

کاربرد کودهای زیستی فسفره در کشاورزی و آبریز پروری

مصطفی آرمنده^۱، نعمت الله محمودی*^۲، علیرضا فلاح نصرت آباد^۲

۱- گروه علوم و مهندسی شیلات، دانشگاه تربیت مدرس، نور

۲- موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج

n.mahmoudi360@modares.ac.ir

تاریخ ارسال : 1396-12-23

چکیده

تولید و مصرف کودهای زیستی فسفره در بخش کشاورزی از چندین دهه پیش آغاز شده و جایگاه این کودها امروزه ارتقا فراوانی یافته است، به طوری که برآوردها نشان می‌دهد، میزان فروش کودهای زیستی در سال ۲۰۲۲ به ۱/۶۶ میلیارد دلار خواهد رسید که ۱۳/۹ درصد آن مربوط به کودهای زیستی فسفره خواهد بود. با این حال، تولید و مصرف کودهای زیستی فسفره در حوزه آبریز پروری در دنیا و به ویژه داخل کشور کمتر مورد توجه بوده است. قابلیت دسترسی زیستی فسفره برای تولیدکنندگان اولیه در استخرهای پرورش ماهیان گرمابی عمدتاً به واسطه تشکیل کمپلکس با کاتیون‌ها و مواد آلی کاهش می‌یابد. بنابراین، برای افزایش فسفر محلول در آب، استفاده از میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفر به عنوان کود زیستی بسیار ضروری است. میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفر با تولید و ترشح اسیدهای آلی و آنزیم‌های مختلفی باعث آزاد کردن فسفر از منابع نامحلول فسفر می‌شوند. کاربرد کودهای زیستی فسفره برای تولید محصول سبب کاهش مصرف کودهای شیمیایی فسفره، تولید محصول ارگانیک، صرفه اقتصادی بیشتر و حفاظت از محیط زیست می‌گردد.

کلمات کلیدی: آبریز پروری، فسفر، کود زیستی، محصول ارگانیک

مقدمه

اصطلاح "کود زیستی" به محصولاتی اطلاق می‌گردد که حاوی میکروارگانیسم‌های مفید جهت تامین مواد مغذی مورد نیاز گیاهان به دور از کاربرد کودهای شیمیایی است (Bhattacharyya and Jha, 2012). امروزه کودهای زیستی مختلفی نظیر کودهای زیستی فسفره در حوزه کشاورزی تولید و مورد استفاده قرار گرفته است (اسدی رحمانی و همکاران، ۱۳۹۲). تغذیه و تولید ماهیان گرمابی (ماهی فیتوفاگ (*Hypophthalmichthys molitrix*), سرگنده (*Hypophthalmichthys nobilis*), کپور (*Cyprinus carpio*) و آمور (*Ctenopharyngodon idella*)) در استخرهای خاکی به شکل مستقیم و غیر مستقیم به تولیدات طبیعی استخر وابسته است (FAO, 2016). افزایش تولیدات طبیعی (Natural production) در استخرهای پرورشی خاکی برای تولید ماهی بسیار ضروری است. به منظور افزایش سطح مواد مغذی در استخرهای پرورش ماهیان گرمابی (به‌ویژه نیتروژن و فسفر) و افزایش تولید ماهی انواع مختلفی از کودهای آلی و شیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Boyd et al., 2002). وابستگی بیش از حد به کودهای شیمیایی برای تولید محصولات آبی‌پروری به‌ویژه ماهیان گرمابی علاوه بر آسیب به محیط زیست، سلامت انسان‌ها را نیز به مخاطره انداخته است (Jiao et al., 2012). در سال‌های اخیر، جداسازی و استفاده از میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفر به عنوان کود زیستی به منظور بهبود رشد گیاهان زراعی و باغی بسیار مورد مطالعه و استفاده قرار گرفته است (فلاح و همکاران، ۱۳۸۰؛ فلاح و شریعتی، ۱۳۹۳؛ Liu et al., 2015؛ Yadav et al., 2017). بیش از یک دهه از تولید کودهای زیستی فسفره در کشاورزی ایران گذشته است (فلاح و همکاران، ۱۳۸۰). با این وجود، تحقیقات اندکی به منظور تولید و استفاده از کودهای زیستی فسفره جهت بهبود میزان فسفر محلول و کاهش مصرف کودهای شیمیایی در حوزه آبی‌پروری کمتر مورد توجه قرار گرفته است. لذا با توجه به پتانسیل بالای تولید ماهیان گرمابی در کشور (۲۰۱۰۹۷ تن) و همچنین مزایای کودهای زیستی فسفره، استفاده از این کودها برای تحقق آبی‌پروری پایدار در کشور مفید به نظر می‌رسد (FAO, 2016). همچنین با توجه به اینکه مساحت زیر کشت مزارع ماهیان گرمابی در کشور ۵۰۸۳۵ هکتار برآورد شده است (FAO, 2016)، زمان آن رسیده با تولید و عرضه کودهای زیستی فسفره در بخش آبی‌پروری، استفاده از کودهای شیمیایی فسفره کاهش یابد.

