها پتانسیل این را دارند که به عنوان کود زیستی استفاده شوند و مرسومترین گونه متعلق به این جنس، گونه *A.Chroococcum* است که قادر به تثبیت ۱۰ mg N/g به ازاء هر گرم کربن مورد استفاده در شرایط درون شیشه ای است، این مقدار در مورد تثبیت همزیستی بین ۲۰۰-۳۰۰ میلی‌گرم نیتروژن می‌باشد (براهماپراکاش و ساهو ۲۰۱۲). براساس سایر گزارشات، مقادیر نیتروژن تثبیت شده به وسیله باکتری ازتوباکتر و آروسپیریوم بین ۲۰ تا ۳۰ کیلوگرم در هکتار است (گوسوامی و همکاران ۲۰۱۶). همچنین این جنس به عنوان تولیدکننده هورمونهای رشد گیاه از قبیل IAA، جیبرلیک اسید و بازدارنده‌های رشد قارچ شناخته شده است. در کشور هند این باکتری به عنوان کود زیستی استفاده می‌شود و باعث افزایش عملکرد محصولات مختلف در کاربرد تلفیقی آن به همراه منابع کود نیتروژنه شده است. سابقه کودهای زیستی در هند به ورود سویا به عنوان یک گیاه غیریومی به این کشور برمی‌گردد و از آن زمان کودهای زیستی به این کشور وارد شدند، زیرا خاکهای هند عاری از باکتریهای ریزوبیوم گره ساز بر ریشه سویا بود (براهماپراکاش و ساهو ۲۰۱۲).

فسفر و کودهای زیستی فسفاتی:

فسفر یکی از عناصر غذایی مهم برای گیاهان می‌باشد که در خاک فراهمی کمی دارد. فسفر در خاک به دو شکل آلی و معدنی یافت می‌شود. توانایی برخی از ریزجانداران به منظور تبدیل فسفر نامحلول به شکل قابل استفاده مانند ارتوفسفات یکی از ویژگیهای مهم ریزجانداران در افزایش رشد گیاهان محسوب می‌شود. با وجود ترکیبات فسفاته فراوان در خاک، گیاهان فسفر مورد نیاز خود را به شکل آنیون فسفات ($H_2PO_4^-$) یا (HPO_4^{2-}) از محلول خاک جذب می‌کنند (ملبوی و همکاران ۲۰۱۴؛ نوبهار و همکاران ۲۰۱۷).

بزرگترین منابع فسفر در کره زمین، صخره‌ها و دیگر رسوبات از قبیل آپاتیت‌های اولیه و دیگر اشکال معدنی اولیه حاصل شده از دورانهای زمین شناسی است (پائول ۲۰۰۷). شکل غالب فسفات در شرایط فلیایی، تری‌کلسیم فسفات است. سنگهای فسفات معدنی از قبیل فلوروآپاتیت و فرانکولیت از جمله منابع فسفات کلسیم می‌باشند که در خاک نامحلول بوده و تامین کننده نیاز گیاه نخواهند بود (گلدشتاین ۲۰۰۰). پویایی فسفات در خاک تحت تاثیر فرایند فیزیکوشیمیایی (جذب و واجذب) و زیستی (غیرمتحرک شدن و معدنی شدن) است (پائول ۲۰۰۷؛ فاگرا ۲۰۰۹). مقادیر عمده ای از فسفات که در قالب کود به خاک اضافه می‌شود تشکیل رسوب می‌دهد و از دسترس گیاه خارج می‌شود، این موضوع به واکنش پذیری بسیار بالای یون ارتوفسفات با کاتیونهای فلزی از قبیل Al^{3+} و Fe^{3+} در شرایط خاکهای اسیدی و با یون Ca^{2+} در خاکهای خنثی تا آهکی مربوط می‌شود (گیانشوار و همکاران ۲۰۰۲). ضرورت یافتن جایگزینی مناسب برای رهاسازی فسفاتهای تجمع یافته در خاک زمانی بیشتر احساس می‌شود که بر این امر واقف گردیم که منابع فسفاته موجود در خاک، قابلیت تامین فسفات مورد نیاز گیاهان برای

تولید بهینه آنها را تا ۱۰۰ سال دارا می باشد و کافی است که این منبع عظیم فسفر را به صورتی برای گیاه قابل جذب و استفاده نمود. فراهمی زیستی فسفر قابل جذب در خاک به نوع گیاه، شرایط و سطح تغذیه‌ای و فلور میکروبی خاک بستگی دارد (خان و همکاران ۲۰۰۷). مدارکی مبنی

بر نقش ریزجانداران ریزوسفری در انحلال فسفات معدنی به سال ۱۹۰۳ برمی‌گردد. ریزجانداران از طریق معدنی کردن فسفر آلی و انحلال فسفاتهای رسوب یافته فراهم سازی فسفر برای گیاهان را افزایش می‌دهند (ساریخانی و همکاران ۲۰۱۶). این دسته از ریزجانداران گرچه فسفر

را در ساختار سلولی خود به خدمت می‌گیرند، ولی بخشی از آن که در محیط آزاد شده است در اختیار گیاه قرار می‌گیرد (ابراهیمی و همکاران ۲۰۱۸). باکتریها در مقایسه با قارچ‌ها در انحلال فسفات بسیار موثرترند و جمعیت بالایی را به خود اختصاص می‌دهند (آلام و همکاران ۲۰۰۲).

