دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان

مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی
سال هفتم، شماره بیست و دوم، ۱۳۹۴

نقش گوگرد، ورمی کمپوست و باکتری *تیوباسیلوس* بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک آهکی و کارایی مصرف فسفر سیاهدانه

سید محمد سیدی[۱]، پرویز رضوانی‌مقدم[۲]، محمدخواجه حسینی[۲]، حمید شاهنده [۳]

تاریخ دریافت: ۹۳/۷/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۳/۸/۲۶

چکیده

به منظور بررسی نقش افزایش حلالیت فسفر در تولید دانه و کارایی مصرف فسفر در سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) در خاک آهکی، آزمایشی گلدانی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. هفت تیمار کودی (شاهد، ورمی کمپوست، گوگرد، ورمی کمپوست + گوگرد، ورمی کمپوست + باکتری *تیوباسیلوس*، گوگرد + باکتری *تیوباسیلوس* و ورمی کمپوست + گوگرد + باکتری *تیوباسیلوس*) و سه سطح کاربرد فسفر (صفر، ۳۰ و ۶۰ کیلوگرم در هکتار) به ترتیب عامل اول و دوم آزمایش بودند. بر اساس نتایج آزمایش، اکسایش گوگرد ناشی از تیمارهای گوگرد + باکتری *تیوباسیلوس* و نیز ورمی کمپوست + گوگرد + باکتری *تیوباسیلوس* نسبت به شاهد نقش موثری در کاهش معنی‌دار pH (به ترتیب تا ۰/۸۵ و ۰/۸۰ واحد)، افزایش معنی‌دار EC و فسفر قابل جذب خاک (تا بیش از ۲/۵ برابر) داشت. در شرایط عدم مصرف کود فسفر، کاربرد گوگرد یا گوگرد + باکتری *تیوباسیلوس* نقش موثری در افزایش فسفر قابل جذب خاک داشت. در تیمار ورمی کمپوست + گوگرد + باکتری *تیوباسیلوس* نیز بیش‌ترین افزایش وزن خشک بوته و وزن دانه در بوته مشاهده شد. با این وجود، بیشترین کارایی جذب فسفر سیاهدانه (معادل ۱۵/۳۱ درصد) در تیمار شاهد مشاهده شد. به نظر می‌رسد که در خاک‌های آهکی، کاربرد گوگرد به تنهایی و یا همراه با ورمی کمپوست می‌تواند به عنوان راه‌کاری جهت کاهش مشکلات ناشی از کاربرد کودهای شیمیایی فسفره شناخته شود.

واژه های کلیدی: اسیدیته خاک، اکسایش گوگرد، کارایی جذب فسفر، قابلیت الکتریکی.

سیدی، م.، پ. رضوانی‌مقدم، م. خواجه حسینی و ح. شاهنده. ۱۳۹٤. نقش گوگرد، ورمی کمپوست و باکتری *تیوباسیلوس* بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک آهکی و کارایی مصرف فسفر سیاهدانه. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی.۲۲: ۲۲۰-۲۰۵.

۱- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران- **مسئول مکاتبات. پست الکترونیک:** se.seyyedi@stu-mail.um.ac.ir

۲- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۳- گروه علوم خاک و گیاه، دانشگاه تگزاس، آمریکا

مقدمه

کمبود فسفر و کارایی جذب پایین آن به ویژه در خاک‌های با pH بالا، از مشکلات مهم در سیستم‌های زراعی مناطق خشک و نیمه خشک ایران می‌باشد (کریمی نیا و همکاران، ۱۳۸۲؛ ثامنی و کسرائیان، ۲۰۰٤). در خاک‌های آهکی (pH قلیایی)، فسفر با کلسیم واکنش داده و ترکیبات نامحلولی در خاک تولید می‌کند. از این رو در بسیاری از خاک‌های آهکی و قلیایی، به دلیل وفور کربنات‌های معدنی مانند کربنات کلسیم، کمبود فسفر مشاهده می‌شود (فروغی فر و پور کاسمانی، ۱۳۸۱؛ کورکماز و همکاران، ۲۰۰۹). به عبارت دیگر، نقش فسفر به عنوان عامل محدود کننده رشد گیاه همواره به معنای پایین بودن مقدار کل فسفر در خاک‌های آهکی نیست؛ بلکه به دلیل واکنش‌های پیچیده، ممکن است قسمتی از فسفر قابل جذب در خاک غیر قابل استفاده شود (خراسانی، ۱۳۸۹). از این رو در خاک‌هایی با pH بالا، افزایش حلالیت و توانایی جذب فسفر می‌تواند باعث بهبود کارایی مصرف فسفر در گیاه و در نهایت منجر به افزایش تولید شود (ونکلاس و همکاران، ۲۰۱۲).

کاهش اسیدیته خاک حتی به طور موضعی، از جمله روش‌های موثر به منظور افزایش حلالیت فسفر در خاک‌های آهکی می‌باشد (دورودیان و همکاران، ۱۳۸۹). کاربرد گوگرد در خاک‌های آهکی و اکسایش آن توسط باکتری‌های جنس *تیوباسیلوس* (*Thiobacillus*) به ویژه *T. thiooxidans*، ضمن کاهش موضعی pH خاک می‌تواند نقش موثری در افزایش قابلیت جذب فسفر داشته باشد (فروغی فر و پور کاسمانی، ۱۳۸۱؛ محمدی آریا و همکاران، ۲۰۱۰). *T. thiooxidans* یک باکتری شیمولیتوتروف اجباری[1] و شدیداً اسید دوست[2] بوده و ترکیبات گوگردی قابل اکسید به شکل معدنی (گوگرد عنصری) و یا آلی می‌باشد؛ با این وجود این باکتری‌ها علاوه بر گوگرد، به دی اکسید کربن نیز به عنوان منبع کربن قابل متابولیز نیاز دارند (لیو و همکاران، ۲۰۰٤؛ ویدیالاکشمی و همکاران، ۲۰۰۹). مطالعات لیپمن و همکاران (۱۹۱٦) از جمله اولین تحقیقات در ارتباط با اکسایش گوگرد، تولید اسید سولفوریک و افزایش انحلال فسفر در خاک می‌باشد. سلیم‌پور و همکاران (۲۰۱۰) نیز به نقش موثر باکتری‌های اکسید کننده گوگرد در افزایش جذب فسفر و عملکرد کلزا (*Brassica napus* L.) در خاک‌های آهکی اشاره کردند. به دلیل تولید گوگرد عنصری به عنوان محصول جانبی صنایع نفتی ایران، استفاده از آن در خاک‌های آهکی ایران نیز مورد توجه قرار گرفته است (ثامنی و کسرائیان، ۲۰۰٤).

علاوه بر اکسایش بیولوژیکی گوگرد، به دلیل پایین بودن میزان ماده آلی خاک در نواحی خشک و نیمه خشک کشور، فراهمی عناصر غذایی از منابع آلی مانند ورمی کمپوست نیز از جمله راه‌کارهای افزایش جذب فسفر می‌باشد (محمدی آریا و همکاران، ۲۰۱۰). در این راستا گزارش شده است که در مقایسه با کودهای شیمیایی، میزان عناصر غذایی موجود در کودهای آلی مانند فسفر در طول زمان بیشتر برای گیاه قابل استفاده می‌باشد (حلاج نیا و همکاران، ۱۳۸۵). علاوه بر این، تولید اسید کربنیک ناشی از واکنش دی اکسید کربن با آب و نیز تولید اسیدهای آلی مانند اسید اگزالیک و تارتاریک در طی تجزیه کودهای آلی می‌تواند نقش موثری در کاهش موضعی pH خاک و افزایش حلالیت فسفر داشته باشد (اکبر نژاد و همکاران، ۱۳۹۱؛ محمدی آریا و همکاران، ۲۰۱۰).