تولید کودهای زیستی در ایران

اولین کودهای زیستی مورد استفاده در ایران مایه تلقیح ریزوبیومی سویا بود که از اوایل دهه ۱۳۴۰ از کمپانی آمریکایی نیتراژین وارد و همگام با توسعه کشت سویا در ایران مورد استفاده قرار گرفت. تحقیقات در زمینه کودهای زیستی از دهه ۱۳۵۰ در موسسه تحقیقات خاک و آب کشور آغاز و با ایجاد بخش تحقیقات بیولوژی خاک در این موسسه در سال ۱۳۷۵ اولین گام موثر در زمینه تولید کودهای زیستی در کشور برداشته شد (اسدی رحمانی، ۱۳۹۲). پژوهش‌های انجام شده در این

بخش منجر به جداسازی، شناسایی و ارزیابی کارایی ریزوبیوم همزیست سویا در کشور گردید (اسدی رحمانی و صالح راستین، ۱۳۸۱). سویه‌ها کارآمد طی آزمایشات گلخانه‌ای و میدانی انتخاب و در قالب دانش فنی و سپس برای تولید انبوه به بخش خصوصی واگذار شد (اسدی رحمانی، ۱۳۸۱). تولید مایه تلقیح سویا سبب قطع واردات این کود زیستی از خارج کشور گردید. امروزه انواع مختلفی از میکروارگانیسم‌های مفید در قالب کود زیستی ازته، پتاسه و به‌ویژه فسفره توسط تولیدکنندگان داخلی و خارجی تولید و با هدف تامین مواد مغذی به دور از کاربرد بیش از حد کودهای شیمیایی و آلی در حوزه گیاهان خشکی به بازار عرضه شده است. در سال‌های اخیر تعداد زیادی واحد تولیدی کودهای زیستی در کشور با کمک‌های علمی و فنی موسسه تحقیقات خاک و آب ایجاد شده است. با این حال، هنوز جای خالی تحقیقات در زمینه تولید کودهای زیستی به صورت تخصصی در حوزه آبی‌پروری کشور احساس می‌شود. اخیراً نویسندگان این مقاله در دانشگاه تربیت مدرس و موسسه تحقیقات خاک و آب کشور، تحقیق در زمینه کاربرد کودهای زیستی در آبی‌پروری را در قالب پایان‌نامه و طرح‌های تحقیقاتی با همکاری یکدیگر آغاز نموده‌اند و برای جداسازی و شناسایی سویه‌های بومی حل‌کننده فسفر برای تولید کودهای زیستی فسفره در سال‌های اخیر از مزارع پرورش ماهیان گرمابی در سطح استان مازندران اقدام به نمونه‌برداری کرده‌اند.

