نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال نهم، شماره چهارم، تابستان ۱۳۹۹

ISSN 2251-7480

اثر کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه بر خصوصیات شیمیایی خاک در سیستم کشت شبدر- برنج

عباس شهدی‌کومله[1*]

[1*]) استادیار پژوهش مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

ایمیل نویسنده مسئول مکاتبات: shahdiabbas8@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۲/۰۸ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰٤/۱۱

چکیده

یکی از ارکان اصلی در کشاورزی پایدار استفاده از کودهای زیستی در اکوسیستم‌های زراعی با هدف تعدیل و کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی است. این پژوهش به‌منظور بررسی اثر کاربرد باکتری‌های محرک رشد بر ویژگی‌های شیمیایی خاک در سیستم کشت شبدر- برنج به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در دو سال زراعی، در مزرعه پژوهشی مؤسسه تحقیقات برنج کشور انجام شد. فاکتورهای آزمایشی برای گیاه شبدر شامل چهار سطح تلقیح با باکتری همزیست ریزوبیوم تریفولی و چهار سطح تلقیح با باکتری‌های محرک رشد غیرهمزیست بود. نتایج نشان داد که کشت شبدر منجر به افزایش معنی‌دار درصد کربن آلی (۱/۷۹ درصد) و نیتروژن خاک (۰/۲۱۶ درصد) گردید. کاربرد باکتری‌های غیرهمزیست در کشت شبدر موجب افزایش معنی‌دار فسفر خاک در کشت برنج گردید به‌طوری‌که بیشترین میزان فسفر خاک در تیمار سودوموناس (۱۲/۳۸ پی‌پی‌ام) و ازتوباکتر+ سودوموناس (۱۱/۸ پی‌پی‌ام) و کمترین آن از تیمار شاهد (۱۰/۹۷ پی‌پی‌ام) حاصل شد. همچنین، کشت برنج موجب کاهش معنی‌دار پتاسیم در دسترس خاک در سال دوم (۱۲۱/۱ پی‌پی‌ام) نسبت به سال اول (۱۲۸/۴ پی‌پی‌ام) آزمایش گردید. بر طبق نتایج کلی این آزمایش کاربرد باکتری‌های محرک رشد ضمن حفظ و بهبود خصوصیات شیمیایی خاک موجب افزایش متوسط عملکرد برنج در سال دوم (۳۲۵۰/۳ کیلوگرم در هکتار) گردید.

کلید واژه‌ها: ازتوباکتر؛ ریزوبیوم؛ سودوموناس؛ شالیزار؛ کربن آلی

مقدمه

یکی از مهم‌ترین نیازها در استفاده از سیستم‌های دو یا چندکشتی، حفظ منابع آب و خاک از آلودگی ناشی از مصرف بی‌رویه نهاده‌های شیمیایی و همچنین، حفظ و ارتقای حاصلخیزی خاک در درازمدت است (شهدی‌کومله و همکاران، ۱۳۹٦). اثرات تجمعی ناشی از مصرف کودهای شیمیایی که باعث آلودگی خاک و آب می‌شود به یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های کشاورزی کنونی تبدیل شده است (حجتی‌پور و همکاران، ۱۳۹۲). کاربرد کودهای زیستی به‌ویژه باکتری‌های افزاینده رشد گیاه مهم‌ترین راهبرد در مدیریت تغذیه گیاهی سیستم‌های کشاورزی پایدار می‌باشد (Sharma, 2003). آن‌چه امروزه کشورهای توسعه یافته را تشویق به تولید و مصرف کودهای بیولوژیک می‌نماید، توجه جدی آن‌ها به عوارض زیست‌محیطی ناشی از به‌کارگیری بی‌رویه و نامتعادل کودهای شیمیایی است (طاهرخانی و همکاران، ۱۳۸٦). نیتروژن یکی از عناصر پرمصرف در رشد گیاه است. تثبیت این عنصر در فرآیند همزیستی باکتری با گیاهان تیره بقولات در رفع نیاز غذایی گیاه و جایگزینی آن با کود شیمیایی نیتروژن از اهمیت خاصی برخوردار است (عیوضی و همکاران، ۱۳۹۰). ریزوبیوم‌ها از مهم‌ترین باکتری‌های محرک رشد گیاه هستند که قادر به برقراری رابطه همزیستی تثبیت کنندگی نیتروژن مولکولی هوا هستند. سالانه حدود ۳۰

تا ٤٠ میلیون تن نیتروژن به این روش تثبیت می‌شود و متوسط مقدار تثبیت نیتروژن در لگوم‌ها حدود ۲۰۰ تا ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در سال می‌باشد (عسکری و بیات، ۱۳۹۲؛ خسروی، ۱۳۹٤). استفاده از این پدیده به‌عنوان یکی از ضرورت‌های حیاتی برای تحقق نظام‌های کشاورزی پایدار می‌تواند در افزایش عملکرد، کاهش هزینه‌های تولید، بهبود حاصلخیزی خاک و ممانعت از آلودگی آب‌های زیرزمینی از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار باشد (خدارحمی و همکاران، ۱۳۹۲؛ ابراهیمی و اخگر، ۱۳۹۳؛ Bhattacharyya and Jha, 2012). اثر افزایندگی باکتری‌های محرک رشد بر رشد و نمو گیاهان زراعی موجب شده که اصطلاحاً تحت عنوان باکتری‌های افزاینده رشد (PGPR) نامیده شوند (حمیدی و همکاران، ۱۳۸۹). این باکتری‌ها می‌توانند با تثبیت نیتروژن، تولید مواد تنظیم‌کننده رشد گیاه، تولید آنزیم ACC دی‌آمیناز، افزایش قابلیت جذب عناصر مختلف، تولید ویتامین‌ها و دیگر مواد محرک رشد موجب افزایش رشد گیاه شوند (سعادت و همکاران، ۱۳۹٤). نتایج آزمایش O'Hara و همکاران (۲۰۰۲) نشان داد که جهت افزایش کارآیی تلقیح و بهبود قابلیت تولید بقولات، باید سویه‌هایی با توانایی تثبیت نیتروژن بیشتر که دارای قابلیت بقاء و توان رقابتی بیشتری در شرایط مزرعه‌ای هستند، انتخاب شوند (Hassen *et al*., 2014).

گزارش‌های متعددی در خصوص اثرات مثبت کشت بقولات در تناوب با غلات وجود دارد (Wyngaarden *et al*., 2015؛ Cho *et al*., 2003). محمدی و همکاران (۱۳۹٤) طی یک بررسی عنوان کردند که استفاده از گیاهان لگوم در تناوب با گیاهان زراعی دیگر و غلات می‌تواند به‌عنوان یکی از راهکارهای کاهش استفاده از کودهای شیمیایی به‌ویژه کودهای نیتروژنی باشد. نتایج بررسی تأثیر نظام‌های مختلف کشت بر حاصلخیزی خاک شالیزار نشان داد که بیشترین میزان ماده آلی خاک، نیتروژن کل و فسفر قابل جذب پس از تناوب کشت ذرت- شبدر برسیم- برنج حاصل شد (تبریزی و همکاران، ۱۳۹٤). شالیکار و همکاران (۱۳۸۷) طی بررسی خود بیان داشتند که تناوب زراعی برنج در طولانی‌مدت با محصولاتی از خانواده بقولات (شبدر و باقلا) موجب بهبود کیفیت خاک در مقایسه با تناوب زراعی برنج- آیش می‌شود. نتایج بررسی دیگر نشان داد که میزان نیتروژن ذخیره شده خاک شالیزاری در تناوب کشت نخود- برنج در مقایسه با آیش- برنج بیشتر بود (Sharma *et al*., 2005).

فسفر بعد از نیتروژن مهم‌ترین عنصر غذایی مورد نیاز گیاه است. کمبود این عنصر در اکثر خاک‌ها باعث کاهش تولیدات کشاورزی می‌شود، زیرا بیش از ۸۰ درصد فسفر مصرفی از طریق کود پس از ورود به خاک غیرمتحرک شده و از طریق جذب توسط ذرات کلوئیدی خاک، رسوب کردن و یا تبدیل به شکل آلی از دسترس گیاه خارج می‌شود. در میان باکتری‌های محرک رشد، جنس‌های متعلق به سودوموناس، باسیلوس و ریزوبیوم توانمندترین جدایه‌های حل‌کننده فسفات‌های نامحلول معدنی هستند (فلاح‌نصرت‌آباد و شریعتی، ۱۳۹۳). بسیاری از این باکتری‌ها با تولید آنزیم‌های فسفاتاز و یا تولید مواد بیولوژیک دیگر از جمله اسیدهای آلی، هورمون‌های رشد نظیر اکسین و جیبرلیک اسید و همچنین، ویتامین‌ها، آزاد شدن فسفر را از ترکیبات آلی فسفردار موجب می‌شوند (رضوان‌بیدختی و همکاران، ۱۳۸۸؛ Tian and Kolawole, 2004؛ Kumutha *et al*., 2004؛ Illmer and Schinner, 1992). نتایج یک بررسی به‌منظور شناسایی و انتخاب باکتری محرک رشد مؤثر برای تولید برنج نشان داد که سویه BHYJY23 سودوموناس پوتیدا و بعد از آن سویه BHYJY16 از بیشترین میزان محلول‌سازی فسفر و تولید اکسین (IAA) برخوردار بودند (Lavakush *et al*., 2012). Mayak و همکاران (۲۰۰٤) گزارش کردند که باکتری‌های مولد ACC- دآمیناز انحلال‌پذیری و یا جذب فسفر را افزایش می‌دهند. نتایج بررسی محققان نشان می‌دهد که با افزایش تعداد و تنوع ریزجاندران و اثرات متقابل جوامع میکروبی که موجب افزایش تعداد و تنوع اسیدهای آلی مؤثر در فرآیند انحلال فسفات‌های نامحلول می‌شود، می‌توان کارآیی کود فسفره را افزایش و مصرف آن را تا ۵۰ درصد کاهش داد

(رضوان‌بیدختی و همکاران، ۱۳۸۸؛ Zahir *et al*., 2004؛ Reyes *et al*., 1999) به‌طوری‌که گزارش شده است که بالاترین جذب فسفر گیاهان و مقدار فسفر قابل دسترس خاک از مصرف فسفر به‌همراه باکتری سودوموناس فلورسنس و قارچ میکوریزا آربسکولار حاصل شد (Najjar *et al*., 2012). استفاده از سایر کودهای زیستی نظیر آزوسپریلیوم و ازتوباکتر نیز علاوه بر تثبیت نیتروژن با تولید مواد محرک رشد گیاهی و سنتز اسیدهای آلی سبب فراهم کردن عناصر غذایی، بهبود رشد ریشه و تارهای کشنده و متعاقب آن افزایش سرعت جذب آب و عناصر غذایی مورد نیاز گیاه و افزایش رشد می‌شود (Wu *et al*., 2005؛ Singh *et al*., 2004). نتایج حاصل از یک پژوهش نشان داد که باکتری‌های آزادزی ازتوباکتر به‌طور متوسط دارای توانایی تثبیت ۲۰ کیلوگرم نیتروژن در سال هستند. این باکتری‌ها از طریق افزایش فراهمی عناصر غذایی به افزایش حاصلخیزی خاک کمک می‌کنند. به‌دلیل نقش قابل توجه این باکتری‌ها در پایداری خاک، استفاده از آن‌ها یک جزء مهم از سیستم مدیریت تلفیقی تغذیه به‌شمار می‌رود (Jnawali *et al*., 2015).

