نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۳، ص. ۵۳-۴۳
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

Journal of Horticultural Science
Vol. 28, No. 1, Spring 2014, P. 43-53
ISSN: 2008 - 4730

نقش کودهای آلی و بیولوژیک در جذب فسفر و پتاسیم توسط سیاهدانه (*Nigella sativa* L.)

پرویز رضوانی مقدم[1*] - سید محمد سیدی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۹/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۸/۷

چکیده

کمبود فسفر و نیز کارایی جذب پایین این عنصر در خاک‌های با pH بالا، یکی از مشکلات مهم در سیستم‌های زراعی مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد. از این رو، به منظور بررسی اثر کودهای آلی و بیولوژیک بر کارایی مصرف فسفر و نیز پتاسیم سیاهدانه در خاکی با pH بالا، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و ۱۵ تیمار در سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. تیمارهای این آزمایش بر اساس ترکیبی از سه منبع کود آلی (کمپوست حاصل از کود گاوی، ورمی کمپوست و شاهد (بدون اعمال هیچ‌گونه کودی)) و نیز پنج کود بیولوژیک (ازتوباکتر + آزوسپیریلوم، میکوریزا (*Glomus mosseae*)، ازتوباکتر + آزوسپیریلوم + میکوریزا، تیوباسیلوس + گوگرد و شاهد (بدون هیچ‌گونه کودی)) تعیین شدند. نتایج آزمایش حاکی از وجود اثر معنی‌دار منابع کود آلی در افزایش کارایی مصرف فسفر و پتاسیم سیاهدانه بود. با این وجود نتایج نشان داد که بجز تیمار تیوباسیلوس + گوگرد، سایر کودهای بیولوژیک تأثیر معنی‌داری در افزایش شاخص‌های ذکر شده نداشتند. تیمار تیوباسیلوس + گوگرد در مقایسه با شاهد کارایی جذب فسفر و پتاسیم سیاهدانه را به ترتیب ۳۴/۷ و ۱۴/۶ درصد افزایش داد. نتایج اثر متقابل نیز نشان داد که اعمال تیمار ورمی‌کمپوست + تیوباسیلوس + گوگرد در مقایسه با تیوباسیلوس + گوگرد، مقدار فسفر دانه را بیش از دو برابر افزایش داد. همچنین اثر تیمار ورمی‌کمپوست + تیوباسیلوس + گوگرد در افزایش شاخص ذکر شده به طور معنی‌دار بیش از تیمار ورمی کمپوست بود. بر اساس نتایج این آزمایش به نظر می‌رسد که در خاک‌هایی با pH بالا و با میزان فسفر قابل استفاده پایین، استفاده از تیوباسیلوس به همراه مصرف گوگرد می‌تواند نقش موثری در افزایش کارایی جذب و مصرف فسفر داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: ازتوباکتر، آزوسپیریلوم، باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد، کمپوست، گیاه دارویی، میکوریزا، ورمی‌کمپوست

مقدمه

سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) گیاهی است که به خانواده Ranunculaceae تعلق دارد. جنس *Nigella* در ایران شامل ۸ گونه می‌باشد که به طور طبیعی در نقاط مختلف کشور گسترش یافته و مورد کشت و کار قرار می‌گیرند (۳۴). به دلیل وجود خواص ضد باکتریایی و ضد انگلی در بذرهای سیاهدانه، در ایران استفاده از این گیاه دارویی در طب سنتی سابقه ای بسیار طولانی دارد (۳۵).

فسفر و پتاسیم از جمله مهم ترین عناصر پر مصرف در تغذیه گیاهان به ویژه گیاهان دارویی می‌باشند (۱۸، ۲۶ و ۴۰). در این راستا گزارش شده است که فسفر نقش موثری در افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی در بوته، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن هزار دانه و در نهایت عملکرد نهایی سیاهدانه دارد (۴۰). محمد و همکاران (۳۲) نیز اعمال سطوح کودی شامل فسفر را در افزایش عملکرد و نیز عملکرد روغن و اسانس سیاهدانه ضروری دانستند. نتایج تحقیق ال-دین و احمد (۲۷) نیز بیان کننده نقش مثبت اعمال فسفر در افزایش عملکرد، اجزای عملکرد، عملکرد روغن و اسانس سیاهدانه بود.

در بسیاری از سیستم‌های کشاورزی به علت تحرک پایین فسفر در خاک، فراهمی این عنصر به منظور جذب توسط گیاه پایین می‌باشد (۳۶). سرعت پایین انتشار این عنصر در خاک نیز می‌تواند نقش موثری در کمبود یون‌های این عنصر در محلول موجود در منطقه توسعه ریشه داشته باشد (۳۷). کارایی جذب و مصرف فسفر در سال و در خاک حدود ۱۰ تا ۳۰ درصد بوده و تنها جزیی از باقیمانده این عنصر در خاک ممکن است در سالیان متوالی و در نتیجه فعالیت‌های

۱ و ۲- به ترتیب استاد و دانشجوی دکتری گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: Rezvani@ferdowsi.um.ac.ir)

Archive of SID
www.SID.ir

بیولوژیکی در خاک آزاد شده و در دسترس گیاه قرار گیرد (۳۱). در واقع نقش فسفر به عنوان عامل محدود کننده رشد گیاه زراعی همواره به معنای پایین بودن مقدار فسفر در خاک نیست، بلکه قسمتی از فسفر قابل دسترس در خاک ممکن است به دلیل واکنش‌های پیچیده در خاک محبوس شده و به شکل غیر قابل استفاده برای گیاه تبدیل شود (۶).

pH خاک همبستگی بالایی با فراهمی عناصر غذایی در خاک داشته و می‌تواند رشد و نمو و نیز تولید گیاهان زراعی را تحت تأثیر قرار دهد (۲۵). از این رو فراهمی پایین فسفر در خاک به ویژه در خاک‌های قلیایی می‌تواند در ارتباط با خواص فیزیکی و شیمیایی خاک به ویژه pH باشد. به عبارتی دیگر، با وجود آنکه فسفر در pH حدود ۶ تا ۷ بیشترین قابلیت استفاده را برای گیاه دارد، در pH کمی اسیدی و یا قلیایی ممکن است به ترتیب با عناصری مانند آهن و کلسیم واکنش داده و ترکیبات نامحلولی را در خاک تولید کند (۱۶). از این رو در بسیاری از خاک‌های نواحی خشک و نیز خاک‌های آهکی با pH قلیایی، به دلیل وفور کربنات‌های معدنی (CO_3) مانند کربنات کلسیم ($CaCO_3$)، کمبود فسفر مشاهده می‌شود (۱۶، ۳۰ و ۳۶).

در خاک‌های قلیایی، استفاده از باکتری‌های جنس *Tiobacilus* به همراه مصرف گوگرد از جمله راه کارهای افزایش فراهمی فسفر در خاک می‌باشد (۱۶). باکتری‌های این جنس از مهم ترین باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد در خاک‌های زراعی بوده که می‌توانند طبق معادله زیر با تولید اسید سولفوریک در نتیجه اکسایش بیولوژیکی گوگرد، ضمن تولید انرژی برای اعمال حیاتی خود، با کاهش pH خاک منجر به افزایش حلالیت ترکیبات فسفاتی نامحلول گردند (۱۶).

$$2S + 3O_2 + 2H_2O \rightarrow 2H_2SO_4 + \text{انرژی}$$

از این رو کاربرد گوگرد و اکسایش بیولوژیکی این عنصر و در نتیجه کاهش موضعی pH خاک در ناحیه ریزوسفر گیاه می‌تواند در افزایش قابلیت جذب فسفر در خاک‌های آهکی موثر باشد (۱۲). نتایج تحقیق محمدی آریا و همکاران (۲۲ و ۲۳) نیز حاکی از آن بود که اعمال گوگرد به همراه تلقیح با باکتری *Tiobacilus*، نقش موثری در کاهش pH خاک و نیز افزایش میزان فسفر محلول داشت. علاوه بر این در خاک‌های شور و یا سدیمی مناطق خشک و نیمه خشک، اعمال سولفور و در نتیجه جایگزین شدن سدیم و سایر کاتیون‌های تبادلی توسط گوگرد و به دنبال آن افزایش آب شویی نمک‌ها از خاک، می‌تواند نقش موثری در کاهش هدایت الکتریکی عصاره اشباع این خاک‌ها داشته باشد (۳۹).