وضعیت تولید کودهای زیستی در آبی‌پروری ایران

بررسی مقالات منتشر شده نشان می‌دهد تا به حال تحقیقات تخصصی در زمینه تولید و فرمولاسیون کودهای زیستی در حوزه آبی‌پروری کشور انجام نشده و فقط تحقیقات اندکی در زمینه جداسازی و شناسایی میکروارگانیسم‌های مفید صورت گرفته است (صفری و یعقوب‌زاده، ۱۳۹۰). از این‌رو، زمان آن رسیده تا محققان و پژوهشگران با هدف کاهش مصرف کودهای شیمیایی و آلی مورد استفاده به‌ویژه کودهای شیمیایی فسفره، با جداسازی و شناسایی سویه‌های حل‌کننده فسفات، اقدام به فرمولاسیون کودهای زیستی فسفره برای مزارع پرورش ماهیان گرمابی نمایند. فسفر عنصری ضروری برای تولیدکنندگان اولیه در اکوسیستم‌های آبی به ویژه مزارع پرورش ماهیان گرمابی محسوب می‌شود (Sugunan, Boström *et al.*, 1988). از آنجایی که درصد بسیار زیادی از فسفر استفاده شده در مزارع پرورش ماهی به صورت ترکیب با کلسیم و منیزیم (در شرایط قلیایی) و آلومینیوم و آهن (در شرایط اسیدی) رسوب کرده و از دسترس خارج می‌گردد، اغلب غلظت فسفر محلول و قابل جذب در آب بسیار اندک می‌باشد (Bagyaraj *et al.*, 2000; Hu *et al.*, 2010; Chen *et al.*, 2011). به‌منظور افزایش فسفر محلول در آب، استفاده از کودهای فسفره (به‌ویژه سوپر فسفات تریپل) برای تأمین فسفر مورد نیاز در مزارع پرورش ماهیان گرمابی به‌طور قابل ملاحظه‌ای در حال افزایش است. علاوه بر قیمت بالا و بازده بسیار پایین، این نوع کودها حاوی عناصر سمی و سنگینی مانند کادمیوم، آرسنیک و سرب می‌باشند که ممکن است خطرات جدی را برای کیفیت خاک ایجاد نمایند و همچنین می‌توانند از طریق زنجیره غذایی به سلامت ماهیان و در نهایت انسان آسیب برسانند (Jiao *et al.*, 2012). لذا لازم است که رویکردهای نوین تغذیه فسفری، به دور از کاربرد کودهای شیمیایی مورد توجه قرار گیرد. از

این رو، به منظور افزایش کارایی کودهای فسفره و افزایش فسفر محلول در آب، بکارگیری میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفر به‌عنوان کود زیستی بسیار ضروری است. گونه‌های متنوعی از میکروارگانیسم‌ها (باکتری‌ها، قارچ‌ها، اکتینومیست و حتی جلبک‌ها) دارای توانایی انحلال فسفات هستند که البته مهم‌ترین حل‌کننده‌های فسفات باکتری‌ها و قارچ‌ها می‌باشند. علاوه بر *Bacillus* و *Pseudomonas* که مهم‌ترین جنس‌های حل‌کننده فسفات شناخته شده‌اند، جنس‌های دیگری مانند *Klebsiella*، *Pantoea*، *Enterobacter*، نیز حل‌کننده فسفات هستند (Vazquez et al., 2000؛ Chung et al., 2005). باکتری‌های حل‌کننده فسفات با مکانیزم‌های متنوعی از جمله آزاد کردن پروتون (H^+)، تولید اسیدهای آلی و سنتز آنزیم‌های مختلفی نظیر فسفاتازها و فیتازها، باعث انحلال فسفات غیرمحلول به شکل محلول و قابل دسترس می‌گردند (Bianco and Defez, 2010).

بنابراین استفاده از میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفر با انحلال ترکیبات نامحلول فسفات می‌تواند جایگزین و یا حداقل باعث کاهش استفاده از کود شیمیایی فسفره گردد که یکی از مهم‌ترین و کارآمدترین رویکردهای پایدار برای حفظ ذخایر فسفر و جلوگیری از آلودگی‌های ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای فسفره می‌باشد (Raj et al., 2005). همچنین به منظور کارایی بهتر تامین فسفر و همچنین حفاظت از محیط زیست، استفاده از گونه‌ها و سویه‌های بومی به دلیل رقابت پذیری بالا و امکان سازگاری با شرایط اقلیمی بسیار لازم و ضروری است.