1- Obligate chemolithotrophs

2- Extreme acidophile

سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) گیاهی دارویی با دوره رشد کوتاه است که در مناطق نیمه خشک کشت می‌شود (دآنتونو و همکاران، ۲۰۰۲). بالا بودن نسبی درصد فسفر بذر سیاهدانه در مقایسه با گیاهان زراعی مانند بادام زمینی (*Arachis hypogaea* L.)، ذرت (*Zea mays* L.) و باغی مانند فندق (*Corylus avellana* L.) (اقبال و همکاران، ۲۰۰۹؛ باتال و همکاران، ۲۰۱۰؛ دکویپر، ۲۰۱۲) و پایین بودن کارایی جذب فسفر سیاهدانه در خاک‌های آهکی (سیدی و همکاران، ۱۳۹۱) می‌تواند نشان دهنده اهمیت مطالعه عملکرد سیاهدانه در شرایط کمبود فسفر در خاک‌های آهکی باشد.

با در نظر گرفتن شروع مرحله زایشی و گل‌دهی سیاهدانه در حدود ۷۰ روز پس از کاشت در اقلیم نیمه خشک مشهد (سیدی و همکاران، ۱۳۹۲) و نیاز باکتری‌های اکسید کننده گوگرد به یک دوره زمانی در حدود ۱۵ تا ٦۰ روز جهت کاهش pH و افزایش میزان فسفر خاک (محمدی آریا و همکاران، ۲۰۱۰)، به نظر می‌رسد کاربرد گوگرد و اکسایش بیولوژیک آن همزمان یا کمی قبل از کاشت در شرایط فراهمی مواد آلی خاک، از راه‌های قابل اجرا به منظور بهبود جذب فسفر و افزایش عملکرد سیاهدانه در خاک‌های نواحی نیمه خشک و آهکی باشد. بر این اساس، این مطالعه با هدف بررسی نقش اکسایش گوگرد و ماده آلی به شکل کود ورمی کمپوست بر خصوصیات شیمیایی خاک، قابلیت جذب فسفر، وزن دانه و کارایی مصرف فسفر سیاهدانه در خاک آهکی صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در سال ۱۳۹۱ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد (دمای شب و روز به ترتیب ۲۵ و ۱۷ درجه سانتی‌گراد) به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. هفت تیمار کودی (شاهد، ورمی کمپوست، گوگرد، ورمی کمپوست + گوگرد، ورمی کمپوست + باکتری *تیوباسیلوس*، گوگرد + باکتری *تیوباسیلوس* و ورمی کمپوست + گوگرد + باکتری *تیوباسیلوس*) و سه سطح کاربرد فسفر (صفر، ۳۰ و ٦۰ کیلوگرم در هکتار معادل صفر، ۱۰۵ و ۲۱۰ میلی-گرم فسفات دی آمونیوم در هر گلدان (ارتفاع و قطر دهانه به ترتیب ۱۱ و ١٤ سانتی‌متر) با خاکی به وزن ۱/٤ کیلوگرم) به ترتیب عامل اول و دوم آزمایش بودند.

در تیمارهای مورد نظر، ورمی کمپوست به میزان ۰/۵ درصد وزن خاک (۷ گرم ورمی کمپوست در هر گلدان یعنی معادل ۱۰ تن ورمی کمپوست در هکتار) و کود گوگرد به صورت گوگرد عنصری میکرونیزه نیز به‌میزان یک درصد وزن خاک (۲۰ تن گوگرد در هکتار و مساوی با ١٤ گرم گوگرد در هر گلدان) مورد استفاده قرار گرفت (سیبت، ۱۹۹۵؛ محمدی آریا و همکاران، ۲۰۱۰). *تیوباسیلوس* (سویه خالص، تولید شرکت زیستی مهر آسیا) نیز بر اساس ٤ درصد وزن گوگرد و پیش از کاشت در گلدان‌های مورد نظر مصرف گردید (قربانی نصر آبادی و همکاران، ۱۳۸۱). به دلیل استفاده از کود فسفات دی آمونیوم به عنوان منبع فسفر توصیه شده در خاک های آهکی یا قلیایی (مظاهری و مجنون حسینی، ۱۳۸۵) و در نتیجه متفاوت بودن میزان نیتروژن اضافه شده به گلدان‌ها، به تیمارهای سطح صفر، ۳۰ و ٦۰ کیلوگرم فسفر در هکتار، به ترتیب ۹۲، ٤٦ و صفر میلی گرم اوره اعمال گردید تا به تمامی گلدان نیتروژن مساوی داده شود. با در نظر گرفتن جنبه‌های کاربردی از نظر تأثیر جامعه میکروارگانیسم‌های طبیعی خاک، از استریل کردن خاک مورد مطالعه نیز جهت از بین بردن این میکروارگانیسم‌ها خودداری شد.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و ورمی کمپوست مورد استفاده در آزمایش

نمونه مورد استفاده	رس (٪)	سیلت (٪)	شن (٪)	pH	کربنات کلسیم (٪)	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	فسفر کل (٪)	فسفر قابل جذب (میلی گرم بر کیلوگرم)	کربن آلی (٪)
خاک	٤٨/٥	٣١/٩	١٩/٦	٨/٣٩	١١/٢	٠/٧٥	٠/٠٦	١٠/٦	٠/٣٤
ورمی کمپوست	–	–	–	٨/٢٤	–	٨/١٥	١/١٣	١٣٨/١	٢٧/٩

آبیاری گلدان‌ها در طول دوره ٦٣ روزه (از اعمال تیمارها تا کاشت بذر سیاهدانه) بر اساس روش وزنی (بر اساس ٥٠ درصد تخلیه رطوبت خاک) و با آب مقطر هر چهار روز یک‌بار انجام شد. در طول دوره اکسایش گوگرد و تا زمان کاشت بذرهای سیاهدانه (٦٣ روز پس از شروع دوره) فسفر قابل جذب به روش اولسن (اولسن و همکاران، ١٩٥٤)، pH خاک و هدایت الکتریکی در طی چهار مرحله (صفر، ٢١، ٤٢ و ٦٣ روز پس از شروع آزمایش) اندازه‌گیری شد. داده های به دست آمده تا این مرحله به صورت طرح فاکتوریل با سه عامل آنالیز گردید (هفت تیمار کودی، سه سطح کاربرد فسفر و چهار زمان نمونه گیری به ترتیب عامل اول، دوم و سوم آزمایش در نظر گرفته شدند).

pH و هدایت الکتریکی خاک در زمان برداشت بوته‌ها نیز تعیین شد. لازم به توضیح است، به دلیل ماهیت متفاوت محیط آزمایش ناشی از حضور ریشه گیاه در زمان برداشت نسبت به دوره‌های پیش از کاشت، شاخص‌های ذکر شده در زمان برداشت به طور جداگانه از چهار مرحله قبلی (صفر، ٢١، ٤٢ و ٦٣ روز پس از شروع آزمایش) مورد تجزیه آماری قرار گرفت.

با گذشت ٦٣ روز از شروع دوره اکسایش، بذور سیاهدانه (توده سمیرم اصفهان) در گلدان‌های مورد نظر کشت شدند. تعداد نهایی بوته‌ها در گلدان چهار عدد در نظر گرفته شد. در طی دوره رشد ، آبیاری گلدان‌ها مشابه مرحله پیش از کاشت، به روش وزنی و با آب مقطر انجام شد. همچنین پیش از گل‌دهی، کود نیتروژن به صورت سرک به گلدان‌ها اسپری شد.

همزمان با مرحله رسیدگی سیاهدانه، وزن خشک بوته و وزن دانه در بوته اندازه گیری شد. کارایی جذب، کارایی فیزیولوژیک و کارایی مصرف فسفر در شرایط کشت در گلخانه نیز بر اساس روابط ١ تا ٤ محاسبه شد (سپهر و همکاران، ٢٠٠٩؛ ٢٠١٢):

معادله (١)

درصد فسفر بوته ها × وزن خشک بوته ها) = مقدار فسفر جذب شده در بوته‌ها (میلی‌گرم)

معادله (٢)

١٠٠× (مقدار فسفر قابل جذب خاک در گلدان / مقدار فسفر جذب شده در بوته‌ها در گلدان) = کارایی جذب فسفر (درصد)

معادله (٣)

(مقدار فسفر جذب شده در بوته‌ها در گلدان / وزن دانه در گلدان) = کارایی فیزیولوژیک فسفر (میلی‌گرم بذر بر میلی‌گرم فسفر بوته)

معادله (٤)

(مقدار فسفر قابل جذب خاک در گلدان / وزن دانه در گلدان) = کارایی مصرف فسفر (میلی‌گرم بذر بر میلی‌گرم فسفر قابل جذب در خاک)

درصد فسفر در بوته ها نیز بعد از هضم خشک به روش مورفی و ریلی (۱۹٦۵) و توسط دستگاه اسپکتوفتومتر (Spectrophotometer-JENWAY، مدل ٤٥۱۰) تعیین شد. محاسبه شاخص‌های کارایی فسفر نیز بر اساس مقدار فسفر قابل جذب خاک در روز ٦۳ (زمان کاشت) صورت گرفت. در تعیین مقدار فسفر زیست توده، برگ‌های ریزش یافته در هر گلدان نیز در محاسبه لحاظ گردید.