گونه‌هایی از جنس *Rhizobium* و *Pantoea*، *Bacillus*، *Pseudomonas* از قویترین حل‌کنندگان فسفات به شمار می‌آیند. سازوکار اصلی برای انحلال فسفات معدنی تولید اسیدهای آلی است و در انحلال اشکال فسفر آلی اسید فسفات‌ها نقش اصلی را در خاک بازی می‌کنند (ساریخانی و همکاران ۲۰۱۹).

پتاسیم و کودهای زیستی پتاسیمی:

پتاسیم به همراه نیتروژن و فسفر یکی از سه عنصر ضروری مهم برای رشد گیاه تلقی می‌شود و یکی از منابع تجدیدناپذیر می‌باشد. این عنصر نقش‌های حیاتی در متابولیسم گیاه از قبیل فتوسنتز، انتقال موادی نظیر قندها و نشاسته در گیاه، تنظیم منافذ روزنه گیاهان، فعالسازی آنزیمها (بیش از ۶۰ آنزیم)، افزایش کیفیت محصولات باغی و زراعی، افزایش مقاومت گیاه به آفات و بیماریها دارد. پتاسیم در خاک به چهار شکل محلول، تبدلی، غیرتبدلی و ساختمانی وجود دارد. غلظت پتاسیم در محلول خاک بسیار پائین (۰/۱ تا ۰/۲ درصد) است و پتاسیم تبدلی که به وسیله بسیاری از کانی‌های سیلیکاته جذب سطحی شدند ۱ تا ۲ درصد را به خود اختصاص می‌دهند که این دو بخش برای گیاهان قابل استفاده می‌باشند. پتاسیم غیرتبدلی بین ۱ تا ۱۰ درصد متغیر بوده و در ساختار کانی‌ها مشارکت دارد. به این ترتیب اغلب پتاسیم موجود در خاک در ساختار شبکه کریستالی کانی‌های سیلیکاته به ویژه فلدسپارها و میکاها حضور دارد (فاگرا ۲۰۰۹). بیش از ۹۸ درصد پتاسیم موجود در خاک به شکل کانی‌های اولیه و کانی‌های سیلیکاته (میکروکلین، موسکوویت، ارتوکاز، بیوتیت، فلدسپار، میکا، ایپیت و ...) می‌باشد (ساریخانی و همکاران ۲۰۱۶؛ ساریخانی و همکاران ۲۰۱۹). پوسته خارجی زمین تقریباً ۳ درصد پتاسیم دارد که بیشترین مقدار آن در کانی‌های اولیه (فلدسپارها و میکاها) و ثانویه (موسکوویت، بیوتیت، ایپیت و ورمیکوایت و ...) یافت می‌شوند. میزان پتاسیم در خاک معمولاً خیلی بیشتر از میزان عناصر غذایی پرمصرف دیگر مانند نیتروژن و فسفر است. مقدار پتاسیم خاکهای رسی بیش از خاکهای لومی است و در خاکهای شنی میزان آن حداقل است (فاگرا ۲۰۰۹).

ریزجانداران نقش کلیدی در چرخه پتاسیم دارند. عناصر موجود در کانی‌ها زمانی برای گیاهان قابل استفاده خواهند بود که کانی‌ها دچار هوازگی شوند. در این میان ریزسازواره‌های خاک شامل قارچها، باکتریها و اکتینومیستها قادر به تخریب ساختار کریستالی کانی‌ها و رهاسازی پتاسیم محبوس در ساختار آن هستند (باساک و بیسواس ۲۰۰۹). با توجه به اینکه شکل غالب پتاسیم در

خاک به صورت کانی‌های سیلیکاته است در صورتی که آنها به آرامی دچار هوازدگی زیستی و انحلال قرار بگیرند، پتاسیم برای گیاهان قابل جذب خواهد شد. برخی از گونه‌های باکتری قادر به متحرک سازی و رهاسازی پتاسیم در خاک می‌باشند (ساریخانی و همکاران ۲۰۱۸). گزارشاتی مبنی بر تاثیر جامعه میکروبی خاک از جمله قارچهای میکوریز و دیگر قارچها و همچنین باکتریهای خاک نظیر جنسهای *Bacillus*، *Pseudomonas*، *Rhizobium* و *Micrococcus* در رهاسازی پتاسیم از منابع خاکی وجود دارد (ساریخانی و همکاران ۲۰۱۹). اما در این میان در غالب تحقیقات به جداسازی باکتری گونه *B. mucilaginosus* و بررسی تاثیر آن در