اثر بخشی کودهای زیستی

پرمناقشه‌ترین بحث در مورد کودهای زیستی در خصوص اثر بخشی آن‌هاست که امروزه تحقیق، تولید، خرید دولتی و سایر سیاست‌گذاری‌های مرتبط با این حوزه را تحت تاثیر قرار داده است. به‌طور کلی یکی از ویژگی‌های شناخته‌شده کودهای زیستی، ناهماهنگی نتایج حاصل از کاربرد آن‌هاست (Eida et al., 2017). هنگامی که میکروارگانیسم‌ها در غالب کود زیستی به مزرعه معرفی می‌شود، با شرایط رقابتی و اغلب سخت مواجه می‌شوند که می‌تواند اثرات مفید آن‌ها را به شدت کاهش دهد. به عبارت دیگر چنانچه میکروارگانیسم‌های بکاررفته در تولید کودهای زیستی، مراحل جداسازی، غربال‌گری، زیست‌سنجی و آزمایشات اثر بخشی را به‌درستی طی نکرده باشد، کارا نخواهند بود (Okon and Hadar, 1987). علاوه بر این، در حالی که یک میکروارگانیسم ممکن است در شرایط آزمایشگاهی امیدوارکننده باشد، آماده‌سازی آن در یک محصول تجاری با هدف تولید نتایج مشابه در طیف وسیعی از شرایط مزرعه، گامی دشوار است (Stephens and Rask, 2000). بدیهی است عدم اثر بخشی یک کود زیستی در شرایط خاص نمی‌تواند نشانه عدم اثر بخشی آن در سایر شرایط نیز باشد. این امر غالباً در قضاوت‌های مربوط به کودهای زیستی به‌ویژه در واحدهای اجرایی نادیده گرفته می‌شود.

برای تولید کودهای زیستی برای مزارع پرورش ماهی، لازم است میکروارگانیسم‌های مفید از اکوسیستم هدف جداسازی گردد تا به دلیل رقابت‌پذیری بالا و امکان سازگاری با شرایط محیطی، اثر بخشی بالایی داشته باشد. برای مثال، Hu و همکاران

(۲۰۱۰) به منظور کاهش استفاده از کودهای شیمیایی فسفره و افزایش فسفر محلول در آب اقدام به جداسازی و شناسایی باکتری‌های حل‌کننده فسفر از رسوبات مزارع پرورش ماهی کردند. این محققین گزارش کردند که کاربرد این میکروارگانیسم‌ها باعث افزایش سطح فسفات محلول در آب می‌گردد. Sahu و Jana (۲۰۰۰) نیز از باکتری‌های حل‌کننده فسفات در استخرهای خاکی پرورش ماهی استفاده کردند. این محققین گزارش کردند باکتری‌های حل‌کننده فسفات با آزاد کردن فسفات از منابع فسفر تجمع یافته در رسوبات سبب افزایش فسفات محلول در آب می‌شوند.

با این وجود بررسی بسیاری از مقالات منتشر شده نشان می‌دهد روش‌ها و فرآیندهای جداسازی، تولید و فرموله کردن کودهای زیستی در ایران کماکان مبتنی بر دانسته‌های سه دهه پیش است (آذرمی و همکاران، ۱۳۹۳؛ اثباتی و همکاران، ۱۳۹۳). بنابراین زمان آن رسیده پژوهشگران با مطالعات پایه در حوزه‌های زیست‌شناسی میکروارگانیسم‌ها، اکولوژی اکوسیستم‌ها و روابط بین میکروارگانیسم، روش‌ها و فرآیندهای جداسازی و غربال‌گری را متناسب با اکوسیستم هدف اصلاح و طراحی نمایند تا بتوان میکروارگانیسم‌هایی را جداسازی کرد که کارایی بالایی در اکوسیستم داشته باشند. پژوهش‌های زیادی در مورد کودهای زیستی در کشور انجام شده ولی با این حال نگرش همه جانبه در این خصوص وجود ندارد و کماکان حیطه‌هایی از این علم مورد غفلت واقع شده است و یا تحقیقات اندکی در مورد آن‌ها انجام شده است که در این بین می‌توان به بهینه‌سازی شرایط رشد و محیط‌های کشت صنعتی و فرمولاسیون انواع کودهای زیستی اشاره کرد. برای مثال، در حال حاضر فرآیند جداسازی میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفر در محیط کشت‌هایی نظیر محیط کشت اسپربر با pH، میزان و نوع مواد مغذی و دمای انکوباسیون معین، انجام می‌گیرد (Sperber, 1952). در حالی که بسیاری از مطالعات انجام شده در حوزه اکولوژی نشان می‌دهد پارامترهای فیزیوشیمیایی و بیولوژیکی، نوع و میزان ترکیبات نامحلول فسفات، تنوع و سطح سوبسترای موجود در محیط در اکوسیستم‌های مختلف بسیار متنوع می‌باشند (Eida et al., 2017). دانش بیولوژیکی و شیمیایی و مقالات منتشر شده نشان می‌دهد که میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات جداسازی شده با این فرآیند نسبتاً ضعیف و غیر قابل اعتماد هستند (Bashan et al., 2013).