در خاک‌های مناطق خشک و آهکی با میزان ماده آلی پایین، استفاده از کودهای آلی مانند کمپوست و ورمی کمپوست نیز می‌تواند با بهبود خصوصیات فیزیکی خاک نقش موثری در افزایش قابلیت جذب فسفر ایفا کند. در این ارتباط محمدی آریا و همکاران (۲۳) گزارش کردند که اعمال کود ورمی کمپوست نقش موثری در کاهش pH خاک و نیز افزایش میزان فسفر محلول در آب داشت. حلاج نیا (۵) نیز اظهار داشت که در خاک‌های آهکی، اعمال کود دامی به طور معنی‌دار منجر به افزایش درصد بازیافت فسفر از خاک شد.

علاوه بر تیوباسیلوس، باکتری‌های آزوسپیریلوم، ازتوباکتر و قارچ میکوریزا نیز می‌توانند نقش موثری در توسعه سیستم ریشه و در نتیجه جذب بهتر عناصر غذایی مانند فسفر در گیاهان دارویی مانند سیاهدانه، بابونه و رازیانه داشته باشند (۸، ۱۰، ۱۱ و ۱۷). از این رو، با توجه به نقش موثر کودهای آلی و نیز باکتری‌های تیوباسیلوس، آزوسپیریلوم، ازتوباکتر و قارچ‌های میکوریزا در افزایش کارایی جذب و استفاده از فسفر در خاک و نیز به دلیل این که بحث کارایی جذب فسفر عموماً در خاک‌هایی با مقادیر کم فسفر قابل استفاده ضرورت پیدا می‌کند (۶)، این تحقیق با هدف بررسی اثر کودهای آلی و بیولوژیک بر کارایی جذب و شاخص برداشت فسفر سیاهدانه در شرایط کشت در خاک با pH بالا و فسفر قابل استفاده بسیار پایین (جدول ۲) انجام شد. از سویی به دلیل وجود همبستگی مثبت بین جذب فسفر با جذب سایر عناصر غذایی به ویژه پتاسیم در خاک‌های آهکی (۲۰)، کارایی جذب و شاخص برداشت پتاسیم در سیاهدانه نیز مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار و ۱۵ تیمار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد به اجرا در آمد. اطلاعات مربوط به داده‌های هواشناسی محل مورد آزمایش در جدول ۱ آمده است.

جدول۱- داده‌های هواشناسی محل مورد آزمایش در طول فصل رشد سیاهدانه از اسفند ۱۳۸۸ تا خرداد ۱۳۸۹ (سازمان هواشناسی کشور)

ماه	دما (درجه سانتی‌گراد)		بارندگی (میلی‌متر)	رطوبت (درصد)	
	میانگین حداقل	میانگین حداکثر		میانگین حداقل	میانگین حداکثر
اسفند	۶/۴	۱۷/۴	۱/۸	۴۵/۳	۸۹/۱
فروردین	۸/۳	۲۲/۲	۰/۹	۳۷/۵	۸۱/۷
اردیبهشت	۱۳/۴	۲۶/۹	۱/۲	۳۲/۰	۷۳/۹
خرداد	۱۸/۹	۳۵/۲	۰/۲	۱۵/۰	۴۶/۶

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک مزرعه جهت انجام آزمایش

بافت	مقدار نیتروژن کل (٪)	مقدار کربن آلی (٪)	پتاسیم قابل استفاده (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	فسفر قابل استفاده (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	pH	وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)
لومی-سیلتی	۰/۰۹۵	۰/۱۹۵	۵۰/۷۶	۱/۳۸	۳/۷۲	۸/۳۶	۱/۴

تیمارهای این آزمایش بر اساس ترکیبی از سه منبع کود آلی (کمپوست (حاصل از کود گاوی)، ورمی کمپوست (حاصل از کود گاوی) و شاهد (بدون اعمال هیچ‌گونه کودی)) و نیز پنج کود بیولوژیک (ازتوباکتر + آزوسپیریلوم، میکوریزا (*Glomus mosseae*)، ازتوباکتر + آزوسپیریلوم + میکوریزا، تیوباسیلوس + گوگرد و شاهد (بدون هیچ‌گونه کودی)) تعیین شدند.

زمین مورد نظر در سال قبل از اجرای این آزمایش به صورت آیش بود. قبل از انجام آزمایش، از خاک این زمین نمونه برداری تصادفی انجام گرفت که نتایج آنالیز آن در جدول ۲ ذکر شده است.

به طور کلی پیش از اجرای آزمایش‌های مربوط به مطالعات کودهای بیولوژیک می‌بایست از عدم وجود جمعیت طبیعی میکروارگانیسم‌های مورد مطالعه در خاک اطمینان حاصل نمود. اما از آنجایی که امکان استریل کردن کل سطح زمین مورد نظر تا عمق ۳۰ سانتی‌متر (به منظور نابودی میکروارگانیسم‌های ذکر شده در تیمار بندی آزمایش که احتمالاً ممکن بود به طور طبیعی در خاک وجود داشته باشند) وجود نداشت، از زمین آیش جهت اجرای این آزمایش استفاده شد؛ زیرا در زمین‌های آیش، جمعیت میکروارگانیسم‌های طبیعی در خاک کاهش می‌یابد (۲۱). از سویی به دلیل حساسیت ریزوباکتری‌ها به pH خاک (۲۱) و نیز به دلیل قلیایی بودن خاک مزرعه مورد آزمایش (جدول ۲)، به نظر می‌رسید که میکروارگانیسم-های موجود در خاک، از فعالیت چندانی برخوردار نباشند.

مراحل آماده سازی زمین شامل شخم اولیه، دو دیسک عمود بر هم، تسطیح زمین و همچنین ایجاد جوی و پشته قبل از کاشت در اوایل اسفند ماه سال ۱۳۸۸ بود. هر یک از کرت‌های آزمایش با ابعاد ۲×۴ (هشت متر مربع) ایجاد شد. فاصله کرت‌ها از یک‌دیگر ۰/۵ متر، فاصله پشته‌ها از یک‌دیگر ۰/۵ متر و فاصله بلوک‌ها از یک دیگر یک متر در نظر گرفته شد.

با توجه به آنکه مقدار فسفر قابل دسترس (قابل استفاده) توسط گیاه زراعی در خاک در طول زمان به تعادل می‌رسد، مقدار فسفر قابل استفاده از خاک به عنوان معیار کودی در نظر گرفته شد. اما از آنجایی که فسفر موجود در کودهای آلی کمپوست و ورمی کمپوست می‌تواند هماهنگ با نیاز گیاه به خاک آزاد شود (۱۹)، کل مقدار فسفر موجود در این کودهای آلی در محاسبه معیار کودی مد نظر قرار گرفت.

