Archive of SID

تأثیر کاربرد گوگرد، باکتری‌های *تیوباسیلوس* و فسفر بر عملکرد کلزا و برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک

محمد هادی میرزاپور[1]، کاظم خاوازی و محمد رضا نایینی

مربی پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی قم، سازمان تحقیقات، ترویج و آموزش کشاورزی، تهران، ایران؛ **mhmirzap@yahoo.com**

استاد پژوهش، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، ترویج و آموزش کشاورزی، تهران، ایران؛ **kkhavazi@yahoo.com**

استادیار پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی قم، سازمان تحقیقات، ترویج و آموزش کشاورزی، تهران، ایران؛ **naeini2000@yahoo.com**

دریافت: **95/8/1** و پذیرش: **96/4/12**

چکیده

یکی از مشکلات عمده‌ی خاک‌های آهکی، پایین بودن کارآیی کودهای فسفری در اثر رسوب سریع آنهاست. کاهش pH خاک می‌تواند به حلالیت فسفر کمک کند. به‌منظور بررسی اثر گوگرد و باکتری‌های *تیوباسیلوس* و کود فسفری بر عملکرد کلزا و غلظت برخی عناصر در خاک و گیاه، آزمایشی طی سال زراعی 92-1391 در یک خاک آهکی و فقیر از نظر فسفر، به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار روی کلزا (*Brasica napus* L.) (رقم هایولا-401) اجرا شد. فاکتور اول شامل گوگرد به‌همراه باکتری *تیوباسیلوس* (به‌نسبت 2 درصد وزنی گوگرد) در چهار سطح (صفر، 500، 1000 و 2000) (کیلوگرم در هکتار) به‌صورت گوگرد عنصری دانه‌بندی شده (پاستیلی) و فاکتور دوم شامل سه سطح فسفر (صفر، 72 و 110) (کیلوگرم در هکتار) از منبع سوپرفسفات تریپل بودند. برهمکنشی مثبت و معنی‌دار بین سطوح گوگرد و فسفر مصرف شده در تأثیر بر عملکرد دانه و شاخسار و اجزای عملکرد وجود داشت (5 درصد آزمون دانکن). بالاترین عملکرد دانه و شاخسار با مصرف 2000 کیلوگرم گوگرد (تلقیح شده با باکتری) به‌همراه 110 کیلوگرم فسفر به‌ترتیب معادل 3142 و 12507 کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد که نسبت به شاهد به‌ترتیب 1/9 و 1/5 برابر افزایش عملکرد نشان داد. با افزایش مصرف فسفر در سطوح مختلف گوگرد تلقیح شده با باکتری، غلظت فسفر، روی و آهن اندام هوایی کاهش ولی جذب این عناصر افزایش یافت که در بعضی سطوح گوگرد، معنی‌دار بود. در کلیه‌ی سطوح گوگرد، مصرف فسفر، سبب افزایش روی و آهن قابل جذب خاک شد. مصرف سطوح مختلف گوگرد و فسفر، برهمکنشی معنی‌دار برکاهش معنی‌دار pH خاک پس از برداشت داشت. پایین‌ترین pH خاک در تیمار2000 کیلوگرم در هکتار گوگرد تلقیح شده با باکتری به‌همراه 110 کیلوگرم در هکتار فسفر مشاهده شد که نسبت به شاهد، 5 درصد، کاهش معنی‌دار داشت. با توجه به اثر مثبت و معنی‌دار گوگرد تلقیح شده با باکتری تیوباسیلوس بر افزایش عملکرد دانه از یک سو و کاهش pH خاک از سوی دیگر، مصرف آنها در خاک‌های آهکی قابل توصیه می‌باشد، اگرچه، تعیین مناسب‌ترین دوره‌ی مصرف گوگرد در این خاک‌ها باید مورد مطالعه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: *تیوباسیلوس*، حلالیت فسفر، کلزا، گوگرد

---

[1] نویسنده مسئول، آدرس: سازمان تحقیقات، ترویج و آموزش کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی قم، بخش تحقیقات زراعی-باغی

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

کلزا، یکی از سه محصول روغنی مهم دنیا پس از سویا و نخل است که کیفیت روغن آن بسیار مناسب می‌باشد. حدود 41 درصد روغن تولید شده در ایران از کلزا استحصال می‌شود (بای بوردی، 2010). در حال حاضر، سطحی معادل 93 هزار هکتار از اراضی آبی و دیم کشور، زیر کشت کلزا (بدون نام، 1394) می‌باشد. از مهمترین کشورهای تولید کننده کلزا می‌توان به کانادا، چین و هندوستان اشاره نمود که بیش از 65 درصد کلزای جهان را تولید می‌کنند. اکنون، بیش از 90 درصد روغن مصرفی کشور از خارج وارد می‌شود و این در حالی‌است که سیاست وزارت جهاد کشاورزی، توسعه‌ی کشت دانه-های روغنی (از جمله کلزا) به‌منظور کاهش واردات روغن می‌باشد (بای بوردی، 2010). بر اساس منابع موجود، میانگین فسفر آلی و معدنی خاک برابر 0/06 درصد است که عوامل مختلفی از جمله واکنش خاک (pH)، درصد آهک، میزان مواد آلی، نوع و درصد رس، رطوبت و بافت خاک، تراکم و نیز ترشحات ریشه‌ی گیاه بر قابلیت جذب آن توسط گیاه تأثیرگذار هستند (تیسدال و همکاران، 1993). استفاده از کود سوپر فسفات تریپل در ایران متداول است اما متاسفانه این کود در شرایط آهکی به علت رسوب سریع [در سال اول مصرف تنها 20% محلول است (تیسدال، 1993)] دارای کارآیی اندکی می‌باشد (سلیم پور و همکاران، 2010).

نتایج پژوهش‌های بسیاری حاکی از آن است که می‌توان فسفر نامحلول موجود در خاک (رسوب یافته) را با روش‌هایی، به شکل محلول تبدیل کرد (ورما، 1993). از این روش‌ها می‌توان به استفاده از گوگرد و مواد آلی، مصرف باکتری‌های حل‌کننده فسفات رسوب یافته، به-کارگیری باکتری‌های اکسید کننده‌ی گوگرد و یا کاربرد قارچ‌های آربوسکولار اشاره کرد (چین و همکاران، 1996؛ وسی، 2003، بشارتی و مطلبی فَرد، 1394). نتایج برخی پژوهش‌ها نشان داده، استفاده از ریزجانداران حل کننده فسفات، تا 70 درصد به افزایش محصول کمک کرده (ورما، 1993) و گاه تا 50 درصد، مصرف کودهای فسفری را کاهش داده است (یزدانی و همکاران، 2009).