تجزیه و تحلیل داده های آزمایش با نرم افزار SAS 9.1 و MSTAT-C و رسم نمودارها با نرم افزار EXCEL انجام شد. میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال پنج درصد مورد مقایسه آماری قرار گرفتند.

نتایج و بحث

شاخص‌های مورد مطالعه خاک (تا زمان کاشت)

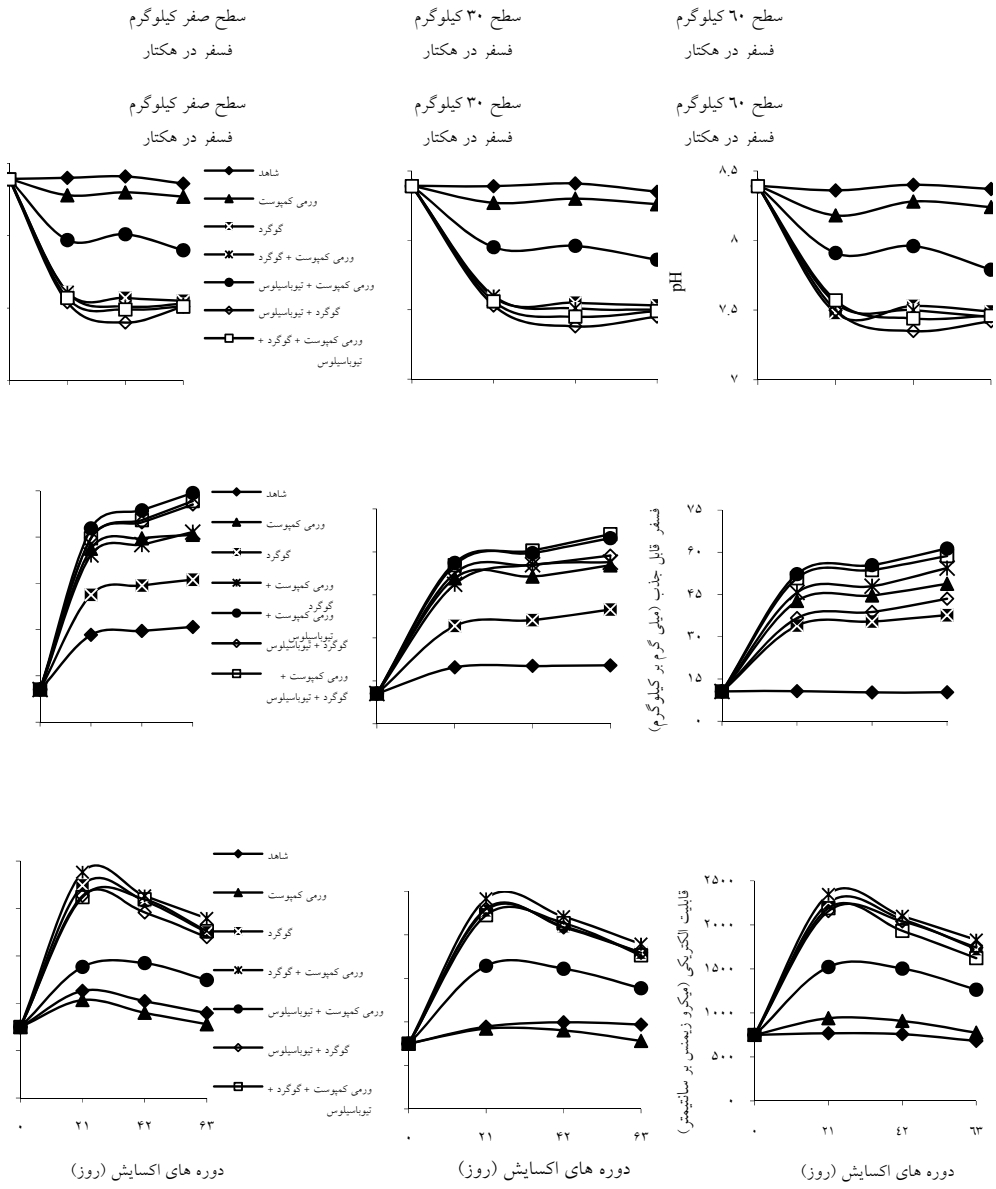
تغییرات pH، قابلیت الکتریکی و فسفر قابل جذب تحت تاثیر تیمارهای مورد مطالعه در یک خاک آهکی (pH معادل ۸/۳۹ دارای ۱۱/۲ درصد کربنات کلسیم) با میزان فسفر قابل جذب پایین (۱۰/٦ میلی گرم بر کیلوگرم) انجام شد (جدول ۱). به طور کلی تغییرات pH و فسفر قابل جذب در تیمارهای اعمال شده در طی دوره اکسایش (۲۱، ٤۲ و ٦۳ روز) روند مشابهی در سطوح مختلف کاربرد کود فسفر داشت (شکل ۱). در طول دوره اکسایش، میزان فسفر قابل جذب خاک در هر یک از تیمارها با مصرف و یا عدم مصرف فسفر رو به افزایش گذاشت. بر اساس نتایج به دست آمده، در طول این دوره، در هر یک از سطوح فسفر تغییر چندانی در pH خاک تحت تأثیر تیمار شاهد و یا ورمی کمپوست (pH معادل ۸/۲٤ و فسفر کل معادل ۱/۱۳ درصد) مشاهده نشد. ولی مصرف گوگرد، تیوباسیلوس و یا گوگرد + باکتری *تیوباسیلوس* منجر به کاهش چشمگیر pH خاک تا روز ۲۱ شد و پس از این دوره، روند تغییرات نسبتاً یکنواختی در این شاخص مشاهده گردید (شکل ۱). به طوری که در تیمارهای دارای گوگرد، حداکثر کاهش در pH خاک در همان اولین دوره اندازه گیری (روز ۲۱) مشاهده گردید. کاهش pH خاک در نتیجه کاربرد گوگرد به تنهایی (تا ۰/۹۲ واحد) در مقایسه با تیمار شاهد می‌تواند به دلیل اکسایش گوگرد در نتیجه فعالیت جامعه میکروارگانیسم‌هایی باشد که به طور طبیعی در خاک وجود دارند (کریمی نیا و شعبان پور، ۱۳۸۲؛ ویدیالاکشمی و همکاران، ۲۰۰۹).

افزودن تیوباسیلوس به تیمارهای مختلف باعث تغییرات متفاوتی در pH خاک گردید. به عنوان مثال، با وجود تغییر ناچیز pH خاک در نتیجه کاربرد ورمی کمپوست به تنهایی، اعمال باکتری *تیوباسیلوس* با ورمی کمپوست در مقایسه با کاربرد ورمی کمپوست به تنهایی باعث کاهش pH خاک به اندازه ۰/٤۵ واحد شد (شکل ۱). از نظر شاخص pH خاک، برتری تیمار ورمی کمپوست + باکتری *تیوباسیلوس* (۷/۷۹ واحد) در مقایسه با ورمی کمپوست (۸/۲٤ واحد) در هر سه سطح کاربرد فسفر می‌تواند نشان دهنده نقش موثر باکتری‌های اکسید کننده گوگرد در حضور ماده آلی در تعدیل pH خاک باشد (شکل ۱).