با توجه به مصرف سالانه بیش از ۸۵ هزار تن کود شیمیایی در اراضی تحت کشت گیاهان تیره بقولات در ایران و اثرات منفی ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی بر محیط زیست و سلامت انسان‌ها، پژوهش حاضر تحت عنوان " کاربرد باکتری‌های محرک رشد بر خصوصیات شیمیایی خاک در سیستم کشت شبدر- برنج" با هدف بررسی کمی تغییرات شاخص‌های کیفی خاک تحت تناوب زراعی شبدر- برنج و کاربرد انواع کودهای زیستی و همچنین، کاهش و تعدیل مصرف کودهای شیمیایی و ترویج و گسترش روش‌های کم‌نهاده و بدون نهاده در جهت نیل به اهداف کشاورزی پایدار و تولید برنج سالم- ارگانیک لازم به‌نظر می‌رسد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر کاربرد باکتری‌های همزیست و غیرهمزیست بر خصوصیات شیمیایی خاک شالیزار، آزمایشی طی سال‌های زراعی ۹۶ -۱۳۹۵ و ۹۷ -۱۳۹۶، شامل دو دوره کشت شبدر لاکی رقم البرز ۱ و دو دوره کشت برنج رقم هاشمی با شانزده تیمار برای کشت شبدر به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه پژوهشی مؤسسه تحقیقات برنج کشور انجام شد. از نظر موقعیت جغرافیایی این مزرعه پژوهشی در ۳۱ درجه و ۵۳ دقیقه عرض شمالی و ٤۹ درجه و ۳۳ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار مبدأ واقع گردیده است و ارتفاع آن از سطح دریا ۷- متر می‌باشد. بررسی داده‌های ایستگاه هواشناسی مجاور مزرعه پژوهشی مؤسسه تحقیقات برنج کشور در طی سال‌های زراعی ۹٦ - ۱۳۹۵ و ۹۷ -۱۳۹٦، نشان داد که بهمن ماه سال ۱۳۹۵ با میانگین دمای حداقل ۰/۳ درجه سانتی‌گراد و مرداد ماه سال ۱۳۹٦ با میانگین دمای حداکثر ۳۳/۸ درجه سانتی‌گراد به‌ترتیب سردترین و گرم‌ترین ماه‌های دوره رشد بودند. آزمایش شامل دو فاکتور تلقیح با باکتری همزیست ریزوبیوم تریفولی در چهار سطح شامل شاهد بدون باکتری، تلقیح با سویه شبدر ۳، تلقیح با سویه شبدر ۱۳ و تلقیح با مخلوط دو سویه و تلقیح با باکتری‌های محرک رشد غیرهمزیست در چهار سطح شامل شاهد بدون باکتری، تلقیح با باکتری ازتوباکترکروکوکوم، تلقیح با باکتری سودوموناس فلورسنس P169 و تلقیح با مخلوط دو باکتری بود. نمونه‌برداری از خاک مزرعه قبل از شخم اولیه زمین از عمق ۲۵ -۰ سانتی‌متری خاک انجام شد و خصوصیات شیمیایی خاک شامل (N, P, K, EC, OC, pH) در آزمایشگاه خاک و آب مؤسسه تحقیقات برنج کشور تعیین گردید (جدول ۱).

جدول ۱. خصوصیات شیمیایی خاک مزرعه قبل از کشت

هدایت الکتریکی (dS/m)	pH	کربن آلی (٪)	نیتروژن کل (٪)	فسفر (mg/kg)	پتاسیم (mg/kg)
۰/۷۲	٦/۸۷	۱/٥٤	۰/۱۳۱	۹/۷	۱۳٤

قابلیت هدایت الکتریکی (EC) به‌وسیله هدایت‌سنج الکتریکی، واکنش خاک یا اسیدیته (pH خاک) به‌وسیله pH متر، کربن آلی به روش اکسیداسیون تر (Nelson and Sommers, 1982)، نیتروژن کل به روش کجدال (Bremner and Mulvany, 1982)، فسفر قابل جذب به روش اولسن (Olsen and Sommers, 1982) و پتاسیم فراهم با روش استات آمونیوم (Klut, 1986) تعیین شدند.

خاک مزرعه برای هر دوره کشت شبدر در اواخر شهریور ماه با استفاده از روتیواتور شخم زده شد و سپس نقشه طرح پیاده شد. ابعاد هر کرت ٤×۳ درنظر گرفته شد. به‌منظور زهکشی زمین و خروج آب اضافی و ایجاد شرایط مناسب برای کشت شبدر، زهکش‌هایی دور تا دور زمین و همچنین، بین تکرارها حفر گردید. پس از احداث زهکش‌ها نسبت به مرزبندی، عملیات خرد کردن کلوخه‌ها (حاصل از شخم اولیه) اقدام شد. یک‌سوم کود نیتروژنی در زمان کاشت، یک‌سوم در مرحله چهار تا شش برگی و یک‌سوم قبل از به‌ساقه رفتن و تمامی کود فسفر و پتاسیم بر اساس نتایج آزمایش خاک به‌طور یکنواخت قبل از کاشت به تمام کرت‌ها اضافه شد (زمانیان، ۱۳۸۷؛ ربیعی و همکاران، ۱۳۹٤).

باکتری‌های همزیست و غیرهمزیست گیاه شبدر از کلکسیون میکروبی مؤسسه تحقیقات خاک و آب تهیه شدند. پس از تکثیر باکتری‌های همزیست با گیاه شبدر (*Rhizobium leguminosarum* bv.trifolii) در محیط کشت YMB، جمعیت سوسپانسیون در حدود $۱۰^{۸}$ cfu تنظیم شد. به‌منظور تلقیح بذر قبل از کشت، ابتدا ۵۰ گرم بذر داخل ظرف درب‌دار و مناسب ریخته شد، سپس به نسبت مقدار بذر مصرفی، ۵۰ میلی‌لیتر کود بیولوژیک مایع به آن اضافه شد و به‌مدت یک ساعت، شیکر انجام شد تا از آغشته شدن کلیه بذور به کود بیولوژیک اطمینان حاصل شود. در تیمارهای تلقیح مشترک، ابتدا باکتری‌های غیرهمزیست و همزیست به نسبت مساوی مخلوط و سپس بذور در سوسپانسیون باکتری ریخته شده و به‌مدت یک ساعت شیکر انجام شد. پس از این کار بذرها برای کاشت آماده شدند. باکتری‌های محرک رشد غیرهمزیست گیاه که دارای ویژگی‌های تولید مواد اکسینی، حل‌کنندگی فسفات و... می‌باشند؛ پس از تکثیر در محیط کشت Nutrient Broth جمعیت آن‌ها در حدود $۱۰^{۸}$ cfu (یکصد میلیون در هر میلی‌لیتر) تنظیم شد و همانند باکتری‌های همزیست با بذور شبدر تلقیح شدند. در تیمارهای تلقیح مشترک، ابتدا باکتری‌های غیرهمزیست و همزیست به نسبت مساوی مخلوط و سپس بذور در سوسپانسیون باکتری ریخته شده و به مدت یک ساعت شیکر شدند و سپس نسبت به کشت آن‌ها اقدام شد. مقدار مصرف کود بیولوژیک مایع برای تلقیح بذر شبدر بر اساس دستورالعمل ارائه شده توسط مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور در نظر گرفته شد (اسدی‌رحمانی، ۱۳۹۰). عملیات کاشت بذر شبدر در اواخر مهرماه و به‌صورت خطی در ۱۵ خط کاشت به‌فاصله ۲۰ سانتی‌متر انجام شد. مقدار بذر مصرفی ۳۰ کیلوگرم در هکتار بود. برداشت شبدر از ارتفاع ده سانتی‌متری بالای سطح خاک انجام گرفت. از کلیه کرت‌های آزمایشی، پس از برداشت شبدر (قبل از کاشت برنج) از عمق ۲۵ سانتی‌متری سطح خاک نمونه‌برداری صورت گرفت و خصوصیات شیمیایی آن‌ها (N, P, K, EC, OC, pH) در آزمایشگاه خاک و آب مؤسسه تحقیقات برنج کشور- رشت تعیین شد. کرت‌های آزمایشی پس از برداشت آخرین چین شبدر شخم زده شدند. پس از آن، عملیات غرقاب و شخم ثانویه انجام شد تا کلوخه‌های موجود کاملاً خرد شوند و گل‌آب اولیه حاصل گردد. تقریباً یک هفته قبل از نشاکاری نسبت به عملیات آماده‌سازی نهایی زمین از جمله گلخرابی (پادلینگ)، جابجایی خاک و تسطیح اقدام شد. به‌منظور جلوگیری از مخلوط شدن خاک از کرتی به کرت دیگر در حین عملیات آماده‌سازی زمین برای کشت برنج، عملیات شخم به‌صورت دستی و به‌کمک نیروی کارگری انجام شد و مرزها با پوشش نایلونی ضخیم پوشانده شدند. به‌منظور بررسی اثری که باکتری‌های محرک رشد بر خاک بر جای می‌گذارند، کشت نشاهای برنج در همان کرت‌های آزمایشی (شبدر کشت و برداشت شده) به‌فواصل ۲۰×۲۰ سانتی‌متر از یکدیگر انجام گرفت. نشاهای برنج رقم هاشمی مورد استفاده برای کاشت در مرحله ۳ تا ۵ برگی، از خزانه مؤسسه تحقیقات برنج کشور- رشت تهیه شدند. در طول دوره کشت برنج از هیچ گونه کود و نهاده شیمیایی استفاده نشد. وجین مزرعه آزمایشی به‌صورت دستی و به‌کمک نیروی‌کارگری در طی دو مرحله انجام گرفت. پس از برداشت برنج و جمع‌آوری کاه و کلش از کلیه کرت‌های آزمایشی، از عمق ۲۵

سانتی‌متری سطح خاک نمونه‌برداری شد و خصوصیات شیمیایی آن‌ها (N, P, K, EC, OC, pH) در آزمایشگاه خاک و آب مؤسسه تحقیقات برنج کشور- رشت تعیین گردید. تجزیه واریانس مرکب داده‌ها با نرم‌افزار SAS (SAS, 2011) و همچنین، مقایسه میانگین تیمارها با آزمون $LSD_{5\%}$ انجام شد.