یکی از عناصر غذایی مهم در تغذیه گیاه، گوگرد می‌باشد. گوگرد در ساخت اسیدهای آمینه و در نهایت پروتئین در گیاه و نیز ساختمان کلروفیل نقشی اساسی دارد (مارشنر، 1995). این عنصر، نقش به‌سزایی در تولید دانه‌های روغنی دارد (سینگ و سینسینوار، 2006). گزارش‌های زیادی در خصوص کمبود گوگرد در اراضی کشاورزی و اثر مثبت مصرف آن بر عملکرد گیاهان ارایه شده است (ورما، 1993؛ گیری و همکاران، 2005). به دلیل وجود شرایط آهکی و قلیایی در غالب خاک‌های ایران، تأثیر مثبت مصرف گوگرد بر عملکرد محصولات کشاورزی مختلف گزارش شده است (سلیم-پور و همکاران، 2010؛ قربانی نصرآبادی، 1380؛ بشارتی و مطلبی‌فرد، 1394). مصرف گوگرد در اراضی کشاورزی، علاوه بر کاهش pH و افزایش حلالیت برخی عناصر غذایی در خاک‌های آهکی، به تأمین گوگرد گیاه به شکل سولفات کمک می‌کند (سینگ و چائودرای، 1997). همچنین، گوگرد، در اصلاح خاک‌های سدیمی و شور-سدیمی، یکی از مواد اصلاح کننده مهم به‌شمار می‌رود (ونکاتاکریشنان و آبرول، 1981). به‌دلیل سرعت اندک اکسایش گوگرد، مصرف همزمان گوگرد و باکتری‌های اکسید کننده‌ی آن، از اهمیت خاصی برخوردار است (کاپلان و ارمان، 1998).

اگرچه گستره‌ی وسیعی از ریزجانداران خاک قادرند گوگرد را اکسید کنند اما، نقش جنس *تیوباسیلوس* از بقیه‌ی آن‌ها بارزتر می‌باشد (تات، 1995). اکسیداسیون گوگرد نیز مانند سایر فرآیندهای زیستی در خاک، تابع شرایط محیطی، از جمله رطوبت، دما، تهویه، واکنش خاک و جمعیت ریزجانداران اکسید کننده‌ی آن می‌باشد (چاپمن، 1989؛ تیسدال و همکاران، 1993). غالب اثرهای مستقیم و غیر مستقیم گوگرد بر ویژگی‌های خاک، به واکنش‌های اکسایشی و کاهشی آن در خاک نسبت داده شده است (جاگی و همکاران، 2005). یکی از نتایج فرآیند اکسیداسیون گوگرد، کاهش موضعی pH خاک در اطراف ریشه گیاهان می‌باشد که این امر به حلالیت عناصر تثبیت شده در خاک (از جمله فسفر، آهن، روی و منگنز) می‌انجامد (سیفوئنتز و لیدمن، 1993). به‌علت سرعت پائین فرآیند اکسیداسیون گوگرد در خاک، تلقیح گوگرد عنصری با *تیوباسیلوس* از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است زیرا با افزایش سرعت اکسیداسیون گوگرد و فراهم شدن شرایط اسیدی حاصل از اکسید شدن آن، می‌توان به حلالیت فسفر موجود در سنگ فسفات، فسفر بومی خاک و در نهایت، افزایش عملکرد گیاه کمک زیادی کرد (روسا و همکاران، 1989). بشارتی و همکاران (1378) گزارش کردند مصرف 0/5 درصد وزنی گوگرد در خاک به‌همراه باکتری *تیوباسیلوس* سبب افزایش غلظت و جذب آهن در ذرت گردید. به‌علاوه، استفاده همزمان گوگرد و باکتری، باعث کاهش معنی‌دار اسیدیته‌ی محیط ریشه شد (بشارتی و همکاران، 1378). در پژوهشی دیگر، سکاری و همکاران (2012) مشاهده کردند که مصرف گوگرد به-

www.SID.ir

Archive of SID

همراه *تیوباسیلوس* سبب افزایش عملکرد کلزا و نیز حلالیت فسفر، آهن و روی در خاک‌های آهکی شده است. نتایج مشابهی توسط بلویی (1387) نیز ارایه گردیده است. در تمامی این پژوهش‌ها، کاهش اسیدیته‌ی محیط اطراف ریشه در اثر استفاده از گوگرد به‌همراه *تیوباسیلوس* مشاهده شده است (آواد و خلیل، 2003). بر اساس نتایج سلیم‌پور و همکاران (2010)، مصرف گوگرد تلقیح شده با *تیوباسیلوس* به همراه سنگ فسفات، باعث افزایش عملکرد دانه و شاخسار کلزا نسبت به عدم مصرف فسفر گردید. این محققان نیز، کاهش اسیدیته‌ی ریشه در اثر اکسید شدن گوگرد را مهم‌ترین عامل در افزایش حلالیت فسفر رسوب یافته در خاک ذکر کرده‌اند. نتایج آذری (1370) نشان داد با مصرف 200 کیلوگرم فسفر در هکتار به‌همراه 3 تن گوگرد در هکتار، بالاترین عملکرد جو به‌دست آمد. جلیلی و همکاران (1379) گزارش نمودند که مصرف 200 کیلوگرم گوگرد عنصری در هکتار باعث افزایش معنی‌دار عملکرد کلزا گردید. در این آزمایش تعداد غلاف‌های نابارور در تیمار فوق کاهش معنی‌داری نشان داد. نتایج تحقیقی دو ساله نشان داد اگرچه مصرف گوگرد تا سطح 600 کیلوگرم در هکتار به‌همراه باکتری *تیوباسیلوس*، تأثیر معنی‌داری بر pH و بی‌کربنات خاک نداشته است اما در سال اول تحقیق، روند کاهشی در مقدار بی‌کربنات خاک مشاهده شد (بشارتی و مطلبی فرد، 1394). به نظر می‌رسد وجود این نتایج متناقض، به شرایط موجود در خاک وابسته باشد؛ از آنجا که فرآیند اکسایش شیمیایی گوگرد عنصری در خاک بسیار کند و تدریجی بوده و میزان اکسیداسیون زیستی گوگرد عنصری به شرایط خاک بستگی دارد، لذا در شرایطی که گوگرد به‌خوبی و با سرعت اکسید شود می‌تواند تأثیر مثبتی بر رشد و عملکرد گیاه داشته باشد (تیسدال و همکاران، 1993).