همچنین کاهش pH خاک در نتیجه تیمار ورمی کمپوست + باکتری *تیوباسیلوس* نیز ممکن است ناشی از تولید گاز کربنیک در طی فرآیند تجزیه مواد آلی (فروغی فر و پور کاسمانی، ۱۳۸۱) و نیز نقش کود ورمی کمپوست به عنوان منبع کربن قابل متابولیز برای فعالیت بیشتر باکتری‌های اکسید کننده گوگرد در نظر گرفته شود (محمدی آریا و همکاران، ۲۰۱۰). کریمی نیا و شعبان پور (۱۳۸۲) نیز به نقش موثر فراهمی گلوگز (ماده آلی) در تسریع اکسیداسیون گوگرد و کاهش معنی‌دار pH خاک اشاره کردند. اکبر نژاد و همکاران (۱۳۹۱) نیز در شرایط اجرای آزمایش در گلخانه، به نقش موثر کمپوست در کاهش pH و افزایش کربن آلی خاک اشاره نمودند. تولید اسیدهای آلی مانند اسید سیتریک و اسید اگزالیک در طی فرآیند تجزیه مواد آلی نیز از دیگر دلایل احتمالی کاهش موضعی pH خاک در نتیجه افزودن کودهای کمپوستی عنوان شده است (بیسواس و نارایاناسامی، ۲۰۰۶).

باید در نظر داشت که در شرایط اجرای این آزمایش، کاهش مقدار pH در کنار افزایش فسفر قابل جذب خاک (بیش از ۲/۵ برابر) در روز ۲۱ نیز می‌تواند حاکی از سرعت بالای واکنش اکسیداسیون و تولید اسید سولفوریک باشد. از سویی بیشترین کاهش در pH خاک نیز در نتیجه کاربرد گوگرد + باکتری *تیوباسیلوس* (از ۸/۳۹ به ۷/۳۵ واحد) به دست آمد (شکل ۱). مشابه این نتایج، اخوان و فلاح نصرت آباد (۱۳۹۲) نیز در یک آزمایش گلخانه ای، کاهش pH و افزایش میزان جذب فسفر توسط بوته های کلزا را در نتیجه کاربرد گوگرد و مایه تلقیح تیوباسیلوس مشاهده نمودند.

نتایج نشان داد که در شرایط عدم مصرف کود فسفر، بیشترین افزایش در میزان فسفر قابل جذب خاک (۵۴/۳۸ میلی گرم بر کیلوگرم) به طور معنی‌دار در نتیجه کاربرد ورمی کمپوست + گوگرد + باکتری *تیوباسیلوس* مشاهده شد (شکل ۲). باید توجه داشت که بالا بودن مقدار فسفر قابل جذب در ورمی کمپوست (جدول۱) باعث شده است که اعمال گوگود و باکتری *تیوباسیلوس* به همراه ورمی کمپوست، منجر به افزایش حداکثری فسفر قابل جذب خاک در این تیمار شود. ولی اهمیت گوگرد و باکتری *تیوباسیلوس* زمانی بیشتر مشخص می‌شود که اثرات آن را در شرایط عدم مصرف فسفر مقایسه نمود. به عبارت دیگر، در شرایط عدم مصرف فسفر، مقدار فسفر قابل جذب خاک در نتیجه کاربرد گوگرد + باکتری *تیوباسیلوس* (۳۹/۶۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) تا ۲۹/۲۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم بیش از تیمار شاهد (۱۰/۳۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود (شکل ۲). علاوه بر این، در شرایط عدم مصرف فسفر، تفاوت معنی‌دار بین دو تیمار ورمی کمپوست و شاهد از نظر فسفر قابل جذب خاک (شکل ۲) می‌تواند نشان دهنده آن باشد که تا ۳۵/۰۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم افزایش فسفر خاک ناشی از فسفر موجود در ورمی کمپوست می-باشد. همانطور که پیشتر ذکر گردید، این افزایش ضمن آنکه ممکن است ناشی از آزاد شدن تدریجی فسفر موجود در ورمی کمپوست باشد، می تواند تحت تاثیر فرآیند هایی مانند تولید اسید کربنیک حاصل از واکنش دی اکسید کربن با آب و نیز تولید اسیدهای آلی مانند اسید اگزالیک و تارتاریک در طی تجزیه کود آلی باشد که در نهایت سبب کاهش موضعی pH خاک و افزایش حلالیت فسفر می‌شود (اکبر نژاد و همکاران، ۱۳۹۱؛ محمدی آریا و همکاران، ۲۰۱۰).



شکل ۱- روند تغییرات pH، فسفر قابل جذب و قابلیت الکتریکی خاک تحت تأثیر تیمارهای اعمال شده در طول دوره اکسایش

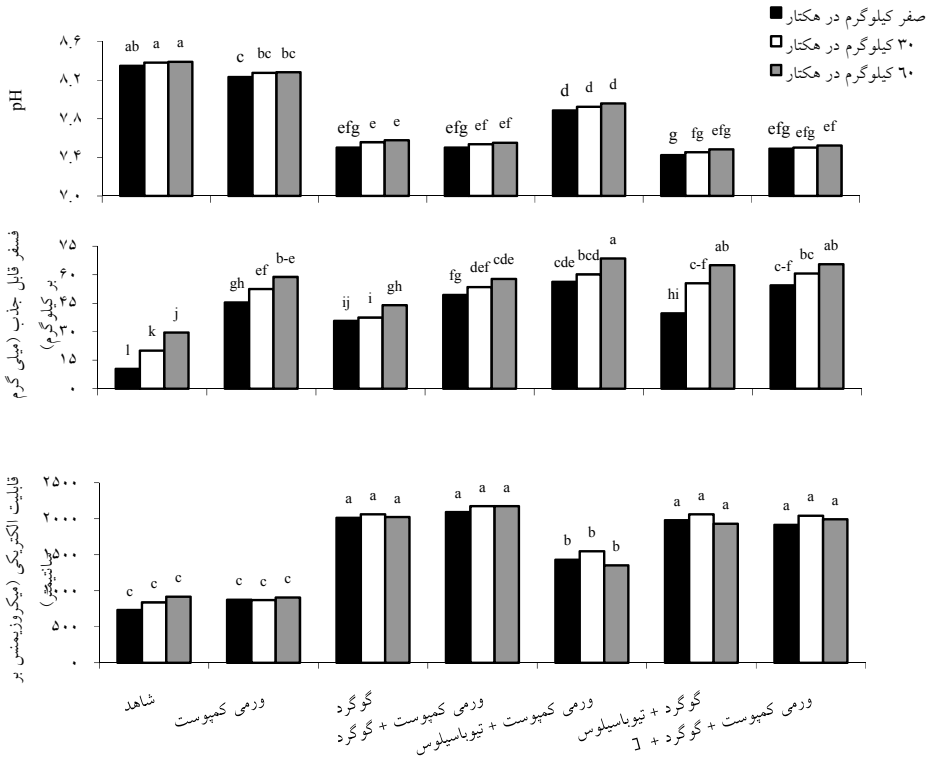
بر اساس نتایج بدست آمده، افزایش مصرف کود فسفر در تمامی تیمارهای اعمال شده، منجر به افزایش مقدار فسفر قابل جذب خاک شد (جدول ۱ و شکل ۲). با این وجود افزایش فسفر قابل جذب خاک با مصرف گوگرد به طور معنی‌دار بیش از افزایش فسفر قابل جذب خاک در نتیجه اعمال ۳۰ و ۶۰ کیلوگرم فسفر در هکتار در خاک بود (شکل ۲). به عبارت دیگر با مصرف ۶۰ کیلوگرم فسفر در هکتار، فسفر

قابل جذب از ۱۰/٤ به ۲۹/٦ میلی گرم بر کیلوگرم رسید. در حالی که با کاربرد تیمار گوگرد، فسفر قابل جذب از ۱۰/٤ به ۳۵/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم افزایش یافت، این نتایج علاوه بر آن که نشان‌دهنده پتانسیل خاک مورد آزمایش در تثبیت و غیر متحرک کردن فسفر حاصل از کود شیمیایی فسفره در خاک می‌باشد، توانایی بالای واکنش اکسایش گوگرد در تعدیل pH و افزایش مقدار فسفر قابل جذب در شرایط اجرای این آزمایش را نشان می‌دهد.