اعمال ۴۰ کیلوگرم در هکتار فسفر خالص (به صورت سوپر فسفات تریپل) به خاک به عنوان نیاز کودی سیاهدانه به فسفر در نظر گرفته شد (۴۰)، اما به دلیل آنکه ممکن است بخشی از عناصر معدنی مانند فسفر در کودهای آلی در مقایسه با کودهای شیمیایی در طول فصل رشد به خاک آزاد نشود (۱۶) (که این مقدار در طول فصل رشد سیاهدانه مشخص نبود)، از این رو اعمال ۵۰ کیلوگرم فسفر خالص به خاک از هر یک از منابع آلی کمپوست و ورمی کمپوست به خاک صورت گرفت. از این رو، بر اساس مقدار فسفر قابل استفاده و اولیه در خاک (معادل ۱/۳۸ پی پی ام که نشان دهنده مقدار بسیار ناچیز فسفر قابل استفاده در خاک بود) (جدول ۲) و نیز بر اساس درصد کل فسفر موجود در کمپوست و ورمی کمپوست (معادل ۱/۱ درصد) (جدول ۳)، در یک مرحله (قبل از کاشت) معادل ۴۵۰۰ کیلوگرم در هکتار از دو کود آلی ذکر شده به هر یک از کرت‌های مورد نظر اعمال شد.

جدول۳- خصوصیات فیزیکو شیمیایی کودهای آلی کمپوست و ورمی‌کمپوست مورد استفاده در آزمایش

شاخص‌های مورد اندازه‌گیری	کمپوست	ورمی‌کمپوست
رطوبت (درصد)	۱۵	۲۷/۵
pH	۷/۲۵	۶/۹۰
هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	۶	۵
کربن آلی (درصد)	۲۰/۵	۱۹/۵
نیتروژن کل (درصد)	۱/۴۵	۱/۶۰
مواد آلی (درصد)	۳۷/۵	۳۷/۵
فسفر کل (درصد)	۱/۱۱	۱/۱
پتاسیم کل (درصد)	۱/۲	۱/۲
سدیم کل (درصد)	۰/۷۵	۰/۷۵

Archive of SID

www.SID.ir

جهت تلقیح بذرهای سیاهدانه با میکوریزا از نژاد *Glomus mosseae* استفاده شد که همزمان با کاشت به صورت دو لایه تلقیح با خاک در بالا و پایین بذرها صورت پذیرفت. اعمال باکتری‌های ازتوباکتر و آزوسپیریلوم (با جمعیتی معادل 10^8 سلول زنده از هر یک از جنس‌های باکتری در هر میلی لیتر(CFU[1])) در سه مرحله به صورت تلقیح با بذور قبل از کاشت (۴ لیتر در هکتار) و به صورت سرک (تلقیح با خاک بستر کاشت) در مراحل ۴ برگی (همزمان با تنک کردن) و نیز قبل از شروع رشد زایشی (هر مرحله به میزان ۵ لیتر در هکتار) انجام شد (بر اساس توصیه کودی شرکت تولید کننده (شرکت زیستی مهر آسیا)). همچنین اعمال تیوباسیلوس (با جمعیتی معادل 10^9 سلول زنده در هر گرم) به همراه مصرف گوگرد آلی بنتونیت دار (۲۵۰ کیلوگرم در هکتار) در یک مرحله به صورت تلقیح با بذور انجام گرفت (بر اساس توصیه کودی شرکت تولید کننده (شرکت زیستی مهر آسیا)). به منظور جلوگیری از کاهش فعالیت موثر باکتری‌ها در مایه تلقیح (حاوی چسب گیاهی)، حداقل فاصله زمانی ممکن بین فرآیند تلقیح تا کاشت بذر در نظر گرفته شد. همچنین خشک کردن بذور تلقیح یافته در سایه و تلقیح خاک همزمان با طلوع آفتاب صورت گرفت.

عملیات کاشت در هجدهم اسفند ماه ۱۳۸۸ انجام شد. به منظور کاشت از توده بومی بذر اصفهان استفاده شد. بذرهای سیاهدانه در طرفین پشته‌ها کشت شدند. به منظور اعمال تراکم مورد نظر (۲۰۰ بوته در متر مربع) گیاه چه‌های سیاهدانه در مرحله چهار برگی با فاصله روی ردیف دو سانتی متر تنک شدند. اولین آبیاری به طور همزمان برای تمامی کرت‌ها پس از کاشت و سایر آبیاری‌ها هر هفت روز یک‌بار صورت گرفت. به منظور جلوگیری از آلودگی تیمارهای باکتریایی با یکدیگر (با در نظر گرفتن یک ردیف نکاشت بین دو کرت) از ورود آب آبیاری بین کرت‌ها خودداری شد. آخرین آبیاری نیز همزمان با شروع خشک شدن بوته‌ها (۲ هفته قبل از عملیات برداشت) انجام شد.

عملیات برداشت با زرد شدن بوته‌ها و فولیکول‌ها در هفتم تیر ماه ۱۳۸۹ انجام شد. عملکرد دانه و نیز عملکرد بیولوژیک در ۵۰ درصد مساحت هر یک از کرت‌ها و با در نظر گرفتن اثر حاشیه (عدم برداشت ردیف‌های کناری و ۲۵ سانتیمتر ابتدا و انتهای هر کرت) محاسبه گردید. به منظور جلوگیری از کاهش رشد و توسعه میکروارگانیسم‌های مورد بررسی در خاک، در طول مراحل اجرای این آزمایش از هیچ‌گونه کود شیمیایی، علف کش و یا آفت کش استفاده نشد.

نمونه‌های مورد نیاز جهت تعیین درصد فسفر و پتاسیم به طور جداگانه برای هر تیمار از مجموعه وزن خشک اندام‌های تفکیک شده این گیاه شامل دانه، ساقه و برگ و نیز زیست توده در هر کرت تهیه شد. به منظور اندازه گیری فسفر و پتاسیم موجود در اندام‌های سیاهدانه (روش سوزاندن در کوره الکتریکی) به ترتیب از دستگاه‌های اسپکتوفتومتر و فلائم فتومتر استفاده شد (۱۵).

جهت تعیین کارایی جذب و کارایی مصرف (زراعی) فسفر و پتاسیم و همچنین شاخص برداشت این عناصر در سیاهدانه به ترتیب از معادلات زیر استفاده شد (۳، ۱۴ و ۲۸):

۱۰۰× (مقدار فسفر (پتاسیم) اعمال شده در خاک/ مقدار فسفر (پتاسیم) زیست توده) = کارایی جذب فسفر (پتاسیم) (درصد)

(مقدار فسفر (پتاسیم) اعمال شده در خاک / عملکرد دانه) = کارایی مصرف فسفر (پتاسیم)

۱۰۰× (مقدار فسفر (پتاسیم) زیست توده / مقدار فسفر (پتاسیم) دانه) = شاخص برداشت فسفر (پتاسیم) (درصد)

در تمامی معادلات ذکر شده عملکرد دانه، مقدار فسفر (پتاسیم) دانه، کاه و کلش (ساقه و برگ)، زیست توده و خاک بر حسب گرم در متر مربع محاسبه شد. همچنین مقدار فسفر (پتاسیم) دانه، کاه و کلش (ساقه و برگ) و زیست توده سیاهدانه به ترتیب از حاصل‌ضرب درصد فسفر (پتاسیم) در وزن خشک هر یک از آن‌ها (بر حسب گرم در متر مربع) تعیین شد. مقدار فسفر (پتاسیم) اعمال شده در خاک نیز بر اساس مجموع فسفر (پتاسیم) قابل استفاده و اولیه در خاک و همچنین مقدار کل فسفر (پتاسیم) ناشی از اعمال کودهای آلی کمپوست و ورمی کمپوست محاسبه شد.

تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایش با استفاده از نرم افزار SAS انجام گرفت. همچنین جهت مقایسه میانگین اثرات متقابل از نرم‌افزار MSTAT-C و به منظور رسم شکل اثرات متقابل از نرم افزار Excel استفاده شد. میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون دانکن در سطح پنج درصد مورد مقایسه آماری قرار گرفتند.