بنابراین با توجه به اینکه تحقیقات و تولید کودهای زیستی در حوزه آبری پروری به تازگی آغاز شده است، باید فرآیند جداسازی، فرمولاسیون و تولید آن‌ها با استفاده از روش‌های نوین و بر اساس مطالعات پایه انجام گیرد تا اثر بخشی مطلوبی داشته باشند.

یافته ترویجی

تولید و تجاری‌سازی موفقیت‌آمیز کودهای زیستی عمدتاً متکی به ارتباط بین تحقیقات (جداسازی سویه‌های کارآمد و سازگار با مزرعه و اکوسیستم) و بخش خصوصی (برای افزایش تولید، ایجاد اقتصادی پایدار و بازار مداوم) و توجه کشاورزان، وابسته است. آگاه ساختن پرورش‌دهندگان، در کشورهای در حال توسعه از مزایای کودهای زیستی بسیار مهم و حیاتی است. اگر پرورش‌دهندگان از اثر بخشی کودهای زیستی بر تولید متقاعد شوند، تمایل به خرید و استفاده از کودهای زیستی به جای کودهای شیمیایی افزایش می‌یابد. برای رسیدن به این هدف، بهبود کیفیت کودهای زیستی بسیار ضروری است. تولید و عرضه کودهای زیستی با کیفیت بالا و اثر بخش و آگاه ساختن منظم پرورش‌دهندگان از مزایای کودهای زیستی، باعث اعتماد هر چه بیشتر پرورش‌دهندگان و افزایش مصرف کودهای زیستی منجر می‌شود. آنچه مسلم است این است که شرکت‌های تولیدکننده کودهای زیستی در کشور باید در انتخاب میکروارگانیسم‌های موردنظر و فرآیندهای تکثیر، فرمولاسیون و بسته‌بندی نهایت دقت لازم را مبذول دارند تا در آینده شاهد اعتماد پرورش‌دهندگان به این فرآورده های زیستی باشیم.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از ریاست محترم بخش تحقیقات بیولوژی خاک موسسه تحقیقات خاک و آب کشور، جناب آقای دکتر هادی اسدی‌رحمانی، سرپرست محترم آزمایشگاه سرکار خانم مهندس علیزاده و کارشناسان محترم آزمایشگاه سرکار خانم مهندس اربابی و شمشیری‌پور به دلیل همکاری صمیمانه در این پژوهش کمال امتنان را دارند.

منابع

آذرمی، ف.، مظفری، و عباس زاده دهجی، پ.، ۱۳۹۳. جداسازی باکتری های سودوموناس فلورسنس از ریزوسفر درختان پسته و تعیین برخی خصوصیات محرک رشدی آن ها، مجله زیست شناسی خاک، ۲ (۲): ۳۲-۴۱.

اثباتی، م.، اخوان سپهی، ع.، اصغر زاده، ا و خسرو شاهلی، م.، ۱۳۹۳. جداسازی شناسایی و بررسی جمعیت گونه های *Azospirillum sp.* در خاک های اطراف تهران و ارزیابی اثرات محرک رشدی آنها بر گیاه گوجه فرنگی در شرایط گلخانه، مجله زیست شناسی خاک، ۲ (۱) ۱۱-۲۴.

اسدی رحمانی، ه. و صالح راستین، ن.، ۱۳۸۰. بررسی تحمل به حرارت و تثبیت نیتروژن در سویه های ریزوبیوم همزیست سویا، مجله علوم خاک و آب، ۱۶ (۲): ۱۷۹-۱۸۸.

اسدی رحمانی، ه.، خاوازی، ک.، اصغرزاده، ا.، رجالی، ف. و افشاری، م.، ۱۳۹۰. کودهای زیستی در ایران: فرصت‌ها و چالش‌ها. مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، ۲۶ (۱): ۷۸-۸۷.