نتایج و بحث

هدایت الکتریکی خاک (EC)

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر هیچ یک از فاکتورهای آزمایشی در کشت شبدر و برنج بر میزان هدایت الکتریکی خاک معنی‌دار نبود (جدول ۲ و ۳). افزایش املاح در آب یا خاک به‌عنوان پارامتری منفی تلقی می‌گردد. اولین خسارت ناشی از فزونی املاح در خاک موجب افزایش فشار اسمزی ناحیه ریشه می‌شود و جذب آب توسط ریشه گیاهان را مختل می‌نماید. بر طبق نتایج برگرفته از این آزمایش، کاربرد باکتری‌های محرک رشد در تناوب کشت شبدر- برنج تأثیر نامطلوبی بر خصوصیات شیمیایی خاک شالیزار از طریق افزایش میزان املاح معدنی موجود در عصاره گل اشباع نداشته است.

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌های مربوط به خصوصیات خاک پس از کشت شبدر طی سال های زراعی ۹۷ -۱۳۹۵

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)					
		هدایت الکتریکی	اسیدیته	کربن آلی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم
سال (Y)	۱	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۰۰۲^{ns}	۱/۰۲*	۰/۰۲**	۵/۵۱^{ns}	۳۱۵/۰۱^{ns}
R(Y)	٤	۰/۰۰۵	۰/۰٤	۰/۱۲	۰/۰۰۰۸	۱/۸۷	۳۰۹/۹٦
همزیست (T)	۳	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۲^{ns}	۰/۱۹^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	٤/۳۵^{ns}	۳۳٤/۳۵^{ns}
غیرهمزیست (P)	۳	۰/۰۰۵^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۰/۱^{ns}	۰/۰۰۰۸^{ns}	۵/۲۵^{ns}	۵۳/۳۹^{ns}
همزیست× غیرهمزیست (T×P)	۹	۰/۰۲^{ns}	۰/۰٤^{ns}	۰/۱۳^{ns}	۰/۰۰۰۵^{ns}	۳/۱۲^{ns}	٤۹۹/۰۹^{ns}
سال× همزیست (Y×T)	۳	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۰۲^{ns}	۰/۰۲^{ns}	۰/۰۰۰۳^{ns}	۰/۸۷^{ns}	۲۸۳/۸۳^{ns}
سال× غیرهمزیست (Y×P)	۳	۰/۰۱^{ns}	۰/۰٤^{ns}	۰/۰۰۵^{ns}	۰/۰۰۰۰۹^{ns}	۰/۳۵^{ns}	۵۲۵/۷٤^{ns}
سال× همزیست× غیرهمزیست (Y×T×P)	۹	۰/۰۲^{ns}	۰/۰۲^{ns}	۰/۰۲^{ns}	۰/۰۰۰۰۸^{ns}	۰/۸۸^{ns}	۳۸۱/۲۱^{ns}
خطا (Error)	٦۰	۰/۰۱^{ns}	۰/۰٤	۰/۰۹	۰/۰۰۰٤	۳/۲٤	٤٦۲/۱۸
ضریب تغییرات (CV)		۹/۵۸	۲/۹۳	۱۷/۹۷	۱۰/۸	۱۵/٤۵	۱۷/۵٦

* و ** و ns به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد و غیرمعنی‌دار.

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌های مربوط به خصوصیات خاک پس از کشت برنج طی سال های زراعی ۹۷ -۱۳۹۵

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)					
		هدایت الکتریکی	اسیدیته	کربن آلی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم
سال (Y)	۱	۰/۰۱ns	۱/٦۷**	۰/۰٤ns	۰/۰۰۰۳ ns	٤/۹۵ns	۱۲۹۸/۰۱**
R(Y)	٤	۰/۰۰٤	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۰۱	٤/۵	۵۵/۳۳
همزیست (T)	۳	۰/۰۰۲ns	۰/۰۲ns	۰/۰٤ns	۰/۰۰۱ns	۰/۹۱ns	٦۸۲/۳۹ns
غیرهمزیست (P)	۳	۰/۰۰۲ns	۰/۰۳ns	۰/۰۳ns	۰/۰۰۰۷ns	۱۰/۵*	۸۹/۲٦ns
همزیست× غیرهمزیست (T×P)	۹	۰/۰۱ns	۰/۰۳ns	۰/۰۲ns	۰/۰۰۰٦ns	٤/۰۸ns	۳٤٤/۱۷ns
سال× همزیست (Y×T)	۳	۰/۰۳ns	۰/۰۵ns	۰/۰۱ns	۰/۰۰۰۲ns	٦/۲۸ns	۳۹۱/۵۹ns
سال× غیرهمزیست (Y×P)	۳	۰/۰۱ns	۰/۰۱ns	۰/۰۱ns	۰/۰۰۰۲ns	۱/۷۲ns	۳۵٦/۵٦ns
سال× همزیست× غیرهمزیست (Y×T×P)	۹	۰/۰۰۵ns	۰/۰۳ns	۰/۰٤ns	۰/۰۰۰۳ns	۱/۹ns	۱۷۳/۹۲ns
خطا (Error)	٦۰	۰/۰۱ns	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۰۰۷	۳/۱۳	۳۵٤/۳٤
ضریب تغییرات (CV)		۸/۲۱	۳/۲۷	۱۷/۸۳	۱۹/۵۲	۱۵/۳	۱۵/۰۸

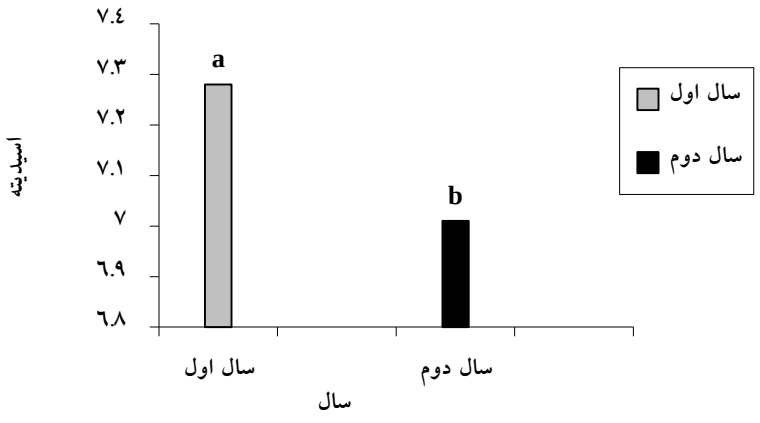
* و ** و ns به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد و غیرمعنی‌دار.

pH خاک

بر طبق نتایج تجزیه واریانس مرکب اثر فاکتورهای آزمایشی در کشت شبدر بر میزان اسیدیته خاک معنی‌دار نبود (جدول ۲). از طرف دیگر اثر کشت برنج بر اسیدیته خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳) به‌طوری‌که کشت برنج موجب کاهش اسیدیته خاک از سال اول (۷/۲۸) به سال دوم (۷/۰۱) آزمایش گردید (شکل ۱). واکنش خاک (pH خاک) معیاری از اسیدیته یا قلیائیت خاک است که به‌ترتیب نشان‌دهنده فعالیت یون هیدروژن (H^+) یا یون هیدروکسیل (OH^-) در محلول‌های آبی می‌باشد. pH خاک یک راهنما جهت پیش‌بینی کمبودهای احتمالی عناصر یا سمیت آن‌ها می‌باشد (Hazelton *et al.*, 2010) و بر عواملی نظیر قابلیت استفاده عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان، تحرک عناصر کم‌مصرف و پرمصرف و فعالیت ریزجانداران خاک مؤثر می‌باشد. واکنش خاک در اثر مدیریت‌های مختلف زراعی نیز ممکن است تغییر کند (NRCS, 1998). با توجه به نتایج حاصله به‌نظر می‌رسد تولید گاز دی‌اکسیدکربن بر اثر تنفس سلول‌های ریشه و ریزجاندران ریزوسفر یکی از دلایل محتمل کاهش اسیدیته خاک بوده باشد (شهدی‌کومله و همکاران، ۱۳۹۷). فرآیندهای اکسایش و احیاء در شرایط غرقابی کشت برنج می‌تواند از دلایل محتمل دیگر کاهش اسیدیته خاک در سال دوم باشد. سیدمحمدی و همکاران (۱۳۹۵) طی یک بررسی گزارش کردند که پتانسیل اکسایش و کاهش یکی از مهم‌ترین عوامل در تعیین ویژگی‌های شیمیایی خاک‌های غرقاب بوده و تأثیر زیادی بر میزان فعالیت و جذب عناصر غذایی دارد. ریزجانداران قادرند با اکسیداسیون ناقص قندها، اسیدهای آلی تولید کنند که می‌تواند باعث کاهش pH محیط شود (ابراهیمی‌کریم‌آباد و همکاران، ۱۳۹٤). از دلایل محتمل دیگر در توجیه نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت که تجزیه مواد آلی در لایه سطحی خاک و واکنش آن با آب، موجب تولید اسید کربنیک شده و بر اثر تفکیک این اسید پروتون آزاد شده که می‌تواند موجب کاهش pH خاک گردیده باشد. طی یک بررسی مشخص شده که کاربرد باکتری‌های محرک رشد موجب کاهش pH خاک از ٦/٧ به ٦ می‌شود که می‌توان این کاهش را به کلونیزه شدن باکتری‌ها در خاک و تولید اسیدهای آلی و متابولیت‌های ثانویه توسط آن‌ها نسبت داد که می‌تواند باعث بهبود فراهمی و جذب عناصری مانند نیتروژن و فسفر گردد (امین‌دلدار و همکاران، ۱۳۹۳).