جدول ۲- تجزیه واریانس شاخص‌های مورد مطالعه خاک (تا زمان کاشت) تحت تاثیر کاربرد فسفر، تیمارهای کودی و زمان نمونه برداری

منابع	درجه آزادی	pH	قابلیت الکتریکی	فسفر قابل جذب
زمان	۳	۵/۵۸ **	۱۳٦۹٦۹۱۷/۰۵ **	۲۲٦۲۲/۹۲ **
فسفر	۲	۰/۰۰۲ ns	۳۸۵۹۸/۲۵ *	۲۰٦۰/۰۳ **
تیمارهای کودی	٦	۳/۰٤ **	٦۰۸۹۰۷۸/۲۹ **	٤۲٦۱/٦۳ **
زمان × فسفر	٦	۰/۰۰۳ ns	۷۲۰۹/۱۹ ns	۲٤۲/۳۳ **
زمان × تیمارهای کودی	۱۸	۰/۳۵ **	۷۰۷۲۰۹/۲۳ **	۵۰۷/٤۱ **
فسفر × تیمارهای کودی	۱۲	۰/۱۰ *	۲۰۰۷۲/۹٤ *	۲۱۰/۳۵ **
زمان × فسفر × تیمارهای کودی	۳٦	۰/۰۰۲ ns	٦۲۳۰/٦۸ ns	۳٦/۸٤ ns
خطا	۱٦۸	۱۸/۱۵	۹۲۸۱/۷۰	۳۸/۰۰

*، ** و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح پنج درصد، یک درصد و عدم اختلاف معنی‌دار.



شکل ۲- اثر متقابل کاربرد فسفر و منابع کودی بر pH، فسفر قابل جذب و قابلیت الکتریکی خاک

مقدار فسفر قابل جذب خاک در تیمار گوگرد + باکتری *تیوباسیلوس* در سطوح صفر، ۳۰ و ۶۰ کیلوگرم فسفر در هکتار، به طور معنی‌دار بیش از تیمار گوگرد به تنهایی بود (شکل ۲). در هر سه سطح کاربرد فسفر، برتری معنی‌دار تیمار گوگرد + باکتری *تیوباسیلوس* در مقایسه با گوگرد از نظر مقدار فسفر قابل جذب خاک (شکل ۲) اهمیت استفاده از باکتری‌های اکسید کننده گوگرد در تشدید واکنش اکسایش و در نتیجه افزایش هر چه بیشتر حلالیت فسفر خاک را نشان می‌دهد (کریمی نیا و شعبان پور، ۱۳۸۲؛ محمدی آریا و همکاران، ۲۰۱۰).

میزان افزایش فسفر قابل جذب با مصرف ورمی کمپوست به طور معنی‌دار بیش از مصرف کود شیمیایی فسفر حتی در سطح ۶۰ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۲). با این وجود در هر یک از سطوح کاربرد فسفر، میزان فسفر قابل جذب در تیمار ورمی کمپوست + باکتری *تیوباسیلوس* در مقایسه با سطوح مشابه کود فسفر در تیمار ورمی کمپوست به طور معنی‌داری بالاتر بود (شکل ۲). این امر می‌تواند ناشی از افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک مانند باکتری *تیوباسیلوس* در تجزیه فسفر آلی موجود در ورمی کمپوست و تبدیل آن به شکل معدنی باشد.

تغییرات هدایت الکتریکی خاک پس از اعمال تیمارهای کودی در شکل ۱ و ۲ ارائه شده است. به طور کلی افزایش مواد آلی و گوگرد در نتیجه کاربرد تیمارهای دارای ورمی کمپوست و کود گوگرد، می-تواند منجر به افزایش میزان شوری در خاک شده و در نهایت محدودیت در جوانه زنی و رشد گیاه را ایجاد کند. در شرایط اجرای این آزمایش، اعمال ورمی کمپوست به ویژه همراه با مصرف باکتری *تیوباسیلوس*، منجر به افزایش میزان شوری خاک تا محدوده ۱۵۰۰ میکروزیمنس بر سانتیمتر شد. این افزایش شوری می‌تواند ناشی از فعالیت میکرو ارگانیسم‌ها در حلالیت ترکیبات آلی باشد. افزودن گوگرد همراه با باکتری *تیوباسیلوس* نیز باعث سه برابر شدن هدایت الکتریکی (۲۱۵۶ میکروزیمنس بر سانتیمتر) در ابتدای مرحله اکسایش (روز ۲۱) نسبت به تیمار شاهد (۷۴۹ میکروزیمنس بر سانتیمتر) گردید و سپس در انتهای دوره اکسایش (روز ۶۳) میزان هدایت الکتریکی در این تیمار در حدود ۱۷۴۳ میکروزیمنس بر سانتیمتر اندازه گیری شد. در نتیجه کاربرد تیمارهای ذکر شده، کاهش pH در کنار افزایش معنی‌دار هدایت الکتریکی نسبت به شاهد (شکل ۱ و ۲) می‌تواند ناشی از اکسید شدن گوگرد، کاهش مقدار کربنات کلسیم و تولید گچ ($CaSO4.2H_2O$) باشد (فروغی فر و پور کاسمانی، ۱۳۸۱؛ سیبت، ۱۹۹۵). با این وجود در شرایط اجرای این آزمایش، پس از پایان دوره اکسایش (روز ۶۳) کاهش جوانه زنی و رشد سیاهدانه تحت تأثیر افزایش شوری در محدوده ۶۸۱ تا ۱۸۲۹ میکروزیمنس بر سانتیمتر مشاهده نشد. از آنجایی که آستانه خسارت تنش شوری در سیاهدانه از هدایت الکتریکی بیش از ۲ دسی زیمنس بر متر تعیین شده است (قمرنیا و همکاران، ۲۰۱۲)، از این رو می‌توان نتیجه گیری نمود که مصرف گوگرد تا سطح ۱۰ تن در هکتار، از طریق افزایش شوری خاک، نمی‌تواند تأثیر منفی بر رشد سیاهدانه داشته باشد.

به عنوان یک نتیجه گیری از این بخش از آزمایش می توان بیان نمود که در خاک آهکی مورد مطالعه در این آزمایش، امکان افزایش فسفر قابل جذب به سطح بالاتر از ۲۰ میلی گرم بر کیلوگرم (جهت رفع نیاز گیاه به فسفر) بر اساس ترکیبی از تیمارهای مورد مطالعه (به ویژه در شرایط کاربرد ورمی کمپوست همراه با گوگرد و باکتری تیوباسیلوس) امکان پذیر می‌باشد.

واکنش سیاهدانه به این تغییرات شیمیایی خاک از نظر قابلیت افزایش و جذب فسفر خاک در ذیل آمده است.

شاخص‌های مورد مطالعه سیاهدانه

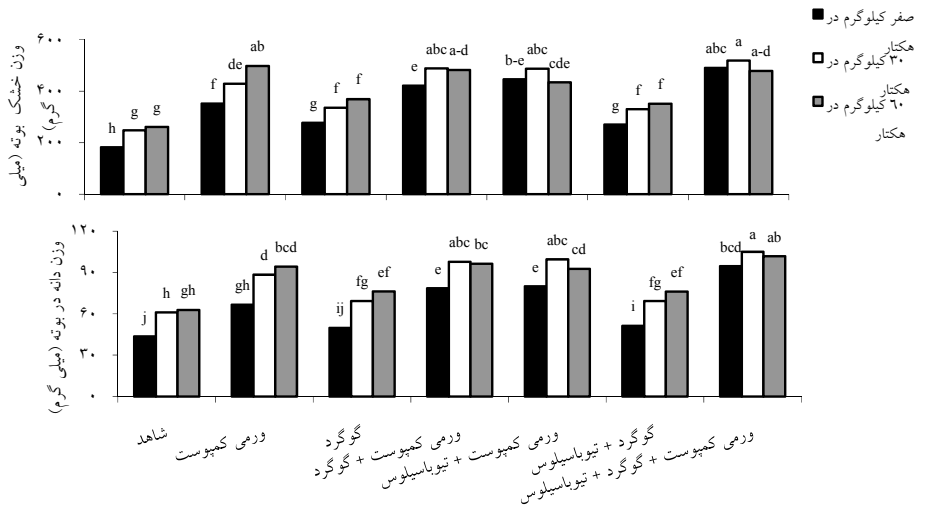
واکنش عملکرد سیاهدانه به تیمارهای مختلف برای افزایش فسفر قابل جذب خاک در شکل ۳ و جدول ۳ آورده شده است. بر اساس نتایج آزمایش، به جز کارایی فیزیولوژیک فسفر، سایر شاخص‌های کارایی مورد مطالعه در سیاهدانه تحت تأثیر اثر متقابل فسفر × منابع کود قرار گرفت (شکل ۳ و جدول ۳).