نتایج و بحث

اثر منابع کود آلی بر درصد جذب فسفر و پتاسیم اندام‌های سیاهدانه

نتایج آزمایش نشان داد که با وجود افزایش معنی‌دار درصد جذب فسفر دانه در نتیجه اعمال کودهای کمپوست و ورمی کمپوست، این تیمارهای کودی تأثیر معنی‌داری در افزایش درصد فسفر ساقه و برگ و نیز زیست توده سیاهدانه نداشتند (جداول ۴ و ۵). افزایش معنی‌دار درصد فسفر دانه در نتیجه اعمال کمپوست و ورمی کمپوست در مقایسه با تیمار شاهد را می‌توان در ارتباط با فراهمی متعادل عناصر پر مصرف و کم مصرف در نتیجه اعمال این کودها دانست؛ به طوری که منجر به جذب بیشتر فسفر توسط ریشه سیاهدانه از خاک شد.

1- Colony forming unit

Archive of SID

www.SID.ir

ده دشتی زاده و همکاران (۱۳) نیز به نقش موثر ورمی کمپوست در افزایش روند جذب فسفر و نیز سایر عناصر کم مصرف مانند آهن، مس و منگنز در نشای گوجه فرنگی اشاره کردند.

علاوه بر این تولید اسیدهای آلی مانند اسید سیتریک در نتیجه تجزیه مواد آلی می‌تواند در کاهش pH خاک‌های آهکی و در نتیجه افزایش فراهمی فسفر در خاک موثر باشند (۲۳). در این راستا آستارایی و فتاحی کیاسری (۲) نیز گزارش کردند که نقش موثر کمپوست می‌تواند ناشی از تأثیر این کود در کاهش pH خاک و در نتیجه افزایش عناصر فسفر و نیز نیتروژن، پتاسیم، کلسیم و منیزیم قابل دسترس در خاک باشد. با این وجود، عدم تأثیر این تیمارها بر درصد فسفر ساقه و برگ (کاه و کلش) نیز ممکن است در ارتباط با نقش ویژه فسفر در رشد زایشی و انتقال مجدد فسفر به سمت دانه باشد (۲۵). از آنجایی که اندازه گیری فسفر ساقه و برگ در پایان فصل رشد این گیاه صورت گرفت، کاهش درصد فسفر در ساقه و برگ منجر به عدم تأثیر تیمارهای کودی ذکر شده در افزایش معنی-دار درصد این عنصر در اندام‌های ذکر شده سیاهدانه در زمان برداشت شد.

عدم تأثیر این تیمارها در افزایش فسفر زیست توده نیز می‌تواند به دلیل بالاتر بودن سهم نسبی وزن ساقه و برگ نسبت به دانه در زیست توده سیاهدانه جهت اندازه گیری فسفر باشد. به عبارتی عدم تأثیر اعمال تیمارهای کودی در افزایش درصد فسفر ساقه و برگ می‌تواند منجر به عدم معنی‌دار شدن درصد فسفر زیست توده سیاهدانه در نتیجه اعمال تیمارهای ذکر شده شود.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس همچنین حاکی از آن بود که اثر منبع کود آلی بر درصد پتاسیم دانه، ساقه و برگ و زیست توده معنی-دار نبود (جدول ۴). در این ارتباط عدم تأثیر کودهای آلی کمپوست و ورمی کمپوست در افزایش درصد پتاسیم اندام‌های سیاهدانه می‌تواند در ارتباط با قلیایی بودن pH خاک و نیز فراهمی نسبی این عنصر در خاک محل انجام آزمایش قبل از اعمال تیمارهای کمپوست و ورمی کمپوست باشد (جدول ۲).

اثر منابع کود آلی بر مقدار و کارایی جذب و مصرف فسفر و پتاسیم

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اعمال تیمارهای کودی در مقایسه با تیمار شاهد تأثیر مثبت و معنی‌داری در افزایش مقدار فسفر و پتاسیم اندام‌های سیاهدانه (بر حسب گرم در متر مربع) و نیز کارایی جذب و مصرف این عناصر داشت (جداول ۴، ۵ و ۷). با توجه به ارتباط مستقیم وزن زیست توده گیاه با مقدار کل عناصر معدنی در زیست توده، افزایش مقدار عناصر فسفر و پتاسیم می‌تواند ناشی از تحریک رشد رویشی این گیاه باشد که در نهایت منجر به

جدول ٤- تجزیه واریانس شاخص‌های مورد مطالعه سیاهدانه در ارتباط با اعمال کودهای آلی و بیولوژیک

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات									
		دانه		ساقه و برگ		زیست توده		دانه		ساقه و برگ	
		فسفر	پتاسیم	فسفر	پتاسیم	فسفر	پتاسیم	فسفر	پتاسیم	فسفر	پتاسیم
بلوک	۲	۰/۰۲۲**	۰/۰۷۲^{ns}	۰/۰۰۶^{ns}	۰/۰۰۲**	۰/۰۰۴^{ns}	۰/۰۱۱^{ns}	۰/۰۰۸*	۰/۰۳۰^{ns}	۰/۰۲۷^{ns}	۰/۰۰۸*
منابع کود آلی	۲	۰/۱۱۵**	۰/۰۷۱^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۰۰۴^{ns}	۰/۲۵۲**	۰/۷۷**	۰/۳۹۰**	۰/۰۸۷**
کودهای بیولوژیک	۴	۰/۰۵۰**	۰/۰۹۶^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۰۶۸**	۰/۰۱۵^{ns}	۰/۰۱۶^{ns}	۰/۰۰۶^{ns}
منابع کود آلی×کودهای بیولوژیک	۸	۰/۰۰۵^{ns}	۰/۰۳۳^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۰۰۵^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۴^{ns}	۰/۰۰۵*	۰/۰۱۷^{ns}	۰/۰۰۹^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}
خطا	۲۸	۰/۰۰۳	۰/۰۶۰	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۱۶	۰/۰۱۶	۰/۰۱۶	۰/۰۰۲
ضریب تغییرات	-	۱۱/۲۰	۲۱/۹۵	۲۹/۹۷	۲۴/۲۱	۱۸/۱۳	۱۷/۹۹	۱۴/۹۶	۲۱/۰۰	۲۴/۹۸	۲۹/۲۰

*، ** و ns: به ترتیب معنی‌داری در سطح ۵ درصد، ۱ درصد و عدم تفاوت معنی‌دار.

زیست توده	
فسفر	پتاسیم
۰/۰۳۶^{ns}	۰/۰۶۹*
۱/۲۶۴**	۱/۳۴۳**
۰/۱۲۰**	۰/۰۲۰^{ns}
۰/۰۰۹^{ns}	۰/۰۱۸^{ns}
۰/۰۱۹	۰/۰۱۵
۲۱/۱۸	۱۶/۲۳

Archive of SID

www.SID.ir

افزایش عملکرد نهایی این گیاه شود. در این ارتباط آستارایی (۱) به نقش کودهای کمپوست و ورمی کمپوست در بهبود عملکرد و برخی اجزای عملکرد اسفرزه (*Plantago ovata*) اشاره کرد. مرادی و همکاران (۲۴) نیز نقش کودهای کمپوست و ورمی کمپوست را در افزایش معنی‌دار عملکرد دانه رازیانه (*Foeniculum vulgare*) مثبت ارزیابی کردند. تهامی زرندی و همکاران (۴) نیز گزارش کردند اعمال ورمی کمپوست می‌تواند نقش مثبتی در افزایش معنی‌دار شاخص سطح سبز و نیز وزن خشک بوته در ریحان (*Ocimum basilicum* L.) داشته باشد.