همچنین، افزایش قابلیت جذب فسفر خاک (نورقلی‌پور و همکاران، 1385) در نتیجه‌ی کاهش موضعی pH خاک در منطقه ریشه، با مصرف گوگرد تلقیح شده با *تیوباسیلوس* نیز گزارش شده است. نتایج برخی پژوهش‌ها نشان داده مصرف گوگرد تلقیح شده، با کاهش موضعی pH خاک در منطقه ریشه، باعث افزایش حلالیت عناصر کم‌مصرف شده و این امر، سبب افزایش قابلیت جذب عناصر کم‌مصرف آهن (بشارتی و همکاران، 1378)، روی (کاپلان و ارمان، 1998) و منگنز (مدیهش و همکاران، 1989) توسط گیاه شده است. اگر چه مصرف گوگرد تلقیح شده با *تیوباسیلوس*، تأثیر مثبت بر عملکرد گیاه دارد اما، میزان گوگرد مصرفی باید با دقت تعیین گردد. به‌طور مثال، نتایج بشارتی و ملک‌زاده (1394) نشان داد با افزایش مقدار گوگرد تا سطحی که با 50 درصد مواد خنثی شونده (معادل آهک) خاک، واکنش دهد، جذب عناصر و شاخص‌های رویشی سویا را بهبود بخشیده و مصرف مقادیر بالاتر گوگرد، احتمالاً به‌دلیل افزایش قابلیت هدایت الکتریکی خاک، اثری منفی و کاهشی خواهد داشت.

در حال حاضر، پالایشگاه گاز شهید هاشمی‌نژاد (خانگیران) به عنوان بزرگ‌ترین قطب تولید گوگرد کشور، سالیانه 600 هزار تن گوگرد عنصری تولید می‌کند که از این مقدار، 200 هزار تن به شکل دانه بندی شده (پاستیلی) درآمده و مابقی آن به صنایع تولید اسید سولفوریک منتقل می‌شود (پایگاه خبری شانا، 1393). با توجه به این حجم عظیم گوگرد از یک سو و آهکی بودن غالب خاک‌های زیر کاشت اکثر محصولات زراعی کشور، از سوی دیگر، در صورت دستیابی به پاسخ مناسب گیاهی در این اراضی، گام مهمی در دستیابی به کشاورزی پایدار برداشته خواهد شد. هدف از اجرای این پژوهش، بررسی امکان استفاده از گوگرد دانه‌بندی شده و تلقیح آن با باکتری اکسید کننده (*تیوباسیلوس*) برای کاهش مصرف فسفر و افزایش عملکرد کلزا و نیز بررسی امکان کاهش اسیدیته‌ی (pH) خاک‌های تیمار شده با این گوگرد و باکتری بود.

مواد و روش‌ها

طی سال زراعی 92-1391، با هدف بررسی اثر سطوح مختلف فسفر و گوگرد تلقیح شده با باکتری اکسیدکننده (*Thiobacillus* sp.) بر عملکرد و برخی ویژگی‌های زراعی کلزا (*Brasica napus* L.)، آزمایشی در مزرعه‌ای با ویژگی‌های خاک و آب (علی‌احیایی و بهبهانی، 1372)، به شرح جدول‌های 1، 2 و 3، واقع در بخش مرکزی استان قم به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. فاکتور اول شامل 4 سطح گوگرد (صفر، 500، 1000 و 2000 کیلوگرم گوگرد عنصری دانه‌بندی شده (پاستیلی) [با نسبت90 درصد گوگرد عنصری و 10 درصد بنتونیت] در هکتار به همراه باکتری اکسید کننده (با نسبت 2 درصد وزنی گوگرد) و فاکتور دوم شامل سه سطح فسفر [صفر، مصرف فسفر بر اساس آزمون خاک (معادل 110 کیلوگرم فسفر در هکتار) و مصرف فسفر به میزان 65 درصد توصیه بر اساس آزمون خاک (خادمی و همکاران، 1379) (معادل 72 کیلوگرم فسفر در هکتار)] از منبع سوپر فسفات تریپل در کلزا، رقم هایولا-401 (Hyola-401) بود. گوگرد دانه‌بندی شده‌ی مورد استفاده، از پژوهشگاه صنعت نفت تهیه شد. مایه تلقیح مورد استفاده شامل

www.SID.ir

Archive of SID

باکتری *Thiobacillus* sp. با جمعیت 5×10^8 سلول در گرم حامل بوده که از موسسه تحقیقات خاک و آب فراهم گردید. مساحت هر کرت 30 متر مربع (3×10 متر) انتخاب شد. مقادیر تیماری گوگرد و فسفر، حین کاشت و به صورت نواری مصرف شد. مصرف نیتروژن، بر مبنای توصیه‌ی کودی موسسه تحقیقات خاک و آب (خادمی و همکاران، 1379) انجام گردید. بر اساس آزمون خاک، عناصر کم‌مصرف آهن و روی در مرحله روزت به صورت محلول‌پاشی و طی دو مرحله (با فاصله دو هفته) در کلیه تیمارها مصرف شدند. در مرحله 50% گلدهی (خادمی و همکاران، 1379)، تعداد 8 بوته در هر کرت (معادل یک متر مربع) انتخاب شد و پس از جدا کردن از محله طوقه (کف‌بُر کردن)، ضمن اندازه‌گیری وزن تر و خشک اندام هوایی (به‌مدت 48 ساعت در دمای 65 درجه سانتی گراد در آون تا رسیدن به وزن ثابت)، غلظت‌های فسفر، روی و آهن اندازه گرفته شدند (امامی، 1375). آن-گاه از حاصل‌ضرب غلظت عناصر فوق در وزن خشک اندام هوایی، میزان جذب هر کدام به‌دست آمد. همچنین، در انتهای فصل، تعداد10 بوته در دو ردیف وسط داخل هر کرت برای اندازه‌گیری ارتفاع، تعداد خورجین در هر بوته، تعداد دانه در خورجین، طول خورجین، وزن هزار دانه، تعداد خورجین در شاخه اصلی و فرعی انتخاب شدند. برای تعیین عملکرد دانه و شاخسار، برداشت نهایی از تیمارهای هر کرت، از دو ردیف وسط کرت‌ها و با حذف نیم‌متر از حاشیه‌ها و بالا و پایین کرت‌ها انجام شده و سپس عملکرد کاه (شاخسار) و دانه در سطح برداشتی محاسبه و به هکتار تبدیل گردید. به‌علاوه، در پایان فصل، از تمامی تکرارهای تیمارهای آزمایشی، یک نمونه خاک از عمق 30-0 سانتیمتری برداشته شد و اسیدیته و نیز غلظت فسفر قابل جذب و آهن و روی قابل عصاره‌گیری با دی-تی-پی-ای با استفاده از روش‌های متداول آزمایشگاهی اندازه‌گیری شد (علی‌احیایی و بهبهانی، 1372). داده‌ها پس از مرتب شدن، با استفاده از نرم افزارهای SAS و MSTATC مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفته و مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه دانکن در سطح 5% انجام شد. شکل‌ها نیز با استفاده از نرم افزار Excel رسم گردیدند.