درصد کربن آلی خاک (OC%)

بر طبق نتایج تجزیه واریانس مرکب اثر کشت شبدر بر درصد کربن آلی خاک در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). به‌طوری‌که کشت شبدر موجب

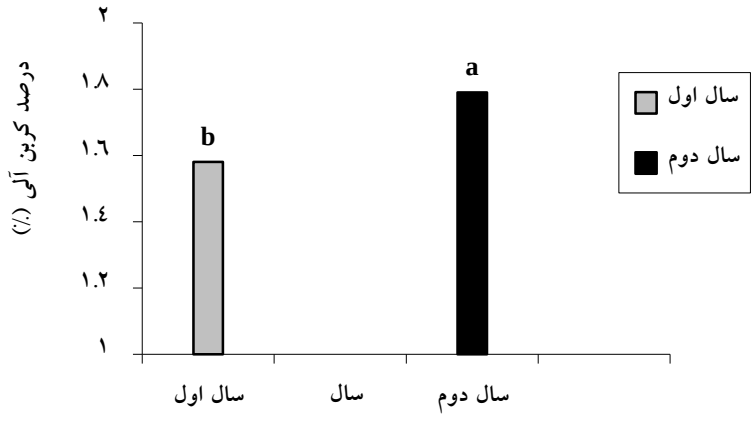


شکل ۱. اثر کشت برنج بر اسیدیته خاک در طی سال‌های زراعی ۹۷ -۱۳۹۵.

افزایش درصد ماده آلی خاک در سال دوم آزمایش (۱/۷۹ درصد) نسبت به سال اول (۱/۵۸ درصد) گردید (شکل ۲). به‌نظر می‌رسد شخم ریشه و بقایای اندام هوایی گیاه در خاک و وجود زمان کافی به‌منظور تجزیه و پوسیدگی آن‌ها می‌تواند از دلایل اصلی افزایش درصد کربن آلی خاک در سال دوم کشت شبدر باشد. در تحقیقی مشخص شد که قرارگیری ماش و بادام زمینی در تناوب با برنج موجب افزایش ماده آلی خاک می‌گردد (Porpavai *et al.*, 2011). گزارش شده است که بقولات نیتروژن را تثبیت و به‌دلیل پایین بودن نسبت کربن به نیتروژن به‌سرعت در خاک تجزیه می‌شوند (میرزاشاهی، ۱۳۹۶) به‌طوری‌که بر نتایج یک پژوهش، گزارش شده است که کشت گیاهان پوششی زمستانه، کربن آلی خاک را در مقایسه به عدم پوشش گیاهی به‌میزان دو درصد افزایش داد (Blomback *et al.*, 2003). نتایج آزمایش‌های طولانی‌مدت انجام شده توسط Russell و همکاران (۲۰۰۵) حاکی از آن است که تغییر مدیریت‌های زراعی از قبیل سیستم شخم، میزان نیتروژن مصرفی و نظام تناوبی تنها توانستند تغییر اندکی در کربن آلی خاک ایجاد نمایند. برگشت گیاهان کود سبز در خاک باعث افزایش کربن و ماده آلی، نیتروژن کل و حاصلخیزی خاک شده که این پدیده در نتیجه فرآیندهای میکروبیولوژیکی اتفاق افتاده و باعث آزادسازی عناصر غذایی برای گیاهان می‌شود (Talgre *et al.*, 2009). ریزجانداران خاک نقش مهمی در تجزیه و تخریب مواد آلی خاک و معدنی شدن آن دارند (میرزاشاهی، ۱۳۹۶). به‌نظر می‌رسد بهبود شرایط آب و هوایی در سال دوم کشت شبدر و همچنین، فعالیت بیشتر باکتری‌های محرک رشد در ریزوسفر گیاه موجب تجزیه بیشتر بقایای گیاهی و افزایش میزان ماده آلی در سال دوم آزمایش شده باشد.

درصد نیتروژن کل خاک

بر طبق نتایج تجزیه واریانس مرکب، اثر کشت شبدر بر میزان نیتروژن خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). به‌طوری‌که کشت شبدر موجب افزایش معنی‌دار نیتروژن خاک از ۰/۱۳۱ به ۰/۱۸۲ و ۰/۲۱۶ درصد به‌ترتیب در سال اول و دوم کشت برنج شد (شکل ۳). نوع گیاهان کشت شده در سال‌های قبل می‌تواند از طریق بهبود خصوصیات خاک (فراهمی نیتروژن، ماده آلی و حفظ آب در خاک) باعث افزایش عملکرد در گیاه بعدی شود. بنابراین یک تناوب مناسب از گیاهان مختلف زراعی امکان استفاده کارآمدتر از منابع موجود را توسط گیاهان فراهم کرده و باعث بهبود توان حاصلخیزی خاک نیز خواهد شد (آینه‌بند، ۱۳۸٤). قرارگیری بقولات در تناوب منجر به افزایش

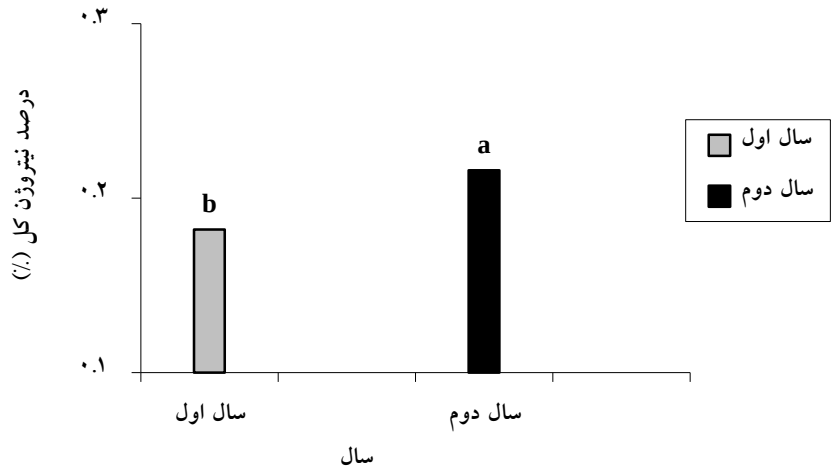


شکل ۲. اثر کشت شبدر بر درصد کربن آلی خاک در طی سال‌های زراعی ۹۷ -۱۳۹۵.

عملکرد غلات از طریق افزایش میزان نیتروژن خاک می‌گردد (Siadat *et al*., 2011). محمدی و همکاران (۱۳۹٤) طی یک بررسی عنوان کردند که ریشه‌ها و اندام‌های سبز هوایی در گیاهان خانواده بقولات می‌تواند در خاک پوسیده شده و نیتروژن آزاد شده از این طریق در اختیار گیاه بعدی قرار گیرد. زارع‌فیض‌آبادی و نوری‌حسینی (۱۳۹۲) طی یک بررسی بیان نمودند که تفاوت عمده بین نظام‌های زراعی تک‌کشتی و تناوبی برای نیتروژن خاک، ناشی از تغییرات نیترات آن‌ها می‌باشد. توانایی تثبیت نیتروژن اتمسفری حبوبات به‌صورت همزیستی تحت طیف وسیعی از شرایط محیطی و ساختن منابع تجدیدپذیر در دسترس برای نشان دادن اثرات مثبت محصول قبلی در تناوب‌های زراعی مختلف توسط محققان متعددی گزارش شده است (Kumar *et al*., 2018; Hossain *et al*., 2017; Anglade *et al*., 2015; Neugschwandtner *et al*., 2015; Shibabaw and Alemeyehu, 2015). گیاهان پوششی خانواده لگوم به‌دلیل توانایی تثبیت بیولوژیکی نیتروژن مورد توجه بسیاری هستند. از نظر بیولوژیکی، نیتروژن تثبیت شده از طریق ریشه‌ها در خاک انتقال داده می‌گردد (Hogh- Jensen and Schjoerring, 2001) و در طول فرآیند تجزیه بقایا بعد از مخلوط شدن در خاک به‌طور تدریجی آزاد می‌شود (Asagi and Ueno, 2009). بنابراین گیاهان پوششی لگومینوز توانایی افزایش حاصلخیزی خاک را دارند (Snapp *et al*., 2005; Sanchez *et al*., 2001) و نیتروژن را برای گیاهان بعدی فراهم می‌کنند (Justes *et al*., 1999). نتایج بررسی دیگر نشان داد که توانایی تثبیت بیولوژیک نیتروژن محصولات بقولات موجب بهبود بازیافت نیتروژن از طریق بقایای گیاهی آن‌ها و کاهش اتلاف نیتروژن می‌شود (Cazzato *et al*., 2012). بر طبق یافته‌هایJensen وPeopls (۲۰۱۰) کشت باقلا موجب افزایش نیتروژن خاک از طریق تثبیت بیولوژیکی می‌گردد و می‌تواند به‌عنوان یک پیش‌کاشت مفید در تناوب‌های مختلف با غلات وارد شود. در پژوهشی دیگر افزایش معنی‌دار نیتروژن خاک در سیستم کشت تناوبی سویا- برنج گزارش شده است (Conde *et al*., 2014). مطالعات انجام شده در مورد اثر گیاهان شبدر قرمز، یونجه معمولی، ماشک و یولاف به‌عنوان کود سبز بر میزان نیتروژن بیولوژیک خاک نشان داد که میزان نیتروژن خاک در مورد یونجه معمولی افزایش زیادی نشان داده و میزان پروتئین بذور گندم در کشت بعدی بالاترین مقدار داشته است (Maiksteniene and Arlauskiene, 2004). عبدی و همکاران (۱۳۹۱) طی یک بررسی گزارش کردند که شبدر سفید به‌دلیل افزایش میزان نیتروژن کل و معدنی قابل استفاده برای گیاه بعدی می‌تواند به‌عنوان بهترین کود سبز معرفی شود. در ارزیابی رابطه همزیستی باکتری و ریشه شبدر می‌توان به افزایش وزن برگ و اندام فتوسنتز کننده گیاه در سال دوم کشت شبدر به‌دلیل بهبود شرایط آب و هوایی اشاره نمود و آن را به افزایش نیتروژن خاک نسبت داد، زیرا دارا بودن سطح برگ مناسب و جذب نور کافی موجب افزایش توان فتوسنتزی گیاه شده و بدین ترتیب انتقال کربوهیدرات به ریشه‌ها و گره‌ها موجب افزایش فعالیت باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن مولکولی هوا و افزایش نیتروژن خاک می‌گردد. Fujita و همکاران (۱۹۹٤) اظهار داشتند که با توجه به تثبیت نیتروژن در گره‌ها که وابسته به ارسال مواد کربوهیدراتی از بخش‌های هوایی گیاه به ریشه است، با افزایش اندام فتوسنتز کننده (برگ) تثبیت نیتروژن نیز بیشتر می‌شود. با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که برقراری تناوب زراعی متناسب با اقلیم (ماکروکلیما و میکروکلیما) و کشت غالب موجود در هر منطقه (برنج) و انتخاب گیاهان زراعی مناسب در تناوب (تثبیت‌کننده و مصرف کننده نیتروژن) بر اساس منابع موجود، علاوه بر بهبود برخی خصوصیات شیمیایی خاک شالیزار می‌تواند موجب افزایش رشد و عملکرد گیاهان مورد کشت در زراعت بعدی گردد و از اتلاف و هدررفت عناصر غذایی (نیتروژن) از طریق آبشویی جلوگیری کرده و مصرف کودهای شیمیایی را تا حد زیادی تعدیل نماید.