اثر منابع کود آلی بر شاخص برداشت فسفر و پتاسیم

با وجود اثر معنی‌دار منابع کودهای آلی (کمپوست، ورمی کمپوست و شاهد) بر کارایی جذب و مصرف فسفر و پتاسیم سیاهدانه، نتایج نشان داد که شاخص برداشت فسفر و پتاسیم (نسبت بین مقدار فسفر و یا پتاسیم در دانه به زیست توده) تحت تأثیر اعمال تیمارهای ذکر شده قرار نگرفت (جدول ۷). به نظر می‌رسد شاخص برداشت فسفر و پتاسیم، از جمله شاخص‌هایی در سیاهدانه می‌باشد که چندان تحت تأثیر اعمال کودهای آلی قرار نمی‌گیرد.

اثر کودهای بیولوژیک بر درصد جذب فسفر و پتاسیم اندام‌های سیاهدانه

با وجود تأثیر معنی‌دار کودهای بیولوژیک بر درصد فسفر دانه، اثر این کودها بر درصد فسفر ساقه و برگ (کاه و کلش) و نیز زیست توده سیاهدانه معنی‌دار نبود (جدول ۴). با این وجود نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بجز تیوباسیلوس + گوگرد، سایر کودهای بیولوژیک (ازتوباکتر + آزوسپیریلوم، میکوریزا و ازتوباکتر + آزوسپیریلوم + میکوریزا) نقش معنی‌داری در افزایش شاخص‌های ذکر شده نداشتند (جدول ۶). هم‌چنین بجز تیوباسیلوس + گوگرد، اثر سایر کودهای بیولوژیک در افزایش مقدار فسفر دانه و زیست توده سیاهدانه معنی‌دار نبود (جدول ۶). با این وجود خرم دل و همکاران (۷) گزارش کردند که میکوریزا و آزوسپیریلوم می‌توانند نقش موثری در افزایش دسترسی گیاه به عناصر غذایی و در نتیجه بهبود شاخص‌های رشدی سیاهدانه داشته باشند. شیرانی‌راد و همکاران (۱۴) نیز به نقش موثر قارچ میکوریزا در بهبود جذب فسفر و پتاسیم در گندم اشاره کردند. بر این اساس، عدم تأثیر میکروارگانیسم‌های آزوسپیریلوم و ازتوباکتر و همچنین قارچ میکوریزا را می‌توان در ارتباط با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک دانست (جدول ۲). در این ارتباط به نظر می‌رسد ویژگی‌ها و شرایط خاک از نظر رطوبت، فراهمی عناصر غذایی، میزان مواد آلی و به ویژه شاخص pH خاک می‌تواند به طور مستقیم فعالیت و پویایی این میکرو ارگانیسم‌ها را تحت تأثیر قرار دهد (۲۱).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر کودهای بیولوژیک در افزایش درصد و مقدار پتاسیم اندام‌های سیاهدانه معنی-دار نبود (جدول ۴). همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد، عدم تأثیر کودهای بیولوژیک می‌تواند در ارتباط با فراهمی متعادل این عنصر در خاک باشد.

اثر کودهای بیولوژیک بر مقدار و کارایی جذب و مصرف فسفر و پتاسیم

با وجود عدم تأثیر کودهای بیولوژیک ازتوباکتر + آزوسپیریلوم، میکوریزا و ازتوباکتر + آزوسپیریلوم + میکوریزا بر کارایی جذب فسفر (جدول ۸)، نتایج مقایسه میانگین حاکی از نقش موثر تیمار تیوباسیلوس + گوگرد در افزایش کارایی جذب و مصرف فسفر در سیاهدانه بود (جدول۸). همچنین نتایج نشان داد که با وجود عدم تأثیر تیمارهای ازتوباکتر + آزوسپیریلوم، میکوریزا و ازتوباکتر + آزوسپیریلوم + میکوریزا، تیمار تیوباسیلوس + گوگرد منجر به افزایش کارایی مصرف پتاسیم سیاهدانه شد (جدول ۸).

ادامه جدول ٤- تجزیه واریانس شاخص‌های مورد مطالعه سیاهدانه در ارتباط با اعمال کودهای آلی و بیولوژیک

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		کارایی جذب		کارایی مصرف		شاخص برداشت	
		فسفر	پتاسیم	فسفر	پتاسیم	فسفر	پتاسیم
بلوک	۲	۱۳/۴۶۷ ns	۰/۹۸۲*	۰/۰۱۳ ns	۰/۰۰۰۴ns	۱۵۹/۶۸۱ns	۰/۰۰۲ ns
منابع کود آلی	۲	۴۸۴/۵۰۸**	۱۸/۸۵۴**	۱۷۵/۴۱۵**	۶/۳۹۲**	۲۵/۲۹۷ ns	۰/۰۱۳ns
کودهای بیولوژیک	۴	۴۶/۵۳۷ **	۰/۴۲۸ns	۱۸/۷۱۲**	۰/۶۸۴**	۱۶۰/۶۶*	۰/۰۰۳ns
منابع کود آلی × کودهای بیولوژیک	۸	۳/۵۰۴ ns	۰/۲۵۳ns	۰/۱۴۸ ns	۰/۰۰۵ns	۸۸/۵۵۰ns	۰/۰۰۲ns
خطا	۲۸	۷/۴۹۳	۰/۲۲۲	۰/۴۲۶	۰/۰۱۵	۵۶/۹۷۲	۰/۰۰۵
ضریب تغییرات	–	۲۱/۰۲	۱۶/۲۴	۶/۰۲	۶/۰۱	۱۷/۰۲	۸/۸۸

*، ** و ns: به ترتیب معنی‌داری در سطح ۵ درصد، ۱ درصد و عدم تفاوت معنی‌دار

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۶- اثر کودهای بیولوژیک بر درصد و مقدار فسفر و پتاسیم اندام‌های سیاهدانه

تیمار	دانه		زیست توده		ساقه و برگ		دانه		زیست توده		ساقه و برگ	
	فسفر (درصد)	پتاسیم (درصد)	فسفر (درصد)	پتاسیم (درصد)	فسفر (درصد)	پتاسیم (درصد)	فسفر (گرم در متر مربع)	پتاسیم (گرم در متر مربع)	فسفر (گرم در متر مربع)	پتاسیم (گرم در متر مربع)	فسفر (گرم در متر مربع)	پتاسیم (گرم در متر مربع)
آزتوباکتر + آزوسپیریلوم	۰/۴۳۴ c	۱/۱۷۸ a	۰/۲۳۴ a	۰/۰۸۸ a	۰/۲۳۴ a	۱/۱۷۸ a	۰/۲۳۰ c	۰/۶۱۲ a	۰/۲۸۲ a	۰/۳۶۰ a	۰/۴۱۱ a	۰/۱۴۲ a
میکوریزا	۰/۵۲۱ b	۱/۱۹۷ a	۰/۲۲۲ a	۰/۰۸۴ a	۰/۲۲۲ a	۱/۱۹۷ a	۰/۲۷۸ b	۰/۶۲۲ a	۰/۲۹۲ a	۰/۳۵۷ a	۰/۳۶۱ a	۰/۱۳۵ a
آزتوباکتر + آزوسپیریلوم + میکوریزا	۰/۴۷۳ bc	۱/۰۴۶ a	۰/۲۰۸ a	۰/۰۹۲ a	۰/۲۷۲ a	۰/۳۳۲ a	۰/۲۵۵ bc	۰/۵۵۵ a	۰/۲۷۲ a	۰/۳۳۲ a	۰/۳۳۶ a	۰/۱۵۷ a
تیوباسیلوس + گوگرد	۰/۶۲۵ a	۰/۹۶۸ a	۰/۲۱۱ a	۰/۰۹۶ a	۰/۳۱۵ a	۰/۳۲۲ a	۰/۴۴۶ a	۰/۶۶۷ a	۰/۳۱۵ a	۰/۳۲۲ a	۰/۴۲۰ a	۰/۲۰۱ a
شاهد	۰/۴۶۵ bc	۱/۱۹۱ a	۰/۲۰۵ a	۰/۰۸۲ a	۰/۲۶۷ a	۰/۳۶۰ a	۰/۲۵۶ bc	۰/۶۴۴ a	۰/۲۶۷ a	۰/۳۶۰ a	۰/۳۲۵ a	۰/۱۴۷ a

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون دانکن در سطح ۵ درصد دارای اختلاف معنی دار نمی‌باشند.