جدول 1 ـ نتایج تجزیه شیمیایی خاک سطحی قبل از کاشت

عمق سانتیمتر	pH	EC_e دسی‌زیمنس برمتر	TNV %	OC %	P_{ava}	K_{ava}	بافت خاک
			درصد		میلی‌گرم در کیلوگرم		
0-30	8/1	2/75	20/0	0/60	3/0	480	لوم

جدول 2- نتایج تجزیه عناصر غذایی کم مصرف خاک قبل از کاشت (میلی‌گرم در کیلوگرم)

عمق سانتیمتر	Fe	Zn	Cu	Mn
0_30	3/2	0/4	1/8	10/8

جدول 3- نتایج شیمیایی تجزیه آب آبیاری (میلی اکی‌والان در لیتر)

EC_w دسی‌زیمنس برمتر	pH	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{--}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	SAR*
2/3	7/8	1/5	13/7	7/8	5/9	4/9	12/2	5/25

* نسبت جذب سدیم $(Na/\sqrt{Ca^{2+}+Mg^{2+}/2})$

نتایج و بحث

عملکرد و اجزای عملکرد

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌های آزمایش نشان داد سطوح مختلف فسفر و گوگرد، اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه، شاخساره و نیز اجزای عملکرد، نظیر ارتفاع بوته، تعداد خورجین در هر بوته، تعداد دانه در خورجین، طول خورجین، وزن هزار دانه، تعداد خورجین در شاخه اصلی و فرعی در سطح 5 درصد آزمون دانکن داشته است (جدول 4).

www.SID.ir

Archive of SID

بررسی نتایج اثر متقابل فسفر و سطوح مختلف گوگرد تلقیح شده با باکتری نشان داد برهمکنش مثبت و معنی‌داری بین این سطوح در خصوص عملکرد و اجزای عملکرد دانه مشاهده گردید (جدول 6) به‌طوری که مصرف فسفر در کلیه سطوح گوگرد باعث افزایش این مقادیر شد که این افزایش در برخی سطوح گوگرد در سطح 5 درصد آزمون دانکن معنی‌دار بود (جدول 6). بالاترین عملکرد شاخساره و دانه کلزا در سطح 2000 کیلوگرم گوگرد و 110 کیلوگرم فسفر در هکتار به‌دست آمد (شکل 1). اگرچه بین مقادیر فسفر مصرف شده در سطح 2000 کیلوگرم گوگرد در هکتار، اختلاف معنی‌داری در خصوص عملکرد شاخساره و دانه مشاهده نگردید (شکل 1). بالاترین عملکرد دانه و شاخسار با مصرف 2000 کیلوگرم گوگرد (تلقیح شده با باکتری) به‌همراه 110 کیلوگرم فسفر به‌ترتیب معادل 3141 و 12507 کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد که نسبت به شاهد به‌ترتیب 1/9 و 1/5 برابر افزایش عملکرد نشان داد. این در حالی‌است که متوسط عملکرد کشور در سال زراعی مورد آزمایش 2079 کیلوگرم در هکتار و برای استان قم، 1860 کیلوگرم در هکتار بوده است. در منطقه مورد آزمایش نیز متوسط عملکرد 2000 کیلوگرم گزارش گردیده است. همانگونه که در شکل 1 مشاهده می‌شود، عملکرد دانه از حدود 1650 کیلوگرم (شاهد) آغاز می‌گردد. متأسفانه در سال‌های منتهی به 1392، مصرف کودهای شیمیایی به علت گرانی، توسط کشاورزان بسیار محدود بوده و مبنای مصرف، آزمون خاک نبوده است. با توجه به رسوب کودهای فسفری و تثبیت پتاسیم در خاک های آهکی از یک طرف (مارشنر، 1995) و برداشت از خاک توسط محصول از طرف دیگر، تخلیه عناصر ضروری پتاسیم و فسفر در این خاک ها اتفاق افتاده بوده است و بنابراین، مصرف 2000 کیلوگرم گوگرد (تلقیح شده با باکتری) به‌همراه 110 کیلوگرم فسفر، سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه و شاخسار کلزا گردید.

نتایج پژوهش محققان نشان داده که فسفر در کلزا، از طریق افزایش رشد شاخه‌ها و خورجین‌های گیاه، عملکرد دانه را افزایش می‌دهد که این افزایش رشد و عملکرد، به جذب بیشتر نیتروژن و گوگرد (حتی بیش از کود دهی نیتروژن) نسبت داده شده است (لیو و همکاران، 2009). از آن‌جا که در خاک مورد آزمایش، فسفر قابل جذب، بسیار پایین‌تر از حد بحرانی برای کلزا بود (خادمی و همکاران، 1379)، بنابراین، با مصرف میزان توصیه شده فسفر بر اساس آزمون خاک، بالاترین عملکرد دانه به‌دست آمد که در واقع با افزایش اجزای عملکردی، به‌ویژه تعداد خورجین در شاخه فرعی، طول خورجین و تعداد پنجه در متر مربع، این امر محقق گردید.

علت تأثیر مثبت گوگرد، مربوط نقش گوگرد در ساخت اسیدهای آمینه و در نهایت پروتئین در گیاه و نیز نقش اساس آن در ساختمان کلروفیل می‌باشد (مارشنر، 1995). نتایج آزمایش حاضر، با یافته‌های سایر محققان هم‌خوانی دارد (سوندرا و همکاران، 2002؛ اسکوفیلد، 1981، سان و همکاران، 2006، سلیم‌پور و همکاران، 2010، گوپتا و همکاران، 2012 و آذرمی و همکاران، 1392، بشارتی و همکاران، 2007؛ سکاری و همکاران، 2012). به نظر می‌رسد مصرف گوگرد به همراه *تیوباسیلوس*، علاوه بر کاهش اسیدیته‌ی (pH) محیط ریشه، به افزایش حلالیت فسفر، آهن و روی کمک کرده و همین امر سبب جذب بهتر این عناصر و در نتیجه، بهبود رشد و عملکرد دانه و شاخسار کلزا شده‌است (بشارتی و همکاران (1378).

در مجموع، نتایج به‌دست آمده از این تحقیق، اثرهای مثبت و معنی‌دار فسفر و گوگرد و نیز برهمکنش این‌دو عنصر بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا را تأیید می‌نماید و در واقع با نتایج سایر محققان مطابقت دارد، اما نکته‌ی مهم آن است که بر اساس نتایج پژوهش حاضر، مصرف 2000 کیلوگرم گوگرد در هکتار به‌همراه تیوباسیلوس، به تنهایی و بدون مصرف فسفر، توانسته است بالاترین عملکرد دانه و شاخسار را تولید کند و این نشان دهنده‌ی نقش معنی‌دار گوگرد در خاک‌های آهکی در بهبود شرایط شیمیایی خاک (عمدتاً pH خاک و افزایش قابلیت جذب برخی عناصر در اثر انحلال) دارد. بنابراین، اگرچه نتایج بیشتر پژوهش‌ها نشان از تأثیر مثبت و گاه معنی‌دار مصرف سنگ فسفات به‌همراه باکتری‌های حل کننده‌ی فسفات و یا همراه با باکتری‌های اکسید کننده گوگرد دارد، نتایج آزمایش حاضر نشان داد بدون استفاده از سنگ فسفات و تنها با مصرف گوگرد به‌همراه *تیوباسیلوس* می‌توان فسفر نامحلول موجود در خاک (رسوب یافته) را به شکل قابل جذب برای گیاه فراهم نمود که در واقع موید برخی پژوهش‌ها می‌باشد (رمضان‌پور و همکاران، 1391).