جدول ۳- تجزیه واریانس شاخص‌های مورد مطالعه سیاهدانه تحت تاثیر کاربرد فسفر و تیمارهای کودی

منابع	درجه آزادی	وزن دانه در بوته	وزن خشک بوته	کارایی جذب فسفر	کارایی فیزیولوژیک فسفر	کارایی مصرف فسفر
فسفر	۲	۲٦٤۹/٦۲ **	۲۹٥۷۳/۰۱ **	۸/۳٤ **	۳۷/۳۲ ns	۳/۷۹ **
تیمارهای کودی	٦	۲۳٤۷/۰٦ **	۷۸۹۱۱/۰۳ **	۲۰/۹۱ **	۱۰۱۱/۰٥ **	۳۲/۸۹ **
فسفر × تیمارهای کودی	۱۲	۷۰/٦٤ **	۳٦٦٤/۷۰ **	۸/٦٤ **	۱۷/٤۹ ns	٥/۷۱ **
خطا	٤۲	۱۸/۱٥	۹٦٦/٥۹	۱/٥۱	۱۳/۸٤	۰/٥۲

*، ** و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح پنج درصد، یک درصد و عدم اختلاف معنی‌دار.

با وجود تفاوت معنی‌دار بین مصرف و عدم مصرف کود فسفری در هر یک از تیمارهای کودی بر عملکرد سیاهدانه، بین سطوح ۳۰ و ٦۰ کیلوگرم در هکتار کاربرد فسفر، تفاوت معنی‌داری از نظر وزن خشک بوته و وزن دانه در بوته سیاهدانه مشاهده نشد (شکل ۳). از نظر شاخص‌های وزن خشک بوته و وزن دانه در بوته، بیش‌ترین افزایش در نتیجه کاربرد تیمار ورمی کمپوست + گوگرد + باکتری *تیوباسیلوس* در سطوح صفر، ۳۰ و ٦۰ کیلوگرم فسفر مشاهده شد (شکل ۳). یادگاری و برزگر (۱۳۸۹) نیز بیش‌ترین افزایش وزن خشک گیاه بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) (تا بیش از دو برابر) را در نتیجه کاربرد کود دامی + گوگرد + باکتری تیوباسیلوس مشاهده کردند. قربانی نصر آبادی و همکاران (۱۳۸۱) نیز در شرایط کشت در گلخانه، افزایش عملکرد سویا را در نتیجه مصرف گوگرد همراه با مایه تلقیح تیوباسیلوس مشاهده نمودند. همچنین با وجود برتری معنی‌دار تیمار گوگرد در مقایسه با شاهد، نتایج نشان داد که در هر سه سطح کود فسفر، کاربرد ورمی کمپوست در مقایسه با گوگرد و یا گوگرد + باکتری *تیوباسیلوس*، نقش بیشتری در افزایش معنی‌دار شاخص‌های ذکر شده داشت (شکل ۳). این امر می‌تواند نشان دهنده آن باشد که جهت بهبود عملکرد سیاهدانه، ضمن افزایش قابلیت جذب فسفر ناشی از اکسایش گوگرد، می‌بایست به نقش موثر فراهمی مواد آلی در افزایش قابلیت جذب فسفر و نیز بهبود خصوصیات فیزیکی خاک توجه نمود (اکبر نژاد و همکاران، ۱۳۸۹، ۱۳۹۱؛ محمدی آریا و همکاران، ۲۰۱۰).



شکل ۳- اثر متقابل کاربرد فسفر و منابع کودی بر وزن خشک بوته و وزن دانه در بوته سیاهدانه

با وجود پایین بودن وزن دانه و وزن خشک بوته سیاهدانه در هر سه سطح کاربرد فسفر در تیمار شاهد، بیش‌ترین کارایی جذب فسفر در هر سه سطح کاربرد فسفر در تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ٤). از نظر کارایی مصرف فسفر نیز با وجود برتری تیمار شاهد در هر سه سطح کاربرد فسفر (تا ۱۳ گرم بذر بر گرم فسفر قابل جذب در خاک)، در سایر تیمارهای کودی کارایی مصرف فسفر سیاهدانه در محدوده ۳/۸ تا ۵ گرم بذر بر گرم فسفر قابل جذب در خاک به دست آمد (جدول ٤).

به طور کلی با وجود عدم معنی‌دار شدن اثر متقابل فسفر × منابع کود بر کارایی فیزیولوژیک فسفر، نتایج حاکی از برتری تیمار شاهد در مقایسه با سایر تیمارها از نظر کارایی فیزیولوژیک فسفر بود (جدول ٤). بر اساس نتایج به دست آمده به نظر می‌رسد که با وجود کاهش وزن بوته سیاهدانه در شرایط فراهمی پایین فسفر در خاک آهکی، افزایش توان جذب و نیز بهبود وزن دانه به ازای هر واحد فسفر جذب شده می‌تواند به عنوان یک مکانیسم جبرانی در نظر گرفته شود.

به طور کلی نتایج آزمایش حاکی از پایین بودن کارایی جذب (۸/٦۷ درصد) و مصرف فسفر سیاهدانه (۵/۵۹ میلی‌گرم بذر بر میلی‌گرم فسفر قابل جذب در خاک) بود (جدول ٤). با این وجود مالهی و همکاران (۲۰۰۲) در سال اول رشد گیاهان زراعی، کارایی جذب فسفر را حدود ۱۰ تا ۳۰ درصد برآورد نمودند. با توجه با بالا بودن نسبی کارایی فیزیولوژیک سیاهدانه (٦۳/۲ میلی‌گرم بذر بر میلی-گرم فسفر زیست توده) و نیز در نظر گرفتن کارایی جذب و فیزیولوژیک به عنوان اجزای کارایی مصرف عناصر غذایی (سالواجیوتی و همکاران، ۲۰۰۹)، پایین بودن کارایی جذب فسفر و نیز شرایط متفاوت محیط گلخانه در مقایسه با محیط طبیعی می‌تواند دلایل احتمالی کارایی پایین مصرف فسفر سیاهدانه در این مطالعه باشد.

جدول ٤- اثر متقابل کاربرد فسفر و منابع کودی بر کارایی جذب، کارایی فیزیولوژیکی و کارایی مصرف فسفر سیاهدانه

مقدار فسفر (کیلوگرم در هکتار)	منابع کودی خاک	کارایی جذب فسفر در گلدان (درصد)	کارایی فیزیولوژیک فسفر (میلی‌گرم بذر بر میلی‌گرم فسفر زیست توده)	کارایی مصرف فسفر در گلدان (میلی‌گرم بذر بر میلی‌گرم فسفر قابل جذب در گلدان)
صفر	شاهد	۱۵/۳۱ a	۸٤/۷۷	۱۲/۹٤ a
	ورمی کمپوست	٦/٦۳ gh	٦۱/۹٤	٤/۲۹ e-i
	گوگرد	۷/٤۰ fgh	۵۵/۱۲	٤/۰۷ f-i
	ورمی کمپوست + گوگرد	۹/۰۹ b-f	۵۰/۹۳	٤/۵۹ e-i
	ورمی کمپوست + باکتری *تیوباسیلوس*	۷/۸۲ e-h	۵۱/٤۳	٤/۰۱ f-i
	گوگرد + باکتری *تیوباسیلوس*	۷/۱۷ fgh	۵٤/۷٤	۳/٦۵ hi
	ورمی کمپوست + گوگرد + باکتری *تیوباسیلوس*	۹/۳٤ b-f	۵۳/۳۳	٤/۹۷ c-h
۳۰	شاهد	۱۰/۹۸ bc	۸٤/۱٤	۹/۲۲ b
	ورمی کمپوست	٦/٦٦ gh	٦۳/۱۱	٤/۳۳ e-i
	گوگرد	۹/۳۹ b-f	٦۰/۲۰	۵/٦۵ cde
	ورمی کمپوست + گوگرد	۹/۹۸ b-e	۵۳/۲۰	۵/۳٤ c-f
	ورمی کمپوست + باکتری *تیوباسیلوس*	۸/۷۹ c-g	۵۵/۱۱	٤/۸۳ d-h
	گوگرد + باکتری *تیوباسیلوس*	٦/٦۵ gh	۵۷/٤٦	۳/٦۸ hi
	ورمی کمپوست + گوگرد + باکتری *تیوباسیلوس*	۹/۲۳ b-f	۵۵/۱۳	۵/۰۸ c-h
٦۰	شاهد	۷/٦۸ fgh	۸۲/۰۱	٦/۲۷ c
	ورمی کمپوست	۸/۹۳ b-g	۵۷/۵۸	۵/۱۲ c-g
	گوگرد	۸/۲۹ d-h	٦۱/٤۱	۵/۰۸ c-h
	ورمی کمپوست + گوگرد	۹/۲۱ b-f	۵۲/٦۳	٤/۸٤ d-h
	ورمی کمپوست + باکتری *تیوباسیلوس*	٦/٤۳ h	۵۹/۸٤	۳/۸۵ ghi
	گوگرد + باکتری *تیوباسیلوس*	٦/٤۱ h	۵۷/۸۸	۳/۳٤ i
	ورمی کمپوست + گوگرد + باکتری *تیوباسیلوس*	۷/۷۳ fgh	۵۷/۱۳	٤/٤۰ e-i