میزان فسفر خاک

بر طبق نتایج جدول تجزیه واریانس مرکب اثر تیمارهای آزمایشی در کشت شبدر بر میزان فسفر خاک معنی‌دار نبود (جدول ۲). بر طبق نتایج به‌دست آمده اثر باکتری‌های غیرهمزیست در کشت برنج بر میزان فسفر



شکل ۳. اثر کشت شبدر بر میزان نیتروژن خاک در طی سال‌های زراعی ۹۷ -۱۳۹۵.

خاک در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). به‌طوری‌که تیمار سودوموناس (۱۲/۳۸ پی‌پی‌ام) و تیمار ترکیبی ازتوباکتر+ سودوموناس (۱۱/۸ پی‌پی‌ام) از بالاترین میزان فسفر خاک نسبت به سایر تیمارها برخوردار بودند (شکل ٤). به‌دلیل حلالیت بسیار کم ترکیبات حاوی فسفر در خاک و تمایل واکنش‌های تعادلی آن به‌سمت فاز جامد، میزان فسفر در محلول خاک بسیار اندک است، هنگامی‌که ترکیبات محلول فسفر به خاک اضافه می‌شوند، به اشکال کم‌محلول یا غیرمحلول تبدیل می‌گردند و درنتیجه قابلیت استفاده آن توسط گیاه کاهش می‌یابد. غیرقابل استفاده شدن فسفر در خاک شامل دو فرآیند جذب سطحی و رسوب است. اعتقاد بر این است که در غلظت‌های بالای فسفر، رسوب و در غلظت‌های پایین‌تر این عنصر جذب سطحی انجام می‌گیرد (محمودسلطانی و همکاران، ۱۳۹٦). اسیدهای آلی مهم‌ترین عامل در تحرک فسفر نامحلول می‌باشند (حسن‌زاده و همکاران، ۱۳۸٦). به‌نظر می‌رسد کاربرد باکتری‌های غیرهمزیست نظیر سودوموناس و ازتوباکتر توانسته باشند به‌واسطه تولید اسیدهای آلی موجب کاهش اسیدیته و افزایش حلالیت فسفر تثبیت شده توسط ذرات کلوئیدی خاک (فسفر نامحلول) و افزایش فسفر قابل اندازه‌گیری (در دسترس ریشه گیاه) شده باشد. بر طبق نتایج یک بررسی، حل‌پذیری فسفر توسط سودوموناس پوتیدا، پانزده روز پس از تلقیح، به‌میزان ۲٤۷ $\mu g\ ml^{-1}$ گزارش شده است (Pandey *et al*., 2006). یافته‌های یک تحقیق نشان می‌دهد که بین حلالیت فسفات‌های نامحلول و pH رابطه معکوس وجود دارد به‌طوری که گزارش شده است که تولید اسیدهای ارگانیکی توسط باکتری‌های موجود در خاک و سطح ریشه موجب کاهش pH محیط و افزایش حلالیت فسفر می‌شود (Yadav *et al*., 2016; Yu *et al*., 2011; Keneni *et al*., 2010; Gupta *et al*., 2007; Hwangbo *et al*., 2003). Vyas و Gulati (۲۰۰۹) گزارش کردند که بیشترین کاهش در میزان pH همبستگی مثبتی با بالاترین میزان فسفر انحلال یافته دارد. Mittal و همکاران (۲۰۰۸) همچنین، اظهار داشتند که مقادیر آزادسازی فسفر محلول با میزان تولید اسید همبستگی مثبتی دارد. گزارش شده است که فعالیت اصلی میکروارگانیسم‌هایی نظیر سودوموناس تولید اسیدهای آلی به‌واسطه اکسیداسیون ناقص قندها است که باعث کاهش pH و افزایش حلالیت فسفر محیط می‌شود (Kumutha *et al*., 2004). بر طبق یافته‌های یک پژوهش میزان انحلال فسفات نامحلول در محیط تلقیح شده با سودوموناس بیشترین مقدار را داشت (Kannapiran and Ramkumar, 2011). واکنش‌های آنزیمی به‌ویژه آنزیم‌های گروه فسفاتاز تولید شده توسط میکروارگانیسم‌های نظیر سودوموناس از

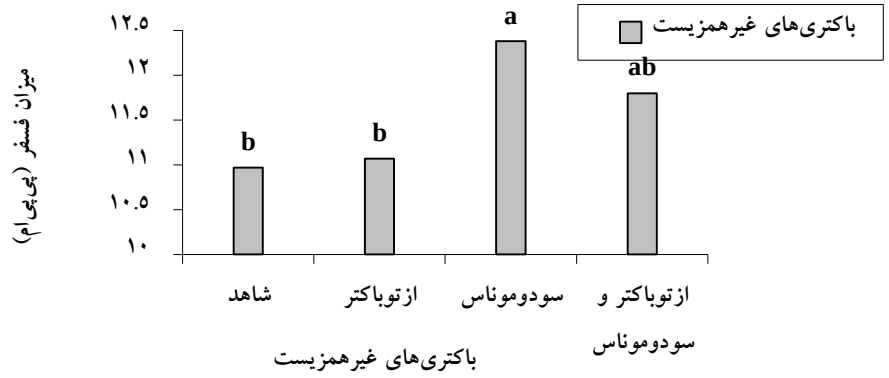
عوامل دیگری است که می‌تواند بر معدنی شدن فسفر مؤثر باشد (Kumutha *et al.*, 2004) و می‌تواند از دلایل محتمل افزایش فسفر معدنی خاک در اثر کاربرد باکتری‌های محرک رشد به‌شمار رود. Yadav و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی فعالیت حل‌پذیری فسفر توسط پنج سویه باکتری سودوموناس (PSM1, PSM2, PSM3, PSM4, PSM5) و باکتری *Bacillus megaterium* گزارش کردند که سویه PSM1 سودوموناس به‌عنوان مؤثرترین سویه باکتری از این نظر بود. امین‌پناه و عباسیان (۱۳۹۵) طی یک بررسی گزارش کردند که انتظار می‌رود که کشت بقولات قبل از برنج منجر به افزایش فعالیت باکتری‌ها در ریزوسفر برنج گردد. با توجه به این نتایج، به‌نظر می‌رسد افزایش درصد کربن آلی خاک در سال دوم کشت برنج از دلایل احتمالی افزایش فعالیت باکتری‌های محرک رشد نظیر سودوموناس و ازتوباکتر و افزایش حلالیت فسفر در طی دوره رشد برنج بوده باشد.

میزان پتاسیم خاک

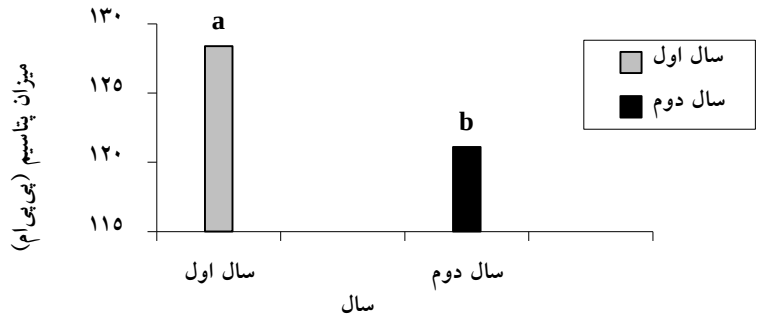
بر طبق نتایج جدول تجزیه واریانس اثر کشت برنج بر میزان پتاسیم خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). به‌طوری‌که کشت برنج موجب کاهش پتاسیم در دسترس خاک در سال دوم (۱۲۱/۱ پی‌پی‌ام) نسبت به سال اول (۱۲۸/٤ پی‌پی‌ام) آزمایش گردید (شکل ۵). گزارش شده است که ارقام برنجی که عملکرد بالاتری دارند، نیازمند تأمین پتاسیم بیشتری نیز می‌باشند (Hu and Wang, 2004). همچنین، نتایج یافته‌های یک تحقیق نشان می‌دهد که گیاه برنج درصد زیادتری از مقدار کل پتاسیم خاک را نسبت به گیاهان روئیده شده در شرایط غیرشالیزار از قسمت پتاسیم غیرقابل استفاده خاک جذب می‌نماید که این موضوع را به توانایی گیاه برنج برای استخراج پتاسیم از خاک نسبت می‌دهند (شهدی‌کومله، ۱۳۷۸). شرایط غرقاب کشت برنج و عدم مصرف کود پتاسه در کشت برنج می‌تواند یکی دیگر از دلایل حصول چنین نتیجه‌ای باشد. شستشوی پتاسیم در اراضی غرقابی زیاد است به‌طوری‌که نتایج یک بررسی نشان می‌دهد که علت کم بودن پتاسیم در خاک‌های مناطق پرباران و مرطوب نسبت به خاک‌های مناطق خشک، آبشویی آن در خاک‌های مناطق مرطوب است. نتیجه آبشویی در خاک، تجمع پتاسیم درلایه‌های زیرین خاک می‌باشد (کریمی‌مریدانی، ۱۳۹۳). از دلایل محتمل دیگر کاهش پتاسیم خاک در سال دوم کشت برنج می‌توان به جمع‌آوری کاه و کلش (بقایای برنج) پس از برداشت برنج اشاره کرد. نتایج یک پژوهش نشان می‌دهد که کاه وکلش برنج در نگهداری پتاسیم خاک دارای نقش قابل‌توجهی است (Pavithira *et al.*, 2017). گزارش شده است که عامل مؤثر در توازن منفی پتاسیم خارج کردن کاه و کلش از مزارع و سوزاندن آن‌هاست (قوشچی و همکاران، ۱۳۸۹).