جدول ۵- اثر منابع کودهای آلی (کمپوست و ورمی کمپوست) بر درصد و مقدار فسفر و پتاسیم اندام‌های سیاهدانه

منابع کودی	دانه		زیست توده		ساقه و برگ		دانه		زیست توده		ساقه و برگ	
	فسفر (درصد)	پتاسیم (درصد)	فسفر (درصد)	پتاسیم (درصد)	فسفر (درصد)	پتاسیم (درصد)	فسفر (گرم در متر مربع)	پتاسیم (گرم در متر مربع)	فسفر (گرم در متر مربع)	پتاسیم (گرم در متر مربع)	فسفر (گرم در متر مربع)	پتاسیم (گرم در متر مربع)
کمپوست	۰/۵۵ a	۱/۱۶ a	۰/۲۸۲ a	۰/۰۸۱ a	۰/۲۰۱ a	۰/۱۶۲ a	۰/۳۵۹ a	۰/۷۵۲ a	۰/۳۳۴ a	۰/۴۲۵ a	۰/۷۸۵ a	۰/۱۷۴ b
ورمی کمپوست	۰/۵۶ a	۱/۱۵ a	۰/۳۰۲ a	۰/۱۰۰ a	۰/۲۲۵ a	۰/۱۵۲ a	۰/۳۷۷ a	۰/۷۵۰ a	۰/۳۳۸ a	۰/۴۹۸ a	۰/۸۷۶ a	۰/۲۲۳ a
شاهد	۰/۴۱ b	۱/۰۴ a	۰/۲۷۳ a	۰/۰۸۵ a	۰/۲۲۲ a	۱/۰۴ a	۰/۲۶۶ a	۰/۱۴۴ b	۰/۲۷۳ a	۰/۱۸۹ b	۰/۲۳۴ b	۰/۰۷۳ c

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون دانکن در سطح ۵ درصد دارای اختلاف معنی دار نمی‌باشند.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۷- اثر منابع کودهای آلی (کمپوست و ورمی کمپوست) بر کارایی جذب، مصرف و شاخص برداشت فسفر و پتاسیم سیاهدانه

منابع کودی	کارایی جذب (درصد)		کارایی مصرف (گرم در متر مربع)		شاخص برداشت (درصد)	
	فسفر	پتاسیم	فسفر	پتاسیم	فسفر	پتاسیم
کمپوست	۱۵/۳۷۸ a	۳/۴۵۸ a	۱۲/۶۶۴ a	۲/۴۱۸ a	۴۵/۷۶۷ a	۰/۸۱۰ a
ورمی کمپوست	۱۷/۱۴۴ a	۳/۶۴۲ a	۱۲/۹۵۷ a	۲/۴۷۴ a	۴۴/۰۸۳ a	۰/۷۶۷ a
شاهد	۶/۵۳۷ b	۱/۶۱۴ b	۶/۸۹۳ b	۱/۳۱۶ b	۴۳/۲۱۲ a	۰/۸۲۴ a

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون دانکن در سطح ۵ درصد دارای اختلاف معنی دار نمی‌باشند.

جدول ۸- اثر کودهای بیولوژیک بر کارایی جذب، مصرف و شاخص برداشت فسفر و پتاسیم سیاهدانه

کودهای بیولوژیک	کارایی جذب (درصد)		کارایی مصرف (گرم در متر مربع)		شاخص برداشت (درصد)	
	فسفر	پتاسیم	فسفر	پتاسیم	فسفر	پتاسیم
ازتوباکتر + آزوسپیریلوم	۱۲/۵۹۴ b	۲/۸۳۸ a	۱۰/۱۳۸ b	۱/۹۳۶ b	۳۸/۵۷۱ b	۰/۸۰۵ a
میکوریزا	۱۲/۵۳۸ b	۲/۸۳۱ a	۱۰/۰۴۲ b	۱/۹۳۶ b	۴۴/۵۱۳ ab	۰/۸۱۷ a
ازتوباکتر + آزوسپیریلوم + میکوریزا	۱۱/۶۲۳ b	۲/۶۶۳ a	۱۰/۲۱۳ b	۱/۹۳۶ b	۴۴/۴۱۴ ab	۰/۷۸۸ a
تیوباسیلوس + گوگرد	۱۶/۹۷۱ a	۳/۲۵۳ a	۱۳/۴۰۷ a	۲/۵۶۱ a	۵۰/۴۸۷ a	۰/۷۷۲ a
شاهد	۱۱/۳۷۴ b	۲/۹۳۷ a	۱۰/۳۹۰ b	۱/۹۸۳ b	۴۳/۷۸۴ ab	۰/۸۱۷ a

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون دانکن در سطح ۵درصد دارای اختلاف معنی دار نمی‌باشند.

در این ارتباط همان‌طور که پیش‌تر ذکر گردید تأثیر مثبت تیوباسیلوس به همراه گوگرد می‌تواند در نتیجه فعالیت این باکتری‌های اکسید کننده گوگرد و تولید اسید سولفوریک باشد که با تحت تأثیر قرار دادن pH خاک، افزایش فراهمی فسفر را امکان پذیر کند. در این راستا استامفورد و همکاران (۳۸) گزارش کردند که در خاک‌های با میزان پایین فسفر قابل دسترس، اعمال گوگرد به همراه باکتری‌های اکسید کننده این عنصر نقش مثبتی در افزایش مقدار فسفر اندام‌های هوایی لوبیای یام (*Pachyrhizus erosus* L. Urban) داشته باشد. مصطفویان و همکاران (۳۳) نیز عنوان کردند که در خاک‌های قلیایی با میزان پایین فسفر قابل استفاده، کاربرد باکتری تیوباسیلوس می‌تواند نقش مثبتی در افزایش عملکرد، عملکرد کیفی و نیز غلظت فسفر دانه سویا داشته باشد.

اثر کودهای بیولوژیک بر شاخص برداشت فسفر و پتاسیم

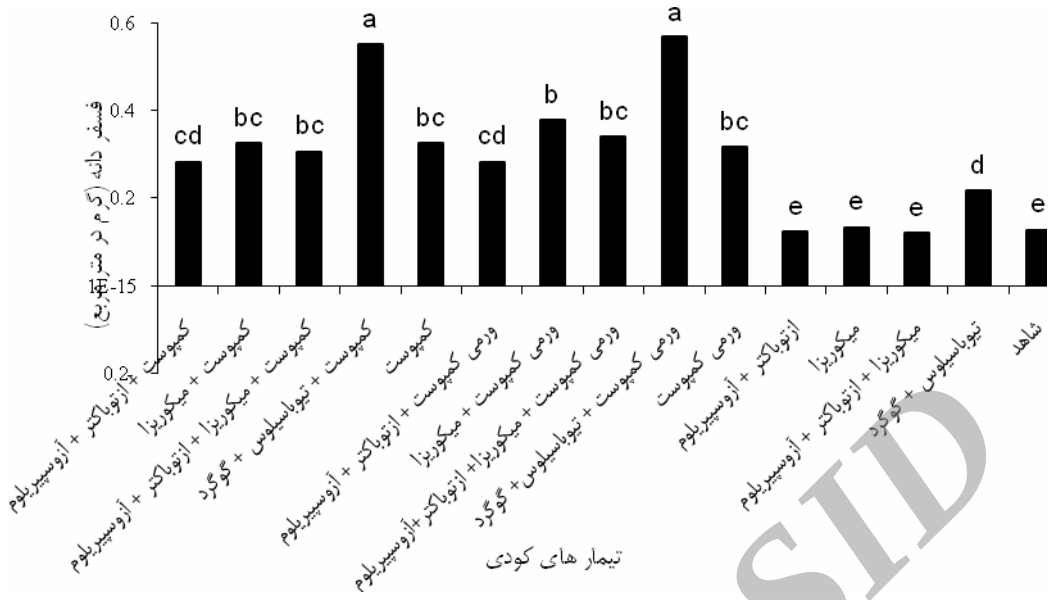
نتایج تجزیه واریانس حاکی از معنی‌دار بودن اثر کودهای بیولوژیک از نظر شاخص برداشت فسفر در سیاهدانه بود (جدول ۴). در این ارتباط در بین تیمارهای کود بیولوژیک، تیوباسیلوس + گوگرد نقش بیشتری در افزایش این شاخص نشان داد (جدول ۸). همچنین نتایج نشان داد که همانند اثر منابع کودی، اثر کودهای بیولوژیک نیز در افزایش شاخص برداشت پتاسیم معنی‌دار نبود (جدول ۸). همان‌طور که پیش‌تر ذکر گردید، به نظر می‌رسد شاخص برداشت پتاسیم (نسبت مقدار پتاسیم دانه به پتاسیم زیست توده) شاخصی است که در ارتباط با ژنوتیپ رقم مورد نظر باشد. به طوری که کمتر تحت تأثیر تیمارهای کودی و یا شرایط محیطی قرار می‌گیرد.