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

شاخص‌های مورد مطالعه خاک (در زمان برداشت)

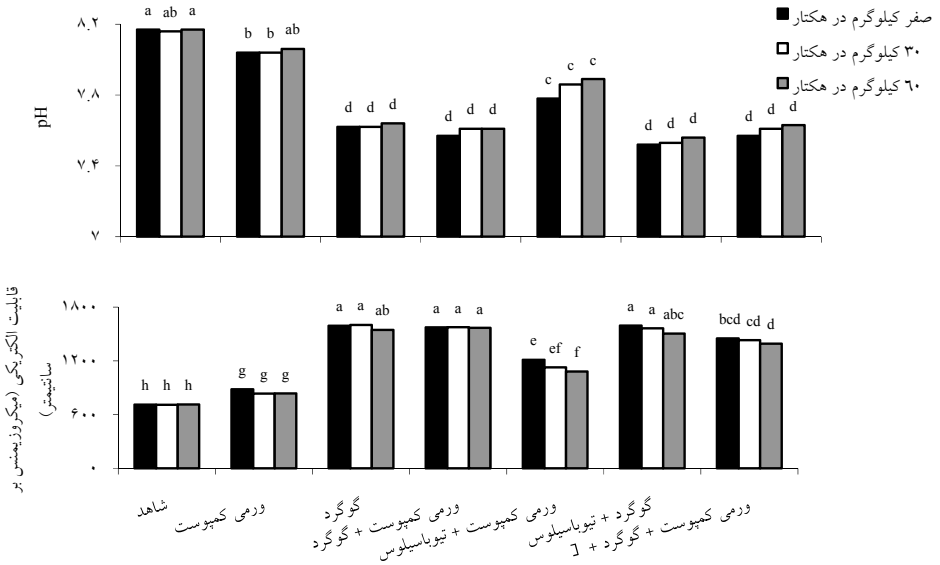
pH و هدایت الکتریکی خاک در زمان برداشت همانند دوره قبل از کاشت به طور معنی‌دار تحت تأثیر کاربرد منابع کود در هر سطح کاربرد فسفر قرار گرفت (جدول ۵ و شکل ٤).

جدول ۵- تجزیه واریانس شاخص‌های مورد مطالعه خاک در زمان برداشت تحت تاثیر کاربرد فسفر و منابع اکسایش

منابع	درجه آزادی	pH	قابلیت الکتریکی	فسفر قابل جذب
فسفر	۲	۰/۰۱ *	۱۰٦۱۰۰/۰۱ *	۱۲٦۹/۲۲ *
تیمارهای کودی	٦	۰/٦۲ **	۱٤۱٤۵٤۰/۰۳ **	۲۵۳٦/۲۷ **
فسفر × تیمارهای کودی	۱۲	۰/۰۱ *	۳۹۲۵۰۰/۷۰ *	۱۳۷۷/٦۲ *
خطا	٤۲	۰/۰۰۵	۳٤۳۰/۳۸	٦۱۱/٤۲

*، ** و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح پنج درصد، یک درصد و عدم اختلاف معنی‌دار.

در زمان برداشت، بیش‌ترین کاهش pH خاک در نتیجه کاربرد گوگرد + باکتری *تیوباسیلوس* مشاهده شد. به طوری که در هر سه سطح کاربرد فسفر، تیمار ذکر شده نسبت به شاهد منجر به کاهش pH خاک تا ۰/۶۳ واحد شد (شکل ٤). تفاوت معنی‌دار بین تیمارهای دارای گوگرد یا باکتری *تیوباسیلوس* با تیمار شاهد در زمان برداشت از نظر pH و هدایت الکتریکی خاک می‌تواند توانایی این تیمارها را در کاهش و تعدیل نسبتاً طولانی مدت pH خاک در طول دوره رشد سیاهدانه خاطر نشان سازد (شکل ٤). با این وجود، بالا بودن آهک خاک مورد مطالعه در آزمایش (جدول ۱) ممکن است در طی زمان مجدداً منجر به تغییر pH و برگشت آن به حالت اولیه شود (سیبت، ۱۹۹۵).



شکل ٤- اثر متقابل کاربرد فسفر و منابع کودی بر pH و قابلیت الکتریکی خاک (روز برداشت)

نتیجه گیری

نتایج آزمایش حاکی از نقش موثر اکسایش گوگرد در کاهش pH خاک، افزایش حلالیت فسفر و نیز وزن دانه در بوته سیاهدانه بود. همچنین نتایج نشان داد که در خاک‌های آهکی مناطق نیمه خشک، استفاده از باکتری‌های *تیوباسیلوس* می‌تواند در تسریع واکنش اکسایش گوگرد موثر باشد. علاوه بر افزایش حلالیت فسفر ناشی از کاربرد گوگرد، فراهمی مواد آلی از منابعی مانند ورمی کمپوست می‌تواند در افزایش هر چه بیشتر وزن دانه در بوته سیاهدانه نقش مستقیمی داشته باشد. به طوری که ورمی کمپوست خود به تنهایی منبع قابل توجه فسفر قابل جذب در آزمایش بود. از این رو به منظور افزایش فسفر قابل جذب در خاک جهت تأمین نیاز سیاهدانه، انتخاب این تیمارها به شرایط زراعی، محدودیت‌های زیست محیطی ناشی از کودهای شیمیایی، دسترسی و به ویژه قابلیت اقتصادی این نهاده‌ها وابسته می‌باشد. با این وجود، شناخت هر چه بیشتر نقش موثر اکسایش گوگرد در حضور فراهمی مواد آلی بر عملکرد سیاهدانه نیازمند مطالعات تکمیلی در شرایط مزرعه می‌باشد.

منابع

اخوان، ز. و فلاح نصرت آباد، ع. ۱۳۹۲. تأثیر گوگرد و مایه تلقیح تیوباسیلوس بر pH خاک، وزن خشک و قابلیت جذب فسفر در کلزا. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار. جلد ۳: ۱۳-۱.

اکبر نژاد، ف.، ع. آستارایی، ا. فتوت و م. نصیری محلاتی. ۱۳۸۹. اثر کمپوست زباله شهری و لجن فاضلاب بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.). پژوهش‌های زراعی ایران. جلد۸: ۷۷۱-۷٦۷.

اکبر نژاد، ف.، ع.آستارایی، ا. فتوت و نصیری محلاتی م. ۱۳۹۱. اثر کمپوست زباله شهری و لجن فاضلاب بر خصوصیات شیمیایی خاک. آب و خاک. جلد ۲٦: ۱۳۳۸-۱۳۲۹.

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

خراسانی، ر. ۱۳۸۹. کارایی جذب فسفر در ذرت، چغندر قند و بادام زمینی. آب و خاک. جلد ۲٤: ۱۸۸-۱۸۰.

دورودیان، ح.ر.، ح. بشارتی کلایه، ع. فلاح نصرت آباد، ح. حیدری شریف آباد، ف. درویش و ع. اله وردی. ۱۳۸۹. بررسی امکان تغییر فسفر قابل جذب خاک‌های آهکی و اثر آن بر عملکرد ذرت. دانش نوین کشاورزی. جلد ٦: ۳۵-۲۷.