نتیجه‌گیری کلی

بررسی خصوصیات شیمیایی خاک در طی دو دوره کشت شبدر و برنج نشان داد که اثر کشت شبدر بر درصد کربن آلی و میزان نیتروژن خاک معنی‌دار بود و بر اسیدیته، میزان فسفر و پتاسیم خاک اثر معنی‌داری نداشت. همچنین، باکتری‌های همزیست و غیرهمزیست به‌کار رفته بر کلیه خصوصیات شیمیایی خاک پس از برداشت شبدر اثر معنی‌داری نداشتند. کشت شبدر در سال دوم موجب افزایش درصد کربن آلی و میزان نیتروژن خاک به‌ترتیب به‌میزان ۰/۲۱ و ۰/۰۳ درصد نسبت به سال اول گردید. توانایی تثبیت بیولوژیک نیتروژن محصولات بقولات موجب بهبود بازیافت نیتروژن از طریق بقایای گیاهی آن‌ها و کاهش اتلاف نیتروژن می‌شود. به‌نظر می‌رسد تولید گره‌های ریشه بیشتر و بهبود فرآیند تثبیت نیتروژن در سال دوم کشت شبدر از دلایل محتمل افزایش نیتروژن خاک و همچنین، شخم ریشه و بقایای اندام هوایی شبدر در خاک و وجود زمان کافی به‌منظور تجزیه و پوسیدگی آن‌ها می‌تواند از دلایل اصلی افزایش درصد کربن آلی خاک در سال دوم کشت شبدر به‌شمار می‌رود. اثر کشت برنج بر میزان پتاسیم و اسیدیته خاک معنی‌دار بود و بر سایر خصوصیات



شکل ٤. اثر باکتری‌های غیرهمزیست بر میزان فسفر خاک در طی سال‌های زراعی ۹۷ -۱۳۹۵



شکل ۵. اثر کشت برنج بر میزان پتاسیم خاک در طی سال‌های زراعی ۹۷ -۱۳۹۵.

شیمیایی خاک مورد مطالعه اثر معنی‌داری نداشت. کشت برنج موجب کاهش اسیدیته و میزان پتاسیم خاک در سال دوم آزمایش گردید. به‌نظر می‌رسد فرآیندهای اکسایش و احیاء در شرایط غرقاب، افزایش درصد کربن آلی و فعالیت بیشتر و بهتر ریزجانداران خاک در سال دوم کشت برنج از دلایل محتمل کاهش اسیدیته و همچنین، نیاز بالای گیاه برنج به عنصر پتاسیم، عدم مصرف کود شیمیایی در کشت برنج، تخلیه پتاسیم بین‌لایه‌ای خاک و جمع‌آوری کاه و کلش پس از برداشت برنج از دلایل محتمل کاهش پتاسیم بوده باشد. همچنین، اثر باکتری‌های غیرهمزیست در کشت شبدر بر میزان فسفر خاک در کشت برنج معنی‌دار بود، به‌طوری‌که میزان فسفر خاک در کشت برنج در اثر کاربرد باکتری‌های غیرهمزیست افزایش یافت. بیشترین میزان فسفر خاک از تیمار سودوموناس (۱۲/۳۸ پی‌پی‌ام) حاصل شد. افزایش میزان فسفر خاک در اثر کاربرد باکتری‌های غیرهمزیست در کشت شبدر را احتمالاً می‌توان به نقش باکتری سودوموناس در افزایش قابلیت دسترسی فسفر نسبت داد. افزایش تعداد و تنوع میکروارگانیسم‌ها و اثرات متقابل جوامع میکروبی باعث افزایش تعداد و تنوع اسیدهای آلی مؤثر در فرآیند انحلال فسفات‌های نامحلول می‌شود. به‌نظر می‌رسد باکتری غیرهمزیست سودوموناس توانسته باشند به‌واسطه تولید اسیدهای آلی موجب افزایش حلالیت فسفر تثبیت شده توسط ذرات کلوئیدی خاک (فسفر نامحلول) و افزایش فسفر قابل اندازه‌گیری (در دسترس ریشه گیاه) شده باشد. بر طبق نتایج کلی این آزمایش می‌توان گفت که تناوب کشت بقولات- برنج ضمن افزایش حاصلخیزی خاک و تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه از طریق کاربرد باکتری‌های محرک رشد با قابلیت تثبیت نیتروژن مولکولی هوا و تبدیل عناصر غذایی اصلی از فرم غیرقابل دسترس به فرم قابل دسترس از راهکارهای قابل توصیه و کاربردی برای زارعین منطقه در شش ماه دوم سال به‌شمار می‌رود و می‌تواند با افزایش کارآیی مصرف کودهای شیمیایی موجب کاهش و تعدیل مصرف نهاده‌های شیمیایی در زراعت برنج با رویکرد تولید محصولات کشاورزی سالم- ارگانیک گردد.

فهرست منابع

آینه‌بند، ا. ۱۳۸٤. اثر تاریخچه کشت بر خصوصیات اکولوژیکی- زراعی اکوسیستم گندم. مطالعه موردی: مزارع آموزشی- تولیدی مجتمع کشاورزی رامین (ملاثانی). مجله علمی کشاورزی، ۲۸(۲): ۱۱٦-۱۰۱.

ابراهیمی، م. و اخگر، ع. ۱۳۹۳. تأثیر تلقیح تلفیقی باکتری سینوریزوبیوم (*Sinorhizobium* sp) و باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه بر تثبیت نیتروژن و رشد یونجه. مجله مدیریت خاک و تولید پایدار، ٤(۱): ۱۹۹-۱۸۳.

ابراهیمی‌کریم‌آباد، ر.، رسولی‌صدقیانی، م. و برین، م. ۱۳۹٤. جداسازی میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات از ریزوسفر گندم و بررسی توان حل‌کنندگی آن‌ها در دو منبع فسفات نامحلول. تحقیقات کاربردی خاک، ۳(۲): ٤۱-۲۹.

اسدی‌رحمانی، ه.۱۳۹۰. تهیه دستورالعمل نحوه کاربرد کودهای بیولوژیک، گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی، شماره ٤۱٦۱۲، مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

امین‌پناه، ه. و عباسیان، ا. ۱۳۹۵. اثر تناوب زراعی، تلقیح با ازتوباکتر کروکوکوم و مقدار نیتروژن بر عملکرد برنج. مجله تولید گیاهان زراعی، ۹(۳): ۲۳۰-۲۱۱.

تبریزی، ع، ا.، نورمحمدی، ق. و مبصر، ح. ۱۳۹٤. تأثیر نظام‌های مختلف کشت بر حاصلخیزی خاک شالیزار. اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، ۹(۲): ۲۰۲-۱۹۱.

حجتی‌پور، ا.، جعفری‌حقیقی، ب. و درستکار، م. ۱۳۹۲. تأثیر تلفیق کودهای زیستی و شیمیایی بر عملکرد دانه، اجزای عملکرد و شاخص‌های رشدی گندم. مجله علمی- پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی، ۵(۱۵): ٤۸-۳۷.

حسن‌زاده، ا.، مظاهری، د.، چایی‌چی، م. ر. و خاوازی، ک . ۱۳۸٦. کارآیی مصرف باکتری‌های تسهیل کننده جذب فسفر و کود شیمیایی فسفر برعملکرد و اجزا عملکرد جو. فصلنامه پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی، (۷۷): ۱۱۸-۱۱۱.

حمیدی، آ.، اصغرزاده، ا.، چوکان، ر.، دهقان شعار، م.، قلاوند، ا. و ملکوتی، م. ج. ۱۳۸۹. تأثیر کاربرد باکتری‌های افزاینده رشد گیاه (PGPR) بر تسهیم ماده خشک و برخی ویژگی‌های رشد ذرت در شرایط گلخانه. پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، ۲٤(۱): ٦۷-۵۵.

خدارحمی، م.، صباغ‌پور، س، ح. و فرنیا، ا. ۱۳۹۲. اثر سوش‌های مختلف باکتری‌های ریزوبیوم بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه ارقام اصلاح شده نخود. به‌زراعی نهال و بذر، ۲-۲۹(۲): ٤۱۲-٤۰۳.

خسروی، ه. ۱۳۹٤. ریزوبیوم‌ها و نقش آن‌ها در مدیریت نیتروژن اراضی کشاورزی زیر کشت لگوم‌ها. مدیریت اراضی، ۳(۱): ٤۸-۳۷.

ربیعی، م.، جیلانی، م. و کریمی، ش. ۱۳۹٤. اثر مصرف کودهای نیتروژن و فسفر بر شاخص‌های برداشت و برخی صفات مهم زراعی گیاه تریتیکاله در منطقه گیلان. به‌زراعی کشاورزی، ۱۷(۲): ۳۲۷-۳۱۳.