تغذیه پتاسیمی گیاهان مختلف اشاره شده است (باساک و بیسواس ۲۰۰۹). این گروه از باکتریها غالباً هتروتروف و هوازی بوده و سازوکارهایی که برای این ویژگی آنها ارائه شده است شامل تولید و ترشح اسیدهای آلی و پروتون، ترشح پلی ساکاریدهای خارج سلولی، تولید لیگاندهای آلی و

سایدروفورها است. باکتریهای سیلیکاته یا سیلیکاباکترها (نام تاکسونومیک نمی‌باشد) قادر به رهاسازی فسفات، پتاسیم، سیلیسیوم و کلسیم از سنگهای معدنی می‌باشند، و به طور کلی شامل باکتریهای *B. mucilaginosus*، *B. circulans* و *B. edaphicus* می‌باشند (هنگ بو و همکاران ۲۰۰۶).

باکتری *B. mucilaginosus* سالهای زیادی است که به عنوان کود زیستی پتاسیم در برخی از کشورها از جمله چین مورد استفاده قرار می‌گیرد (لیو و همکاران ۲۰۰۶).

منابع

1. Alam S, Khalil S, Ayub N and Rashid M. 2002. In vitro solubilization of inorganic phosphate by phosphate solubilizing microorganism (PSM) from maize rhizosphere. International Journal of Agriculture and Biology, 4: 454-458.
2. Basak BB and Biswas DR. 2009. Influence of potassium solubilizing microorganism (*Bacillus mucilaginosus*) and waste mica on potassium uptake dynamics by sudan grass (*Sorghum vulgare* Pers.) grown under two Alfisols. Plant and Soil, 317(1-2): 235-255.
3. Brahmaprakash GP and Sahu PK. 2012. Biofertilizers for Sustainability. Journal of the Indian Institute of Science, 92(1): 37-62.
4. Fageria NK. 2009. The use of nutrients in crop plants. CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC, USA, New York.
5. Goldstein AH. 2000. Bioprocessing of rock phosphate ore: essential technical considerations for the development of a successful commercial technology, Proc, 4th Int, Fert, Assoc, Tech, Conf, IFA, Paris. p. 220.
6. Goswami D, Thakker JN and Dhandhukia PC. 2016. Portraying mechanics of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): A review. Cogent Food and Agriculture, 2: 1-19.
7. Gyaneshwar P, Kumar GN, Parekh LJ and Poole PS. 2002. Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants. Plant and Soil, 245: 83-93.
8. Hong-bo Z, Xiao-xi Z, Fei-fei L, Guan-zhou Q and Yue-hua H. 2006. Screening, identification and desilication of a silicate bacterium. Journal of Central South University of Technology, 13(4):337-341.
9. Khan MS, Zaidi A and Wani PA. 2007. Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture-a review. Agronomy for Sustainable Development. 27: 29-43.
10. Liu W, Xu X, Wu X, Yang Q, Luo Y, Christie P. 2006. Decomposition of silicate minerals by *Bacillus mucilaginosus* in liquid culture. Environmental Geochemistry and Health, 28: 133-140.

11. Malboobi MA, Zamani K, Lohrasebi T, Sarikhani MR, Samaian A and Sabet MS, 2014. Phosphate: the Silent Challenge. *Progress in Biological Sciences*, 4(1): 1-32.
12. Nobahar A, Sarikhani MR and Chalabianlou N. 2017. Buffering capacity affects phosphorous solubilization assays in rhizobacteria. *Rhizosphere*, 4: 119-125.
13. Paul EA. 2007. *Soil Microbiology and Biochemistry*, Third edition, Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, UK.
14. Sarikhani MR, Khoshru B and Oustan S. 2016. Efficiency of Some Bacterial Strains in Potassium Release from Mica and Phosphate Solubilization under In Vitro Conditions. *Geomicrobiology Journal*, 33(9): 832–838.
15. Sarikhani MR, Khoshru B, Greiner R. 2019. Isolation and identification of temperature tolerant phosphate solubilizing bacteria as a potential microbial fertilizer. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 35: 126.
16. Shamseldin A, Abdelkhalek A and Sadowsky MJ. 2017. Recent changes to the classification of symbiotic, nitrogen-fixing, legume-associating bacteria: a review. *Symbiosis*, 71: 91–109.