سیدی، س.م.، پ. رضوانی مقدم، ر. قربانی و م. نصیری محلاتی. ۱۳۹۲. اثرات دوره های مختلف کنترل و تداخل علف‌های هرز بر شاخص‌های رشدی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.). مجله پژوهش‌های زراعی ایران. جلد ۱۱: ٤۲۰-٤۰۸.

سیدی، س.م.، ر. قربانی، پ. رضوانی مقدم و م. نصیری محلاتی. ۱۳۹۱. تأثیر طول دوره تداخل علف‌های هرز بر درصد و کارایی جذب فسفر و پتاسیم سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) و علف‌های هرز آن. حفاظت گیاهان. جلد ۲٦: ۹۱-۸۲.

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

قربانی نصر آبادی، ر.، ن. صالح راستین و علیخانی، ح. ۱۳۸۱. بررسی تاثیر مصرف گوگرد همراه با مایه تلقیح تیوباسیلوس و برادی ریزوبیوم بر تثبیت نیتروژن و شاخص های رشدی سویا. مجله علوم خاک و آب. جلد ۱٦: ۱۷۸-۱٦۹.

کریمی نیا، آ. و م. شعبان پور شهرستانی. ۱۳۸۲. ارزیابی توان اکسایش گوگرد توسط میکروارگانیسم های هتروتروف در خاک‌های مختلف. علوم آب و خاک. جلد ۱۷: ۸۰- ٦۸.

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

یادگاری، م. و ر. برزگر. ۱۳۸۹. تأثیر گوگرد و *تیوباسیلوس* بر قابلیت جذب عناصر غذایی، رشد رویشی و تولید اسانس در بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.). گیاهان دارویی. جلد ۱: ٤۰-۳۵.

Batal, A. B., N. M. Dale and U. K. Saha. 2010. Mineral composition of corn and soybean meal. J. Appl. Poult. Res. 19: 361–364.

Biswas, D. R. and G. Narayanasamy. 2006. Rock phosphate enriched compost: An approach to improve low-grade Indian rock phosphate. Bioresour. Technol. 97: 2243–2251.

D'Antuono, L. F., A. Moretti and A. F. S. Lovato. 2002. Seed yield, yield component, oil content and essential oil content and composition of *Nigalla sativa* L. and *Nigella damascena* L. Ind. Crops Prod. 15: 59–69.

Decuypere, J. D. 2012. Nutrient chart, nuts, grains and seeds chart. http: // www. Healthalternatives 2000. com / nut-seed-nutrition-chart.html

Ghamarnia, H., Z. Jalili and S. Daichin. 2012. The effects of saline irrigation water on different components of black cumin (*Nigella Sativa* L.). Int. J. AgriSci. 2: 915-922.

Ighbal, M. S., A. Ghafoor, A. S. Qureshi, M. Rashid Khan and M. I. Chaudhary. 2009. Quantification and diversity in the black seeds (*Nigella sativa* L.) gene stock of Pakistan for their composition of mineral nutrients. J. Chem. Soc. Pak. 31: 793–800.

Korkmaz, K., H. Ibrikci, E. Karnez, G. Buyuk, J. Ryan, A. C. Ulger and H. Oguz,. 2009. Phosphorus use efficiency of wheat genotypes grown in calcareous soils. J. Plant Nutr. 32: 2094–2106.

Lipman, J. G., H. C. Mc Lean and H. C. Lint. 1916. The oxidation of sulphur in soils as a means of increasing the availability of mineral phosphates. Soil Sci. 1: 533–539.

Liu, H. L., Y. W. Lan and Y. C. Cheng. 2004. Optimal production of sulphuric acid by *Thiobacillus thiooxidans* using response surface methodology. Proc. Biochemist. 39: 1953–1961.

Malhi, S. S., L. K. Haderlein, D. G. Pauly and A. M. Johnston. 2002. Improving fertilizer phosphorus use efficiency. Better Crops 86: 8–9.

Mohammady Aria, M., A. Lakzian, G. H. Haghnia, A. R. Berenji, H. Besharati and A. Fotovat. 2010. Effect of *Thiobacillus*, sulfur, and vermicompost on the water-soluble phosphorus of hard rock phosphate. Bioresour. Technol. 101: 551–554.

Murphy, J. and J. P. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters, Analytica Chimica Acta, 27: 31–36.

Olsen, S. R., C. V. Cole, F. S. Watanabe and L. A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. United States Department of Agriculture, Circular no. 939.

Salimpour, S., K. Khavazi, H. Nadian, H. Besharati and M. Miransari. 2010. Enhancing phosphorous availability to canola (*Brassica napus* L.) using P solubilizing and sulfur oxidizing bacteria. Aust. J. Crop Sci. 4: 330–334.

Salvagiotti, F., J. M. Castellarín, D. J. Miralles and H. M. Pedrol. 2009. Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake. Field Crop Res. 113: 170–177.

Sameni, A. M. and A. Kasraian. 2004. Effect of agricultural sulfur on characteristics of different calcareous soils from dry regions of Iran. II. Reclaiming effects on structure and hydraulic conductivity of the soils under saline-sodic conditions. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 35: 1235–1246.

Sepehr, E., Z. Rengel, E. Fateh and M. R. Sadaghiani. 2012. Differential capacity of wheat cultivars and white lupin to acquire P from rock phosphate, phytate and soluble P sources. J. Plant Nut. 35:1180–1191.

Sepehr, E., M. J. Malakouti, B. Kholdebarin, A. Samadi and N. Karimian,. 2009. Genotypic variation in P efficiency of selected Iranian cereals in greenhouse experiment. Int. J. Plant Prod. 3: 17-28.

Sibbet, S. S. 1995. Managing high pH calcareous, saline, and sodic soils of the Western Pecan growing region. Hort Technol. 5: 222–225.

Veneklaas, E. J., H. Lambers, J. Bragg, P. M. Finnegan, C. E. Lovelock, W. C. Plaxton, C. A. Price, W. Scheible, M. W. Shane, P. J. White and J. A. Raven. 2012. Opportunities for improving phosphorus-use efficiency in crop plants. New Phytol. 195: 306–320.

Vidyalakshmi, R., R. Paranthaman and R. Bhakyaraj. 2009. Sulphur oxidizing bacteria and pulse nutrition- A review. World J. Agric. Sci. 5: 270–278.

Effects of sulfur, vermicompost + *Thiobacilus* bacteria on some chemical properties of calcareous soil and phosphorus use efficiency of black seed

S.M. Seyyedi[1], P. Rezvani Moghaddam[2],M. Khajeh Hossieni[3] and H. Shahandeh[4]

Received: 2014-10-10 Accepted: 2014-11-17

Abstract

In order to investigate the effects of increasing soluble phosphorus on seed production and phosphorus use efficiency of black seed (*Nigella sativa* L.) in a calcareous soil, a greenhouse experiment with three replications was conducted at Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, in 2013. A complete randomized design was used based on factorial arrangement. The fertilizer resources (control, vermi compost, sulfur, vermicompost + sulfur, vermicompost + *Thiobacilus* bacteria, sulfur + *Thiobacilus* bacteria and vermicompost + sulfur + *Thiobacilus* bacteria) and three levels of phosphorus (0, 30 and 60 $kg.ha^{-1}$) were the first and second experimental factors, respectively. Sulfur + *Thiobacilus* bacteria and vermicompost + sulfur + *Thiobacilus* bacteria significantly decreased soil pH (by 0.85 and 0.80) and increased EC and available phosphorus of soil (more than 2.5 times), respectively. in condition of no phosphorus application, sulfur or sulfur + *Thiobacilus* bacteria had significantly effects on increasing the soil available phosphorus. Vermicompost + sulfur + *Thiobacilus* bacteria had the highest total plant dry weight and seed weight per plant. However, the lowest phosphorus uptake efficiency (15.31%) was observed in control treatment. In a calcareous soil, sulfur application individually or in combination with vermicompost treatment can be suitable approach in decreasing the problems caused by applying of chemical phosphorus fertilizers.

Keywords: Electrical conductivity, Phosphorus uptake efficiency, Soil pH, Sulfur oxidation.

[1] PhD. Student of Crop Ecology, Ferdowsi University of Mashhad
[2] Professor Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
[3] Assistant Professor of Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad,
[4] Professor of Department of Soil & Crop Sciences Texas A&M University,USA