رضوان‌بیدختی، ش.، دشتبان، ع.، کافی، م. و سنجانی، س. ۱۳۸۸. ارزیابی اثر کاربرد سویه‌هایی از باکتری سودوموناس برعملکرد و اجزای عملکرد گندم در سطوح مختلف فسفر. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱(۱): ٤۰-۳۳.

زارع‌فیض‌آبادی، ا. و نوری‌حسینی، م. ۱۳۹۲. بررسی تغییرات کربن آلی و برخی عناصر غذایی خاک در تناوب‌های زراعی مبتنی بر گندم. پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، ۲۷(٤): ٦٤۳-٦۲۹.

زمانیان، م. ۱۳۸۷. بررسی و مقایسه عملکرد شبدر لاکی با دیگر گونه‌های شبدر در تاریخ‌های مختلف کشت. به‌نژادی نهال و بذر، ۲٤(۲): ۳۲۰-۳۰۹.

سعادت، ف.، احتشامی، م، ر، اصغری، ج. و ربیعی، م. ۱۳۹٤. تأثیر پوشش‌دار کردن بذر با باکتری‌های محرک رشد و عناصر ریزمغذی بر عملکرد کمی و کیفی ذرت علوفه‌ای. علوم گیاهان زراعی ایران، ٤٦(۳): ٤۹٦-٤۸۵.

سیدمحمدی، ج.، اسماعیل‌نژاد، ل.، رمضان‌پور، ح. و افتخاری، ک. ۱۳۹۵. تحلیل وضعیت اکسایش- کاهش و روند تحول خاک‌های شالیزار در یک توپوسکوئنس. آب و خاک، (۳۰(۲): ٤۹٦-٤۸٤.

شالیکار، ا.، ایوبی، ش.، خرمالی، ف. و قربانی‌نصرآبادی، ر. ۱۳۸۷. ارزیابی شاخص‌های مختلف کیفیت خاک در تناوب‌های زراعی با کشت برنج در منطقه دشت سر- آمل. فصلنامه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۵(٦): ۱۲-۱.

شهدی‌کومله، ع.، سیدی، س. ر.، ربیعی، م. و فروغی، م. ۱۳۹۷. اثر باقی‌مانده کودهای نیتروژن و فسفر بر خصوصیات شیمیایی خاک در سیستم کشت باقلا- برنج. نشریه حفاظت منابع آب و خاک (علمی- پژوهشی)، ۷(٤): ۱۱۵-۱۰۳.

شهدی‌کومله، ع.، صادق‌کسمائی، ل.، ربیعی، م. و فروغی، م. ۱۳۹٦. اثر باقی‌مانده کودهای نیتروژن و فسفر در مزرعه باقلا بر عملکرد در سیستم کشت باقلا- برنج در گیلان. اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، ٤۲(۲): ۳۹۸-۳۸۳.

شهدی‌کومله، ع. ۱۳۷۸. راهنمای مصرف کود پتاسه در شالیزار. نشریه ترویجی، شماره ۱۷۰۲۱، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

طاهرخانی، م.، نورمحمدی، ق.، میرهادی، م. ج. و علی‌محمدی، ر. ۱۳۸٦. بررسی قابلیت تثبیت بیولوژیکی نیترون در ارقام مختلف لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L) با کاربرد سه نوع مایه تلقیح حاوی باکتری تثبیت کننده نیتروژن (*Rhizobium phaseoli*). بوم‌شناسی گیاهان زراعی، ۳(۷): ۸۸-۸۰.

عبدی، س.، تاخبخش، م.، عبدالهی‌مندولکانی، ب. و رسولی‌صدقیانی، م. ح. ۱۳۹۱. بررسی اثر کود سبز بر میزان ماده آلی و نیتروژن خاک. دو فصلنامه دانشور علوم زراعی ، ۵(۷): ۵۲-٤۱.

عسکری، م. و بیات، ل. ۱۳۹۲. اثرات تلقیح دو سویه ریزوبیوم بر شاخص‌های آناتومیکی شبدر ایرانی (*Trifolium resupinatum*) تحت آلودگی دی‌اکسیدگوگرد. سلول و بافت (Cell and Tissue)، ٤(۳): ۲۷۳-۲٦۱.

عیوضی، ع.، فجری، ا.، رضازاد، م.، سلیمان‌پور، م. و رضایی، م. ۱۳۹۰. ارزیابی توانایی تثبیت زیستی نیتروژن در سویه‌های ریزوبیوم همزیست با بقولات در استان آذربایجان غربی. مجله علوم زراعی ایران، ۱۳(٤): ٦٤۱-٦۲۷.

فلاح‌نصرت‌آباد، ع. و شریعتی، ش. ۱۳۹۳. بررسی تأثیر باکتری‌های سودوموناس و باسیلوس در عملکرد گندم و جذب عناصر غذایی و مقایسه آن با کود شیمیایی و آلی. آب و خاک، ۲۸(۵): ۹۸٦-۹۷٦.

قوشچی، ف.، جورابلو، ع.، سیلسپور، م. و هادی، ح. ۱۳۸۹. اثر خاکورزی و مدیریت بقایای گیاهی جو (*Hordeum vulgare* L.) بر ویژگی‌های خاک و ذرت علوفه‌ای (*Zea mays* L.). بوم‌شناسی کشاورزی، ۲(۳): ٤۳٦-٤۲۸.

کریمی‌مریدانی، م. ۱۳۹۳. اهمیت پتاسیم در حاصلخیزی خاک شالیزار. فصلنامه نظام مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۲(٤٤): ۳۹ -۳۳.

محمدی، غ.، صفری‌پور، م.، قبادی، م. ا. و نجفی، ع. ۱۳۹٤. تأثیر کودهای سبز و نیتروژن برعملکرد و شاخص‌های رشدی ذرت. دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۲۵(۲): ۱۲٤-۱۰۵.

محمودسلطانی، ش.، کاوسی، م.، قلی‌پور، م.، شکوری، م. و پیکان، م. ۱۳۹٦. بررسی رفتار فسفر قابل استفاده تحت شرایط غرقابی در خاک‌های شالیزاری پس از کاربرد کود فسفره. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲٤(٦): ٤٦-۲۵.

میرزاشاهی، ک. ۱۳۹٦. بررسی ادواری کربن آلی خاک در دشت خوزستان و ارایه راهکارهای ترویجی. مدیریت اراضی، ۵(۱): ۱۲-۱.

Anglade, J., Billen, G. and Garnier, J. 2015. Relationships for estimating N_2 fixation in legumes: incidence for N balance of legume-based cropping systems in Europe. Ecosphere, 6(3): 1-24.

Asagi, N. and Ueno, H. 2009. Nitrogen dynamics in paddy soil applied with various 15 N-labelled green manures. Plant and Soil, 322(1): 251-262.

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.

Blomback, K., Eckersten, H. and Lewan, E .2003. Simulations of soil carbon and nitrogen dynamics during seven years in a catch crop experiment. Agricultural Systems, 76(1): 95-114.

Bremner, J. M. and Mulvany, C. S. 1982. " Nitrogen-total", In: Page, A. L., Miller, R. M. and Keeney, D.R., (eds.), Methods of soil analysis, part 2, soil science society of America, Madison, WI, 595-624 pp.

Cazzato, E., Laudadio, V., Stellacci, A. M., Ceci, E. and Tufarelli, V. 2012. Influence of sulphur application on protein quality, fatty acid composition and nitrogen fixation of white lupin (*Lupinus albus* L), European Food Research and Technology, 235(5): 963-969.

Cho,Y. S., Hidaka, K. and Mineta, T. 2003. Evaluation of white clover and rye grown in rotation with no-tilled rice. Field crops research, 83(3): 237-250.

Conde, L. D., Chen, Z., Chen, H. and Liao, H. 2014. Effects of phosphorus availability on plant growth and soil nutrient status in the rice/ soybean rotation system on newly cultivated acidic soils. American Journal of Agriculture and Foresty, 2(6): 309-316.

Fujita, K., Ofosu- Budu, K. G. and Ogata, S. 1994. Biological nitrogen fixation in mixed legume-cereal cropping system. Plant and Soil, 141(1-2): 155-175.

Gupta, N., Sabat, J., Parida, R. and Kerkatta, D. 2007. Solubilization of tricalcium phosphate and rock phosphate by microbes isolated from chromite, iron and manganese mines. Acta Botanica Croatica, 66(2): 197-204.

Hassen, A. I., Bopape, F. L. and Trytsman, M. 2014. Nodulation study and characterization of rhizobial microsymbionts of forage and pasture legumes in South Africa. World Journal of Agricultural Research, 2(3): 93-100.

Hazelton, P., Murphy, B., Neyshabouri, M. R. and A. Reyhanitabar. 2010. Interpreting soil test results, Tabriz University Press, 91 p.

Hogh- Jensen, H. and Schjoerring, J. K. 2001. Rhizodeposition of nitrogen by red clover, white clover and ryegrass leys. Soil Biology and Biochemistry, 33(4-5): 439-448.

Hossain, Z., Wang, X., Hamel, Ch., Knight, D., Morrison, M. J. and Gan, Y. 2017. Biological nitrogen fixation by pulse crops on semiarid Canadian prairies. Canadian journal of plant science, 97(1): 119-131.

Hu, H. and Wang, G. H. 2004. Nutrient uptake and use efficiency of irrigated rice in response to potassium application. Pedosphere, 14(1): 125-130.

Hwangbo, H., Park, R. D., Kim, Y. W., Rim, Y. S., Park, K., Kim, H., Suh, H. J. S. and Kim, K. Y. 2003. 2-Ketogluconic acid production and phosphate solubilization by Enterobacter intermedium. Current microbiology, 47(2): 87-92.

Illmer P. and Schinner F. 1992. Solubilization inorganic phosphates by microorganisms isolated from forest soils, Soil Biology and Biochemistry, 24(4): 389-395.

Jensen, E. S. and Peoples, M. B. 2010. Faba bean in cropping systems. Field crops research, 115(3): 203-216.

Jnawali, A. D., Ojha, R. B. and Marahatta, S. 2015. Role of *Azotobacter* in soil fertility and sustainability–A Review. Adv. Plants Agric. Res, 2(6): 1-5.