غلظت و جذب فسفر، روی و آهن در گیاه

نتایج تجزیه واریانس اثر فسفر و گوگرد بر غلظت فسفر، روی و آهن گیاه، نشان‌دهنده‌ی اثر معنی‌دار گوگرد و فسفر بر این غلظت‌ها (به‌جز فسفر) و نیز برهمکنش فسفر و گوگرد فقط بر غلظت آهن گیاه بود (جدول 5).

www.SID.ir

Archive of SID

در کلیه سطوح گوگرد مصرفی، افزایش مصرف فسفر، سبب کاهش معنی‌دار غلظت روی و آهن گیاه شد (جدول 7). به نظر می‌رسد اثر ضدیتی (آنتاگونیستی) بین روی و آهن با فسفر در این خصوص مؤثر باشد. بررسی‌ها نشان داده روی و آهن می‌توانند با فسفات، ترکیب شده و ترکیباتی نامحلول ایجاد کنند و به این طریق از میزان جذب روی و آهن توسط گیاه کاسته شود (مارشنر، 1995). از آن‌جا که ایجاد رسوب فسفات روی و آهن در تمامی مراحل جذب و انتقال (در خاک، از خاک به ریشه، ریشه به اندام هوایی و داخل برگ) اتفاق می‌افتد و از طرفی بررسی خاک پس از برداشت نشان دهنده‌ی افزایش روی و آهن قابل جذب در تیمارهای فسفر بوده، بنابراین به نظر می‌رسد رسوب فسفات روی و آهن در ریشه اتفاق افتاده و از انتقال روی و آهن به اندام هوایی جلوگیری شده است. همچنین، با افزایش مصرف فسفر در سطوح مختلف گوگرد تلقیح شده با باکتری، جذب فسفر، روی و آهن اندام هوایی افزایش یافت که در بعضی سطوح گوگرد، معنی‌دار بود (شکل 2).

کاهش غلظت روی و آهن در سطوح مختلف گوگرد و فسفر، احتمالاً مربوط به اثر رقت بوده است (مارشنر، 1995) و از سوی دیگر، برهمکنش آنها باعث افزایش جذب دو عنصر مزبور گردید (شکل 2-ب و 2-ج) که این امر بیان‌گر برهمکنش مثبت فسفر و گوگرد بر عملکرد ماده خشک گیاه و به‌دنبال آن افزایش جذب می‌باشد.

برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک پس از برداشت

نتایج تجزیه واریانس اثر فسفر و گوگرد بر pH، فسفر، روی و آهن قابل جذب خاک نشان‌دهنده‌ی اثر معنی‌دار این تیمارها بر موارد فوق بود (جدول 5). برهمکنش فسفر و گوگرد بر مقادیر فوق نیز، تنها بر آهن و pH خاک در سطح 5 درصد آزمون دانکن معنی‌دار شد (جدول 5). مصرف فسفر و گوگرد سبب کاهش معنی‌دار اسیدیته‌ی (pH) خاک گردید (اطلاعات ارایه نشده است). برهمکنشی مثبت و معنی‌دار (در سطح 5 درصد آزمون دانکن) از مصرف گوگرد و فسفر در کاهش pH خاک مشاهده شد (جدول 8)، به‌طوری‌که با افزایش سطح گوگرد و فسفر مصرف شده، اسیدیته‌ی خاک کاهش یافت، اگرچه این کاهش در سطوح بالای گوگرد (1000 و 2000 کیلوگرم گوگرد در هکتار) چشمگیرتر بود (جدول 8). پایین‌ترین pH خاک در تیمار2000 کیلوگرم در هکتار گوگرد تلقیح شده با باکتری به‌همراه 110 کیلوگرم در هکتار فسفر مشاهده شد که نسبت به شاهد، کاهشی 5 درصدی داشت. به‌نظر می‌رسد در اثر فعالیت *تیوباسیلوس* در طی فرآیند اکسیداسیون گوگرد، با تولید اسید سولفوریک، pH خاک کاهش یابد (وسی، 2003). بررسی روی و آهن قابل جذب خاک پس از برداشت نشان داد که با افزایش مصرف فسفر، اگرچه انتظار می‌رود روی و آهن قابل جذب خاک کاهش یابد اما، با وجود گوگرد که نقش معنی‌داری در کاهش pH محیط ریشه داشته، به فسفات روی و آهن، فرصت رسوب نداده و لذا، قابلیت جذب روی و آهن در خاک و گیاه افزایش معنی-داری یافته است.

در سطح صفر گوگرد، افزایش سطح فسفر مصرفی سبب افزایش فسفر قابل جذب خاک گردید ولی در سایر سطوح گوگرد، با افزایش مصرف فسفر، مقدار فسفر قابل جذب خاک کاهش یافت (جدول 8). دلیل کاهش فسفر قابل جذب خاک در تیمارهای فسفر و گوگرد، افزایش برداشت آن توسط گیاه می‌باشد، و در واقع با افزایش برداشت فسفر خاک، افزایش عملکرد دانه و شاخسار در این تیمار مشاهده شده ولی در نتیجه‌ی آن کاهش فسفر خاک اتفاق افتاده است.

در کلیه‌ی سطوح گوگرد، افزایش سطح فسفر مصرف شده سبب افزایش روی و آهن قابل جذب خاک شد (جدول 8). به نظر می‌رسد مهم‌ترین عاملی که در افزایش قابلیت جذب فسفر، روی و آهن در خاک مؤثر باشد، کاهش pH خاک است (مارشنر، 1995) که این مهم توسط فعالیت باکتری‌های اکسیدکننده‌ی گوگرد اتفاق افتاده است (مک‌کریدی و کراس، 1982؛ ساها و سینگ، 1987؛ جاگی و همکاران، 2005).