صفری، ر. و یعقوب‌زاده، ز.، ۱۳۹۰. جداسازی و شناسایی دو گونه باکتری اکسیدکننده سولفید سدیم و ارزیابی اثر آن‌ها در کاهش تولید گاز SH₂ در شرایط آزمایشگاهی و مزرعه، مجله علمی- پژوهشی زیست فناوری میکروبی دانشگاه آزاد اسلامی، ۳ (۱۰): ۳۵-۴۴.

فلاح نصرت‌آباد ع.ر.، رحیمیان ح.، صالح‌راستین ن. و ملکوتی م.ج.، ۱۳۸۰. بررسی پراکنش ریزجانداران حل‌کننده فسفردر تعدادی از خاک‌های استان گیلان، نشریه خاک و آب، ۱۷ (۲): ۱۶۲-۱۷۶.

فلاح نصرت‌آباد ع.ر. و شریعتی ش.، ۱۳۹۳. بررسی تاثیر باکتری‌های سودوموناس و باسیلوس در عملکرد گندم و جذب عناصر غذایی و مقایسه آن با کودشیمیایی و آلی، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۸ (۵): ۹۷۶-۹۸۶.

Bagyaraj, D. J., Krishnaraj, P. U., and Khanuja, S. P. S., 2000. Mineral phosphate solubilization: agronomic implications, mechanism and molecular genetics. Proceedings of the Indian National Science Academy. Part B, Reviews and Tracts-Biological Sciences, 66(2/3): 69-82.

Bashan, Y., Kamnev, A. A. and de-Bashan, L. E., 2013. Tricalcium phosphate is inappropriate as a universal selection factor for isolating and testing phosphate-solubilizing bacteria that enhance plant growth: a proposal for an alternative procedure. *Biology and Fertility of Soils*, 49(4): 465-479.

Bhattacharyya, P. N. and Jha, D. K., 2012. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28(4): 1327-1350.

Bianco C. and Defez, R., 2010. Improvement of Phosphate Solubilization and Medicago Plant Yield by an Indole-3-acetic Acid-overproducing Strain of Sinorhizobium Meliloti. *Applied and Environmental Microbiology*, 76(14): 4626-4632.

Boström, B., Andersen, J. M., Fleischer, S. and Jansson, M., 1988. Exchange of phosphorus across the sediment-water interface. *Hydrobiologia*, 170(1): 229-244.

Boyd, C.E., Wood, C.W. and Thunjai, T., 2002. Aquaculture pond bottom soil quality management. Pond Dynamics/Aquaculture Collaborative Research Support Program, Oregon State University.

Chen J., Lu S., Zhao Y., Wang W. and Huang M., 2011. Effects of Overlying Water Aeration on Phosphorus Fractions and Alkaline Phosphatase Activity in Surface Sediment. *Journal of Environmental Sciences*, 23(2): 206-211.

Chung, H., Park, M., Madhaiyan, M., Seshadri, S., Song, J., Cho, H. and Sa, T., 2005. Isolation and characterization of phosphate solubilizing bacteria from the rhizosphere of crop plants of Korea. *Soil Biology and Biochemistry*, 37(10): 1970-1974.

Eida, A. A., Hirt, H. and Saad, M. M., 2017. Challenges Faced in Field Application of Phosphate-Solubilizing Bacteria. In *Rhizotrophs: Plant Growth Promotion to Bioremediation* (pp. 125-143). Springer, Singapore.

FAO., 2016. *The Status of the World Fisheries and Aquaculture*, FAO, Rome, Italy.

Hu X.J., Li Z.J., Cao Y. C., Zhang J., Gong Y.X. and Yang Y.F., 2010. Isolation and Identification of a Phosphate-Solubilizing Bacterium *Pantoea Stewartii* Subsp. *Stewartii* g6, and Effects of Temperature, Salinity, and pH on its Growth under Indoor Culture Conditions. *Aquaculture International*, 18(6): 1079-1091.

Jiao, W., Chen, W., Chang, A. C. and Page, A. L., 2012. Environmental risks of trace elements associated with long-term phosphate fertilizers applications: a review. *Environmental Pollution*, 168: 44-53.

Krishnani, K.K., Gopikrishna, G., Pillai, S.M. and Gupta, B., 2010. Abundance of sulphure-oxidizing bacteria in coastal aquaculture using *soxB* gene analyses. *Aquaculture Research*. 41: 1290-1301.