Justes, E. B., Mary, B. and Nicolardot, B. 1999. Comparing the effectiveness of radish cover crop, oilseed radish volunteers and residues incorporation for reducing nitrate leaching. Nutrient Cycling Agroecosystems, 55(3): 207-220.

Kannapiran, E. and Ramkumar, V. S. 2011. Isolation of phosphate solubilizing bacteria from sediments of Thondi coast, Palk Strait, Southeast coast India. Annals of Biological Research, 2(5): 157-163.

Keneni, A., Assefa, F. and Prabu, P. C. 2010. Isolation of phosphate solubilizing bacteria from the rhizosphere of faba bean of Ethiopia and their abilities on solubilizing insoluble phosphates. Journal of Agricultural Science and Technology, 12(1): 79-89.

Klut, A. 1986. Method of Soil Analysis: Physical, Chemical and mineralogical methods. Soil sci. soc. qm. Madison, WI, USA, 432-449 pp.

Kumar, S., Meena, R. S., Lal, R., Yadav, G. S., Mitran, T., Meena, B., Dotaniya, M. L. and El Sabagh, A. 2018. Role of legumes in soil carbon sequestration, legumes for soil health and sustainable management, Singapor, 109-138 pp.

Kumutha, K., Sempaualan, J. and Krishnan, P. S. 2004. Effect of insoluble phosphate and dual inoculation on soybean. In: Kannaryan, S., Kumar, K., Gouidarajan, K. (eds.), Biofertilizer, 354-358 pp.

Lavakush, Yadav, J. and Verma, J. P. 2012. Isolation and characterization of effective plant growth promoting rhizobacteria from rice rhizosphere of indian soil. Asian J Biol Sci, 5(6): 294-303.

Maiksteniene, S. and Arlauskiene, A. 2004. Effect of preceding crops and green manure on the fertility of clay loam soil. Agronomy research, 2(1): 87-97.

Mayak, S., Tirosh, T. and Glick, B. R. 2004. Plant growth-promoting bacteria confer resistance in tomato plants to salt stress. Plant physiology and Biochemistry, 42(6): 565-572.

Mittal, V., Singh, O., Nayyar, H., Kaur, J. and Tewari, R. 2008. Stimulatory effect of phosphate-solubilizing fungal strains (*Aspergillus awamori* and *Penicillium citrinum*) on the yield of chickpea (*Cicer arietinum* L. cv. GPF2). Soil Biology and Biochemistry, 40(3): 718-727.

Najjar, Gh., Godlinski, F., Vassilev, N. and Eichler-Lobermann, B. 2012. Dual inoculation with *Pseudomonas fluorescens* and arbuscular mycorrhizal fungi increases phosphorus uptake of maize and faba bean from rock phosphate. vTI. Agriculture and Forestry Research, 3(62): 77-82.

Natural Resources Conservation Service (NRCS), USDA. 1998. Soil quality information sheet. Indicators for Soil Quality Evaluation.

Nelson, D. W. and Sommers, L. E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. p. 539-579. In A. L. Page *et al*., (ed.) Methods of soil analysis. Part 2. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.

Neugschwandtner, R., Ziegler, K., Kriegner, S. and Kaul, H. P. 2015. Nitrogen yield and nitrogen fixation of winter faba beans. Soil and Plant Science, 65(7): 1-9.

O'Hara, G., Yates, R. and Howieson, H. 2002. Selection of strains of root nodule bacteria to improve inoculants performance and increase legume productivity in stressful environments.ACIAR Proceedings,109: 75-80.

Olsen, S. R. and Sommers, L. E. 1982. Phosphorus. Chemical and microbiological properties p. 403- 430. In: A. L. Page *et al*., (ed.) Methods of soil analysis. Part 2. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. Madison, WI.

Pandey, A., Trivedi, P., Kumar, B. and Palni, L. M. S. 2006. Characterization of a phosphate solubilizing and antagonistic strain of *Pseudomonas putida* (B0) isolated from a sub-alpine location in the Indian central Himalaya. Current microbiology, 53(2): 102-107.

Pavithira, E., Sirisena, D. N. and Herath, S. K. 2017. Effect of potassium fertilizer split applications together with straw on optimum level in leaf and stem of Rice. The Journal of Agricultural Sciences, 12(1): 24-33.

Porpavai, S., Devasenapathy, P., Siddeswaran, K. and Jayaraj, T. 2011. Impact of various rice based cropping systems on soil fertility. Journal of cereals and oilseeds, 2(3): 43-46.

Reyes, I., Bernier, L., Simard, R. R., Tanguay, P. and Antoun, H. 1999. Characteristics of phosphate solubilization by an isolate of a tropical *Penicillium rugulosum* and two UV-induced mutants. FEMS Microbiology Ecology, 28(3): 291-295.

Russell, A. E., Laird, D. A., Parkin, T. B. and Mallarino, A. P. 2005. Impact of nitrogen fertilization and cropping system on carbon sequestration in Midwestern mollisoils. Soil Science Society of America Journal, 69(2): 413-422.

Sanchez, J. E., Willson, T. C., Kizilkaya, K., Parker, E. and Harwood, R. R. 2001. Enhancing the mineralizable N pool through substrate diversity in long term cropping systems. Soil Science Society of America Journal, 65(5): 1442-1447.

SAS Institute. 2011. SAS/IML 9.1 user's guide. Sas Institute.

Sharma, A. K. 2003. Biofertilizers for Sustainable Agriculture. Agrobios, India. 407 p.

Sharma, G., Patil, S. K., Buresh, R. J., Mishra, V. N., Das, R. O., Haefele, S. M. and Shrivastava, L. K. 2005. Rice establishment method affects nitrogen use and crop production of rice-legume systems in drought-prone eastern India. Field Crops Research, 92(1): 17-33.

Shibabaw, A. and Alemeyehu, M. 2015. The contribution of some soil and crop management practice on soil organic carbon reserves: review. Journal of Advances in Agriculture, 3(3): 269-277.

Siadat, S. A., Moradi- Telavat, M. R., Fathi, G., Mazarei, M., Alamisaeid, K. and S. H. Mouasavi. 2011. Rapeseed (*Brassica napus* L. var. oleifera) response to nitrogen fertilizer following different previeous crops. Italian Journal of Agronomy, 6(4): 199-203.

Singh, R., Behl, R. K., Singh, K. P., Jain, P. and Narula, N. 2004. Performance and gene effects for wheat yield under inoculation of arbuscular mycorrhiza fungi and *Azotobacter chroococcum*. Plant Soil and Environment, 50(9): 409-415.

Snapp, S. S., Swinton, S. M., Labart, R., Mutch, D., Black, J. R., Leep, R., Nyiraneza, J. and O'Neil, K. 2005. Evaluating cover crops for benefits, costs and performance within cropping system niches. Agronomy journal, 97(1): 322-332.

Talgre, L., Lauringson E., Roostalu H. and Astover, A. 2009. The effects of green manures on yields and yield quality of spring wheat. Agronomy Research, 7(1):125-132.

Tian, G. and Kolawole, G. O. 2004. Comparison of various plant residues as phosphate rock amendment on Savanna Soils of West Africa, Journal of plant nutrition, 27(4): 571-583.

Vyas, P. and Gulati, A. 2009. Organic acid production in vitro and plant growth promotion in maize under controlled environment by phosphate-solubilizing *fluorescent Pseudomonas*. BMC microbiology, 9(1): 174.

Wu, S. C., Cao, Z. H., Li, Z. G., Cheung, K. C. and Wong, M. H . 2005. Effect of biofertilizer containing N fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. Geoderma, 125(1-2): 155-166.

Wyngaarden, S. L., Gaudin, A. C. M., Deen, W. and Martin, R. C. 2015. Expanding Red Clover (*Trifolium retense*) Usage in the corn-soy-wheat rotation. Sustainability, 7(11): 15487-15509.

Yadav, A., Yadav, K. and Vashistha, A. 2016. Phosphate solubilizing activity of *Pseudomonas fluorescens* PSM1 isolated from wheat rhizosphere. Journal of Applied and Natural Science, 8(1): 93-96.

Yu, X., Liu, X., Zhu, T. H., Liu, G. H. and Mao, C. 2011. Isolation and characterization of phosphate-solubilizing bacteria from walnut and their effect on growth and phosphorus mobilization. Biology and Fertility of Soils, 47(4): 437-446.

Zahir, A. Z., Arshad, M. and Frankenberger, W. F. 2004. Plant growth promoting rhizobacteria. Advances in agronomy, 81(1): 97-168.

نشریه حفاظت منابع آب و خاک
ISSN 2251-7480

Effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) on soil chemical properties in a clover- rice cropping system

Abbas Shahdi Kumleh[1*]

1*) Research Assistant Professor of Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.
*Corresponding author email: Shahdiabbas8@gmail.com

Received: 24-08-2019 Accepted: 01-07-2020

Abstract

One of the main pillars of sustainable agriculture is the use of biofertilizers in agro-ecosystems to modify and reduce the use of chemical inputs. This study was carried out to investigate the effect of growth promoting bacteria on soil chemical properties in a clover- rice cropping system using a factorial experiment with randomized complete blocks having three replications at the research site of Rice Research Institute of Iran, during 2015- 17. Experimental factors for clover included four levels of inoculation with symbiotic bacteria Rhizobium trifolii and four levels of inoculation with non- symbiotic plant growth promoting bacteria. The results showed that clover cultivation led to a significant increase in the percentage of soil organic carbon (1.79%) and nitrogen (0.216%). The Application of non-symbiotic bacteria in clover cultivation caused a significant increase in soil phosphorus in rice cultivation. The highest amount of soil phosphorus was obtained in treatments of *Pseudomonas* (12.38%) and *Azotobacter+ Pseudomonas* (11.8 ppm) in rice cultivation. Also, rice cultivation significant reduced available potassium in the second year (121.1 mg/kg) compared to the first year (128.3 mg/kg). According to the overall results of this study, the use of growth promoting bacteria while maintaining and improving the chemical properties of the soil increased the average rice yield in the second year (3250.3 kg/ha).

Keywords: Azotobacter; Organic carbon; Paddy soil; Pseudomonas; Rhizobium