علت آن‌که غلظت آهن و روی بر خلاف فسفر افزایش یافته، احتمالاً مربوط به میزان جذب این عناصر باشد، به‌طوری که میزان نیاز گیاه به آهن و روی (به دلیل کم نیاز بودن)، بسیار کمتر از میزان نیاز فسفری گیاه بوده و لذا، گیاه، مقادیر بیشتری از فسفر خاک را جذب کرده و بنابراین، غلظت فسفر قابل جذب گیاه در مقایسه با دو عنصر دیگر کاهش یافته است (مارشنر، 1995).

www.SID.ir

Archive of SID

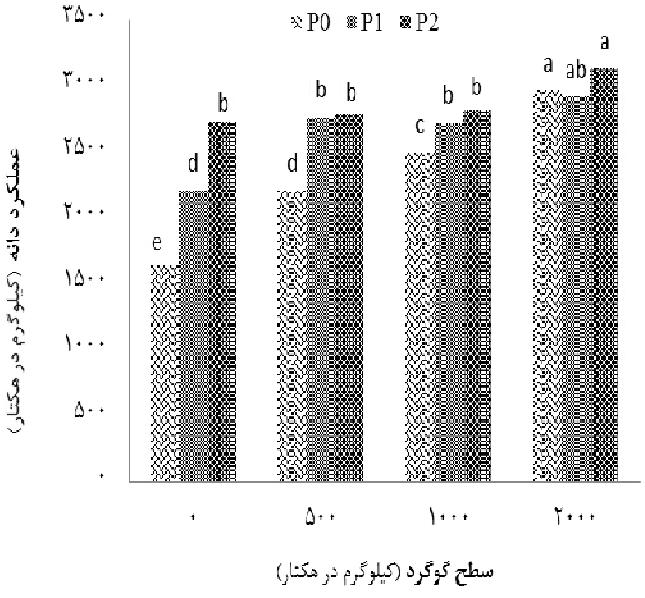
جدول 4- جدول تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف فسفر، گوگرد و اثرهای متقابل آن‌ها بر عملکرد دانه و شاخساره و برخی از ویژگی‌های زراعی کلزا

منبع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد کاه	عملکرد دانه	ارتفاع	تعداد پنجه	طول خورجین	تعداد دانه در خورجین	وزن هزار دانه	تعدادخورجین در شاخه اصلی	تعداد خورجین در شاخه فرعی
بلوک	2	15972	7641	1/6	0/33	0/02	0/05	0/14	0/19	7/4*
فسفر	2	199161**	467035**	89*	100**	0/47**	4/4**	0/22**	148**	647**
گوگرد	3	1462176**	1177553**	268**	332**	0/11*	3/5**	0/42**	191**	971**
فسفر× گوگرد	6	167860**	331407**	5/8	12/7**	0/07*	0/21*	0/07*	5	23**
خطای آزمایش	22	32667	16651	4	0/4	0/03	0/07	0/02	0/74	0/75
CV%	-	5/8	5/2	9/1	4/1	4/2	9/0	6/3	6/4	6/1

** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح 1 درصد و 5 درصد آزمون دانکن

جدول 5- جدول تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف فسفر، گوگرد و برهمکنش آن‌ها بر غلظت برخی عناصر در گیاه کلزا و خاک پس از برداشت (** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح 1 درصد و 5 درصد آزمون دانکن)

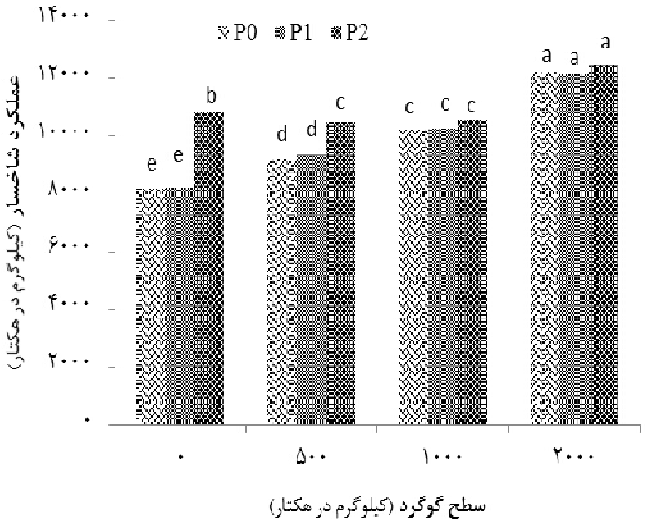
منبع تغییرات	درجه آزادی	گیاه			خاک			
		فسفر	روی	آهن	pH	فسفر	روی	آهن
بلوک	2	0/004*	11	84**	0/0005	3**	0/017**	0/32**
فسفر	2	0/0005	204**	691**	0/017**	3**	0/15**	5**
گوگرد	3	0/004*	36**	511**	0/091**	5**	0/17**	9**
فسفر× گوگرد	6	0/0008	12	767**	0/015**	21**	0/07**	2**
خطای آزمایش	22	0/0011	5/8	23/7	0/0016	0/33	0/002	0/05
CV%	-	9/1	8/3	6/3	5/5	6/5	10/3	6/0



(الف)

www.SID.ir

Archive of SID



(ب)

(P0، P1 و P2 به‌ترتیب مقادیر صفر، 72 و 110 کیلوگرم فسفر در هکتار)

میانگین‌های با حروف یکسان، اختلاف معنی‌داری در سطح 5 درصد آزمون دانکن ندارند

شکل 1- برهمکنش سطوح مختلف فسفر و گوگرد بر عملکرد دانه (الف) و شاخسار کلزا (رقم هایولا- 401) (ب)

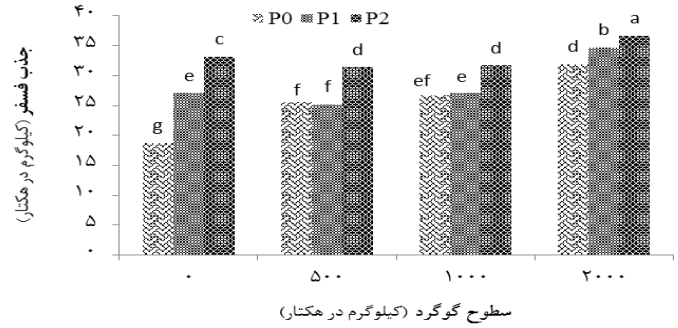
جدول 6- اثر متقابل سطوح مختلف فسفر و گوگرد بر اجزای عملکرد کلزا (رقم هایولا- 401)