Liu, Z., Li, Y. C., Zhang, S., Fu, Y., Fan, X., Patel, J. S. and Zhang, M., 2015. Characterization of phosphate-solubilizing bacteria isolated from calcareous soils. *Applied Soil Ecology*, 96: 217-224.

Maitra N., Manna S.K., Samanta S., Sarkar K., Debnath D., Bandopadhyay C. and Sharma A.P., 2015. Ecological Significance and Phosphorus Release Potential of Phosphate Solubilizing Bacteria in Freshwater Ecosystems. *Hydrobiologia*, 745(1): 69-83.

Okon, Y. and Baker, R., 1987. Microbial inoculants as crop-yield enhancers. *Critical reviews in biotechnology*, 6(1): 61-85.

Poulton, S. W., Krom, M. D., Van Rijn, J. and Raiswell, R., 2002. The use of hydrous iron (III) oxides for the removal of hydrogen sulphide in aqueous systems. *Water research*, 36(4): 825-834.

Raj, S. N., Shetty, H. S. and Reddy, M. S., 2005. Plant growth promoting rhizobacteria: potential green alternative for plant productivity. In *PGPR: Biocontrol and Biofertilization* (pp. 197-216). Springer Netherlands.

Sahu, S. N. and Jana, B. B., 2000. Enhancement of the fertilizer value of rock phosphate engineered through phosphate-solubilizing bacteria. *Ecological Engineering*, 15(1): 27-39.

Sperber, J. I., 1957. Solution of mineral phosphates by soil bacteria. *Nature*, 180(4593): 994-995.

Stephens, J. H. G. and Rask, H. M., 2000. Inoculant production and formulation. *Field Crops Research*, 65(2-3): 249-258.

Sugunan, V. V., 2000. Ecology and fishery management of reservoirs in India. *Hydrobiologia*, 430(1-3): 121-147.

Tripathy, P. P. and Ayyappan, S., 2005. Evaluation of *Azotobacter* and *Azospirillum* as biofertilizers in aquaculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 21(8-9): 1339-1343.

Vazquez, P., Holguin, G., Puente, M. E., Lopez-Cortes, A. and Bashan, Y., 2000. Phosphatesolubilizing microorganisms associated with the rhizosphere of mangroves in a semiarid coastal lagoon. *Biology and Fertility of Soils*, 30(5): 460-468.

Vessey, J. K., 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and soil*, 255(2): 571-586.

Yadav, H., Fatima, R., Sharma, A. and Mathur, S., 2017. Enhancement of applicability of rock phosphate in alkaline soils by organic compost. *Applied Soil Ecology*, 113: 80-85.

Zhao, Y.G., Zheng, Y., Tian, W., Bai, J., Feng, G., Guo, L. and Gao, M., 2016. Enrichment and immobilization of sulfide removal microbiota applied for environmental biological remediation of aquaculture area. *Environmental Pollution*, 214: 307-313.

Application of phosphate biofertilizers in agriculture and aquaculture

Mostafa Armandeh¹, Nemat Mahmoudi^{*2}, Ali Reza Fallah Nosratabad³

1, 2-Department of Fisheries, Faculty of Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Nour, Iran

3- Soil and Water Research Institute (SWRI), Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

The production and use of phosphorus biofertilizers in agriculture began several decades ago, and the status of these fertilizers has now become widespread, that global revenues from the sale of biofertilizers in the year 2022 were estimated reach to 1.66 billion dollar that 13.9 percent of that for phosphorous biofertilizers. However, the production and consumption of phosphorous biofertilizers in the aquaculture sector has been less widely considered. The bioavailability of phosphorus for primary producers in warm-water fishponds is mainly reduced by the formation of complex with cations and organic matter. Therefore, in order to increase water soluble phosphorus, the use of phosphorus solubilizing microorganisms as a biofertilizer is pivotal. Phosphorus solubilizing microorganisms release phosphorus from insoluble phosphorus sources via production of organic acids and various enzymes. The application of phosphate biofertilizers to produce fishes reduces the use of chemical phosphorus fertilizers and produce organic products, cost effective and preserve the environment.

Keywords: Aquaculture, Phosphorus, Biofertilizer, Organic product,