اثر متقابل منابع کود آلی و کود بیولوژیک

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که بجز شاخص درصد فسفر دانه که به طور معنی‌دار تحت تأثیر اثر متقابل منابع کود آلی و کود بیولوژیک قرار گرفت، اثر متقابل ذکر شده بر سایر شاخص‌های مورد مطالعه سیاهدانه معنی‌دار نبود (جدول ۴ و شکل ۱). افزایش معنی‌دار مقدار فسفر دانه در تیمار کمپوست + تیوباسیلوس + گوگرد در مقایسه با تیمار تیوباسیلوس + گوگرد (شکل ۱) می‌تواند ناشی از افزایش تأمین عناصر غذایی مورد نیاز به منظور فعالیت باکتری‌های اکسید کننده گوگرد باشد. محمدی آریا و همکاران (۲۳) نیز اثر متقابل بین ورمی کمپوست و تیوباسیلوس در افزایش مقدار فسفر محلول در آب را مرتبط با افزایش مواد آلی و وجود منبع کربن برای میکرو ارگانیسم‌های تلقیح شده و در نتیجه افزایش فعالیت و تکثیر آن‌ها دانستند. در این ارتباط گودرزی (۲۰) اظهار داشت که در خاک‌های شدیداً آهکی، مصرف توأم گوگرد و کمپوست به نحو چشمگیری منجر به افزایش جذب عناصر غذایی در گندم شد. به طوری که برای فسفر ۷۸درصد، پتاسیم ۷۳ درصد، آهن ۶۸ درصد، منگنز ۴۲ درصد، روی ۶۴ درصد و برای مس ۵۴ درصد نسبت به شاهد افزایش جذب مشاهده شد.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱- اثر متقابل منابع کودهای آلی (کمپوست و ورمی کمپوست) و کودهای بیولوژیک بر مقدار فسفر دانه در سیاهدانه

از این رو به نظر می‌رسد بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک می‌تواند نقش تأثیر گذاری در واکنش بیولوژیکی اکسیداسیون گوگرد و در نتیجه افزایش کارایی باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد داشته باشد (۲۹).

نتیجه گیری

بر اساس نتایج این آزمایش به نظر می‌رسد که در شرایط بالا بودن pH خاک، استفاده از باکتری‌های تیوباسیلوس به همراه گوگرد می‌تواند نقش موثری در افزایش قابلیت جذب فسفر از خاک داشته باشد. با این وجود، فراهمی مواد آلی در خاک در نتیجه اعمال کودهایی مانند کمپوست و یا ورمی کمپوست می‌تواند منجر به افزایش فعالیت باکتری‌های اکسید کننده گوگرد در خاک شود. از این رو در راستای توسعه کشاورزی پایدار کاربرد کودهای آلی در کنار استفاده از کود بیولوژیک تیوباسیلوس می‌تواند در کاهش مشکلات ناشی از مصرف کودهای شیمیایی به ویژه در خاک‌های آهکی مناطق خشک و نیمه خشک مفید باشد.

منابع

۱- آستارائی ع. ۱۳۸۵. تأثیر کمپوست زباله شهری و ورمی کمپوست بر اجزای عملکرد و عملکرد اسفرزه (*Plantago ovata*). فصلنامه تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران ۲۲ (۳): ۱۸۰-۱۸۷.

۲- آستارایی ع. و فتاحی کیاسری ا. ۱۳۸۵. اثر شیرابه کمپوست زباله شهری بر بعضی از خصوصیات شیمیایی خاک و گیاه فلفل. مجله کشاورزی ۸ (۱): ۱-۱۲.

۳- پارسا س.، کافی م. و نصیری محلاتی م. ۱۳۸۸. مطالعه اثرات سطوح شوری و نیتروژن بر محتوی نیتروژن ارقام گندم نان. مجله پژوهش‌های زراعی ایران ۷ (۲): ۳۴۷-۳۵۵.

۴- تهامی زرندی س.م.ک.، رضوانی مقدم پ. و جهان م. ۱۳۸۹. مقایسه تأثیر کودهای آلی و شیمیایی بر عملکرد و درصد اسانس گیاه دارویی ریحان (*Ocimum basilicum* L.). بوم شناسی کشاورزی ۲ (۱): ۶۳-۷۴.

۵- حلاج نیا ا.، حق نیا غ.ح.، فتوت ا. و خراسانی ر. ۱۳۸۵. تأثیر ماده آلی بر فراهمی فسفر در خاک‌های آهکی. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۱۰: ۱۲۱- ۱۳۳.

۶- خراسانی ر. ۱۳۸۹. کارایی جذب فسفر در ذرت، چغندرقند و بادام زمینی. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) ۲۴ (۱): ۱۸۰-۱۸۸.

Archive of SID

www.SID.ir

۷- خرم دل س.، کوچکی ع.، نصیری محلاتی م. و قربانی ر. ۱۳۸۷. اثر کاربرد کودهای بیولوژیک بر شاخص‌های رشدی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.). مجله پژوهش‌های زراعی ایران ۶ (۲): ۲۸۵-۲۹۴.

۸- خرم دل س.، کوچکی ع.، نصیری محلاتی م. و قربانی ر. ۱۳۸۹. اثر کاربرد کودهای بیولوژیک بر عملکرد و اجزای عملکرد سیاهدانه (*Nigella sativa* L.). مجله پژوهش‌های زراعی ایران ۸ (۵): ۷۵۸-۷۶۶.

۹- خندان ا. و آستارایی ع. ۱۳۸۴. تأثیر کودهای آلی (کمپوست زباله شهری، کود گاوی) و شیمیایی بر برخی خصوصیات فیزیکی خاک. بیابان ۱۰ (۲): ۳۶۱-۳۶۸.

۱۰- درزی م.ت.، قلاوند ا.، سفید کن ف. و رجالی ف. ۱۳۸۷. تأثیر کاربرد میکوریزا، ورمی کمپوست و کود فسفات زیستی بر کمیت و کیفیت اسانس گیاه دارویی رازیانه. فصلنامه تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران ۲۴ (۴): ۳۹۶-۴۱۳.

۱۱- درزی م.ت.، قلاوند ا. و رجالی ف. ۱۳۸۸. تأثیر مصرف کودهای بیولوژیک بر روی جذب عناصر N، P، K و عملکرد دانه در گیاه دارویی رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.). فصلنامه تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران ۲۵ (۱):۱-۱۹.