سطح گوگرد (کیلوگرم در هکتار)	سطح فسفر (کیلوگرم در هکتار)	تعداد پنجه در متر مربع	طول خورجین (سانتیمتر)	تعداد دانه در خورجین	وزن هزار دانه (گرم)	تعداد خورجین در شاخه فرعی
0	0	36/3^{g}	6/67^{c}	27/2^{f}	3/26^{i}	152/0^{h}
500		40/3^{e}	7/22^{a}	28/3^{e}	3/60^{h}	159/3^{g}
1000		43/3^{d}	6/8^{c}	28/5^{e}	3/77^{fg}	169/3^{d}
2000		47/3^{b}	6/81^{c}	29/0^{cd}	3/87^{d}	174/0^{c}
0	72	37/7^{f}	6/87^{bc}	28/1^{e}	3/43^{efg}	162/7^{f}
500		43/3^{d}	7/25^{a}	28/6de	3/77^{g}	163/7^{f}
1000		45/7^{c}	7/21^{a}	29/3^{c}	3/70^{c}	176/0^{c}
2000		56/0^{a}	7/14^{ab}	29/8^{ab}	3/60^{b}	184/3^{b}
0	110	42/7^{d}	7/33^{a}	29/1^{c}	3/50^{ef}	171/0^{d}
500		45/3^{c}	7/23^{a}	29/1^{c}	3/87^{e}	166/3^{e}
1000		45/3^{c}	7/23^{a}	29/4^{bc}	3/80^{b}	185/3^{b}
2000		56/7^{a}	7/33^{a}	30/1^{a}	4/27^{a}	190/7^{a}

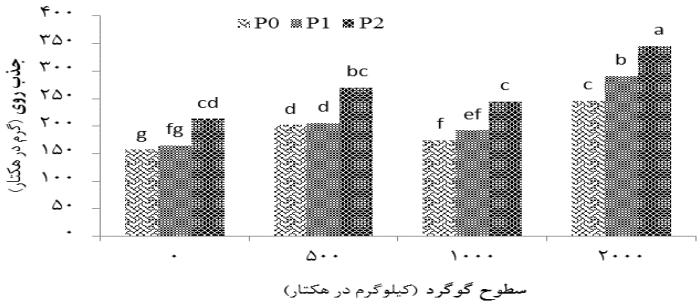
- در هر ستون مقادیر با حروف یکسان، اختلاف معنی‌داری در سطح 1 درصد آزمون دانکن ندارند

www.SID.ir

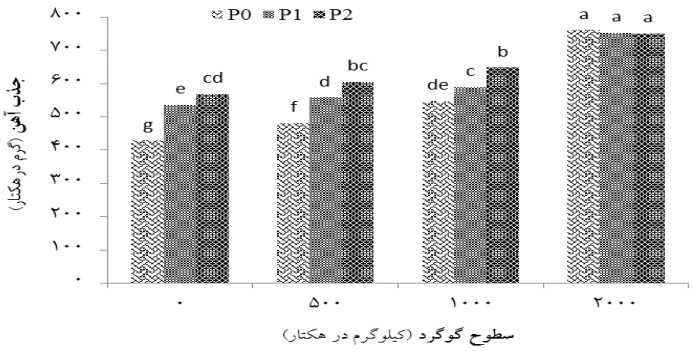
Archive of SID



(الف)



(ب)



(ج)

(P0، P1 و P2 به‌ترتیب مقادیر صفر، 72 و 110 کیلوگرم فسفر در هکتار)

شکل 2- برهمکنش سطوح مختلف گوگرد و فسفر بر جذب فسفر (الف) روی (ب) و آهن (ج) در اندام هوایی کلزا (رقم هایولا- 401)

(میانگین‌های با حروف یکسان، اختلاف معنی‌داری در سطح 5 درصد آزمون دانکن ندارند)

www.SID.ir

Archive of SID

جدول 7- اثر متقابل فسفر و گوگرد بر غلظت برخی عناصر کلزا (رقم هایولا- 401)

سطح گوگرد (کیلوگرم در هکتار)	سطح فسفر (کیلوگرم در هکتار)	فسفر (درصد ماده خشک)	روی (میلی‌گرم در کیلوگرم)	آهن (میلی‌گرم در کیلوگرم)
0	0	0/39^{ab}	32/8^{b}	111/7^{a}
500		0/38^{b}	32/4^{b}	65/6^{f}
1000		0/37^{bc}	31/2^{b}	69/7^{ef}
00		0/36^{c}	38/6^{a}	85/9^{b}
0	72	0/41^{a}	25/3^{e}	65/3^{f}
500		0/39^{ab}	28/3^{c}	49/0^{g}
1000		0/39^{c}	26/8^{d}	83/1^{bc}
2000		0/39^{ab}	31/5^{b}	76/6^{d}
0	110	0/42^{a}	24/0^{cd}	71/9^{e}
500		0/39^{ab}	24/1^{f}	83/5^{bc}
1000		0/38^{b}	25/1^{e}	80/6^{c}
2000		0/39^{ab}	26/2de	80/0^{c}

- در هر ستون، مقادیر با حروف یکسان، اختلاف معنی‌داری در سطح 5 درصد آزمون دانکن ندارند

جدول 8- اثر متقابل سطوح مختلف فسفر و گوگرد بر برخی ویژگی‌های خاک پس از برداشت

سطح گوگرد (کیلوگرم در هکتار)	سطح فسفر (کیلوگرم در هکتار)	pH	فسفر (میلی‌گرم در کیلوگرم)	روی (میلی‌گرم در کیلوگرم)	آهن (میلی‌گرم در کیلوگرم)
0	0	7/76^{a}	5/4^{f}	0/08^{f}	1/1^{g}
500		7/68^{b}	11/2^{ab}	0/47^{c}	3/4^{d}
1000		7/46^{cd}	10/7^{bc}	0/47^{c}	3/2^{ef}
2000		7/42^{d}	11/0^{b}	0/45^{cd}	5/0^{b}
0	72	7/65^{bc}	11/0^{b}	0/11^{e}	2/9^{f}
500		7/67^{b}	9/1^{cd}	0/41^{d}	3/3^{ef}
1000		7/45^{cd}	7/6^{e}	0/41^{d}	3/5^{d}
2000		7/42^{d}	9/8^{c}	0/56^{b}	5/2^{ab}
0	110	7/65^{bc}	11/8^{a}	0/40^{d}	4/0^{c}
500		7/59^{c}	7/3^{ef}	0/42^{d}	3/4^{d}
1000		7/45^{cd}	9/0^{d}	0/54^{b}	5/8^{a}
2000		7/40^{e}	7/3^{ef}	0/69^{a}	5/8^{a}

در هر ستون، میانگین‌های با حروف یکسان، اختلاف معنی‌داری در سطح 5 درصد آزمون دانکن ندارند

مقادیر سطوح فسفر و گوگرد برحسب کیلوگرم در هکتار است.