۱۲- دورودیان ح.ر.، بشارتی کلایه ح.، فلاح نصرت آباد ع.، حیدری شریف آباد ح.، درویش ف. و اله وردی ع. ۱۳۸۹. بررسی امکان تغییر فسفر قابل جذب خاک‌های آهکی و اثر آن بر عملکرد ذرت. دانش نوین کشاورزی ۶ (۱۸): ۲۷-۳۵.

۱۳- ده دشتی زاده ب.، آرویی ح.، عزیزی م. و داوری نژاد غ.ح. ۱۳۸۸. بررسی اثر سطوح مختلف ورمی کمپوست و عنصر معدنی فسفر بر رشد و نمو و جذب برخی از عناصر غذایی در نشاء گوجه فرنگی. مجله علوم باغبانی ایران (علوم کشاورزی ایران) ۴۰ (۳): ۴۹-۵۸.

۱۴- شیرانی راد ا.ح.، علیزاده ع.ا. و هاشمی دزفولی ا. ۱۳۷۹. بررسی اثر قارچ‌های میکوریزوسیکولار-آربوسکولار، فسفر و تنش خشکی بر کارایی جذب عناصر غذایی در گیاه گندم. نهال و بذر ۱۶ (۳): ۳۲۷-۳۴۹.

۱۵-طاهر خانی م. و گلچین ا. ۱۳۸۵. اثر سطوح مختلف نیتروژن بر عملکرد روغن، کیفیت دانه و جذب پتاسیم و فسفر از خاک در کلزا رقم SLM046. دانش نوین کشاورزی ۲ (۳): ۷۷-۸۵.

۱۶- فروغی فر ح. و پور کاسمانی م.ا. ۱۳۸۱. علوم و مدیریت خاک (جلد اول) (ترجمه). انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

۱۷- فلاحی ج.، کوچکی ع. و رضوانی مقدم پ. ۱۳۸۸. بررسی تأثیر کودهای بیولوژیک بر عملکرد کمی و کیفی گیاه دارویی بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla*). مجله پژوهش‌های زراعی ایران ۷ (۱): ۱۲۷- ۱۳۵.

۱۸- کرمی ا. و خوشخوی م. ۱۳۸۵. اثرهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر عملکرد و ویژگی‌های کمی دو جمعیت اهلی و وحشی بابونه آلمانی (*Chamomilla recutita* L. Rauschert). مجله علوم و فنون باغبانی ایران ۷ (۳): ۱۸۱-۱۹۲.

۱۹- کوچکی ع.، غلامی ا.، مهدوی دامغانی ع.م. و تبریزی ل. ۱۳۸۶. اصول کشاورزی زیستی (ارگانیک) (ترجمه). انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

۲۰-گودرزی ک. ۱۳۸۰. بررسی اثرات گوگرد و کمپوست بر افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی خاک و عملکرد گندم. علوم خاک و آب ۱۵(۴): ۱۵۴-۱۶۶.

۲۱- کوچکی ع. و نجیب نیا س. ۱۳۸۷. نقش تنوع در کشاورزی پایدار (ترجمه). انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

۲۲- محمدی آریا م.، لکزیان ا. و حق نیا غ. ۱۳۸۹. تأثیر مایه تلقیحی حاوی باکتری تیوباسیلوس و قارچ آسپرژیلوس بر رشد گیاه ذرت. مجله پژوهش‌های زراعی ایران ۸ (۱): ۸۲-۸۹ .

۲۳- محمدی آریا م.، لکزیان ا.، حق نیا غ.م.، حسین بشارتی ح. و فتوت ا. ۱۳۸۹. تأثیر *Thiobacillus* و *Aspergillus* بر فراهمی فسفر از خاک فسفات غنی شده با گوگرد و ورمی کمپوست. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) ۲۴ (۱): ۱-۹.

۲۴- مرادی ر.، رضوانی مقدم پ.، نصیری محلاتی م. و لکزیان ا. ۱۳۸۸. بررسی تأثیر کودهای بیولوژیک و آلی بر عملکرد، اجزای عملکرد دانه و میزان اسانس گیاه رازیانه (*Foeniculum vulgare*). مجله پژوهش‌های زراعی ایران ۷ (۲): ۶۲۵-۶۳۵.

۲۵- مظاهری د. و مجنون حسینی ن. ۱۳۸۵. مبانی زراعت عمومی. انتشارات دانشگاه تهران.

۲۶- نجف پورنوایی م. ۱۳۸۱. تأثیر کودهای شیمیایی نیتروژن و فسفر بر عملکرد بذر گیاه گاوزبان. تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران ۱۳: ۴۱-۵۰.

27- El-Deen E., and Ahmed T. 1997. Influence of plant distance and some phosphorus fertilization sources on black cumin (*Nigella sativa* L.) plants. Assist Journal of Agricultural Sciences, 28 (2): 39-56.

28-Johnston A.E.J., and Syers J.K. 2009. A new approach to assessing phosphorus use efficiency in agriculture. Better Crops, 93 (3): 14-16.

29-Janzen H.H., and Bettany J.R. 1987. The effect of temperature and water potential on sulfur oxidation in soils. Soil Science, 144 (2): 81-89.

30-Korkmaz K., Ibrikci H., Karnez E., Buyuk G., Ryan J., Ulger A.C., and Oguz H. 2009. Phosphorus use efficiency of

Archive of SID

www.SID.ir

wheat genotypes grown in calcareous soils. Journal of Plant Nutrition, 32 (12): 2094-2106.
31-Malhi S.S., Haderlein L.K., Pauly D.G., and Johnston A.M. 2002. Improving fertilizer phosphorus use efficiency. Better Crops, 86 (4): 8-9.
32-Mohamed S.A., Medani R.A., and Khafaga E.R. 2000. Effect of nitrogen and phosphorus applications with or without micronutrients on black cumin (*Nigella sativa* L.) plants. Annals of Agricultural Science (Cairo), 3: 1323-1338.
33-Mostafavian S.R., Pirdashti H., Ramzanpour M.R., Andarkhor A.A., and Shahsavari A. 2008. Effect of mycorrhizae, *Thiobacillus* and sulfur nutrition on the chemical composition of soybean [*Glycine max* (L.)] Merr. seed. Pakistan Journal of Biological Sciences, 11 (6): 826-835.
34-Mozaffarian V. 1998. A Dictionary of Iranian plants names. Farhang Moaser Publishers, Tehran.
35-Nickavar B., Mojab F., Javidnia K., and Roodgar Amoli M.A. 2003. Chemical composition of the fixed and volatile oils of *Nigella sativa* L. from Iran. Naturforsch, 58: 629-631.
36-Shenoy V.V., and Kalagudi G.M. 2005. Enhancing plant phosphorus use efficiency for sustainable cropping. Biotechnology Advances 23: 501–513.
37-Smith F.W. 2002. The phosphate uptake mechanism. Plant and Soil, 245: 105–114.
38-Stamford N.P., Dos Santos P.R., De Moura A.M.M.F., De Rosália e Silva Santos C.E., and De Freitas A.D.S. 2003. Biofertilizers with natural phosphate, sulphur and *Acidithiobacillus* in a soil with low available-P. Scientia Agricola, 60 (4): 767-773.
39-Stamford N.P., Silva A.J.N., Freitas A.D.S., and Araujo Filho J.T. 2002. Effect of sulphur inoculated with *Thiobacillus* on soil salinity and growth of tropical tree legumes. Bioresource Technology, 81: 53-59.
40-Tuncturk M., Tuncturk R., and Yildirim B. 2011. The effects of varying phosphorus doses on yield and some yield components of black cumin (*Nigella Sativa* L.). Advances in Environmental Biology, 5(2): 371-374.

Archive of SID

www.SID.ir