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج پژوهش حاضر، بالاترین عملکرد دانه و اجزای عملکردی، با مصرف 2000 کیلوگرم گوگرد تلقیح شده با باکتری *تیوباسیلوس* به‌همراه مصرف 110 کیلوگرم فسفر در هکتار به‌دست آمد که نسبت به شاهد (عدم مصرف گوگرد و فسفر)، 1/9 برابر افزایش عملکرد داشت. به‌علاوه، بین سطوح مختلف فسفر در سطح 2000 کیلوگرم گوگرد تلقیح شده با باکتری *تیوباسیلوس* در خصوص عملکرد دانه، اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. همچنین، در تیمار فوق (مصرف 2000 کیلوگرم گوگرد تلقیح شده با باکتری *تیوباسیلوس* به‌همراه مصرف 110 کیلوگرم فسفر در هکتار)، pH خاک پس از برداشت، کاهش 5 درصدی نسبت به شاهد نشان داد. بنابراین، با توجه به تأثیر مثبت مصرف 2000 کیلوگرم گوگرد تلقیح شده با باکتری *تیوباسیلوس*، با وجود حذف کود فسفری، از یک‌سو و کاهش pH خاک و در نتیجه افزایش قابلیت دسترسی فسفر، روی و آهن از سوی دیگر، و با در نظر گرفتن اثر مثبت آن بر افزایش معنی‌دار عملکرد دانه کلزا، مصرف این میزان گوگرد تلقیح شده در شرایط آهکی

www.SID.ir

Archive of SID

فوق و بدون مصرف کود فسفری، قابل توصیه می‌باشد. دوره‌ی مصرف گوگرد پیشنهاد می‌گردد.
اگرچه، پژوهش‌های تکمیلی، برای تعیین مناسب‌ترین

فهرست منابع:

1. آذرمی، ف.، م.ج. ملکوتی، و ک. خاوازی. 1392. تأثیر تلقیح ریزجانداران حل کننده فسفات در افزایش کارایی و درصد بازیافت کودهای فسفاتی در کلزا. مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب) 27(4) : 507-499.
2. آذری، م.ح. 1370. اثر گوگرد بر قابلیت جذب فسفر خاک. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج، ایران.
3. امامی، ع. 1375. روش‌های تجزیه گیاه. موسسه تحقیقات خاک و آب. نشریه فنی982 ، کرج، ایران.
4. بدون نام. 1394 . آمار نامه کشاورزی .جلد اول .محصولات زراعی و باغی سال زراعی 93-1392. دفتر آمار و فناوری اطلاعات، معاونت برنامه ریزی و امور اقتصاد. وزارت جهاد کشاورزی.
5. بشارتی، ح.، ی. کوچک‌زاده، م.ج. ملکوتی و ک. خاوازی. 1378. نقش گوگرد و باکتری *تیوباسیلوس* در فراهم سازی فسفر در زراعت ذرت. مجله خاک و آب 12 (24): 39-28.
6. بشارتی، ح. و ر. مطلبی‌فرد. 1394. ارزیابی تأثیر کاربرد گوگرد و باکتری *تیوباسیلوس* بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک و عملکرد کلزا در تناوب گندم-کلزا در دو سال متوالی. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) 29 (6): 1698-1688.
7. بشارتی، ح. و ط. ملک‌زاده،. 1394. تأثیر گوگرد و *تیوباسیلوس* بر رشد و جذب برخی عناصر غذایی گیاه سویا در چهار خاک آهکی با ظرفیت بافری متفاوت. پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب) الف- 29 (2):146-131.
8. بلویی، ف. 1387. اثر *مایکوریزا* و *تیوباسیلوس* بر ویژگی‌های کمی و کیفی سویا، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زراعت. دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران.
9. جلیلی، ف.، م.ج. ملکوتی و ر. کسرایی. 1379. نقش تغذیه متعادل بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزای زمستانه در منطقه خوی. مجله علوم خاک و تجزیه گیاه 30 (2-1): 234-221.
10. خادمی، ز.، ح. رضایی، م.ج. ملکوتی و پ. مهاجر میلانی. 1379. تغذیه بهینه کلزا. نشر آموزش کشاورزی.
11. رمضان‌پور، م.ح.، ه. اسدی رحمانی و ک. خاوازی. 1391. بررسی تأثیر گونه‌های مختلف باکتری سودوموناس بر عملکرد، اجزای عملکرد و جذب فسفر سه رقم برنج. مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب) 26(3) : 288-277.
12. علی احیایی، م. و ع.ا. بهبهانی زاده. 1372. شرح روش‌های تجزیه شیمیایی خاک .نشریه فنی شماره .893 ، موسسه تحقیقات خاک وآب. تهران، ایران. 129 صفحه.
13. قربانی نصرآبادی، ر.1380. بررسی تأثیر کود میکروبی گوگرد بر توان تثبیت بیولوژیک نیتروژن در سیستم همزیستی سویا -بردی ریزوبیوم ژاپنیکوم. پایان نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.
14. نورقلی پور، ف.، م. لطف اللهی و م.ج. ملکوتی. 1384 . روش‌های بهبود جذب عناصر غذایی در خاکهای آهکی قسمت دوم. نشریه فنی 465 . مؤسسه تحقیقات خاک و آب. انتشارات سنا. تهران، ایران.
15. Awad, N.M. and K. Khalil. 2003. Bio fertilization of squash plants grow in sulphur rectified sandy soil with *Streptomyces venzulane* mutant and/or *Thiobacillus thiooxidans*. Bulletin of National Research Center (NRC), Egypt. 28 (6): 685-694.
16. Bybordi, A. 2010. Effects of salinity on yield and component characters in canola (*Brassica napus* L.) cultivars. Notulae Scientia Biologicae 2 (1): 81-83.

www.SID.ir

Archive of SID

17. Chapman, S. J. 1989. Oxidation of micronized elemental sulfur in soil. Plant and Soil, 116:69- 76.
18. Chein S.H., R.G. Menon, K. Billingham. 1996. Phosphorus availability from phosphate rock as enhanced by water soluble phosphorus. Soil Science Society of America Journal 60: 1173-1177.
19. Cifuentes, F. R. and W. C. Lindemann. 1993. Organic matter stimulation of elemental sulfur oxidation in calcareous soil. Soil Science Society of America Journal 57: 727-731.
20. Giri, P.R., V.S. Khawale, W.S. Power, and A.B. Sonawalle. 2005. Effect of phosphorous and sulphur application on growth and yield of mustard. Journal of Soils and Crops 15 (2): 445-451.
21. Jaggi, R.C., M.S. Aulakh and R. Sharma. 2005. Impacts of elemental S applied under various temperature and moisture regimes on pH and available P in acidic, neutral and alkaline soils. Biology and Fertility of Soils 41:52-58.
22. Kaplan, M. and S. Orman. 1998. Effect of elemental sulfur and sulfur containing waste in a calcareous soil in Turkey. Journal of Plant Nutrition 21: 1655- 1665.
23. Liu, H., C. Hu, X. Sun, Q. Tan, Z. Nie, J. Su, J. Liu and H. Huang. 2009. Interactive effects of molybdenum and phosphorus fertilizers on grain yield and quality of *Brassica napus L.* Journal of Food, Agriculture and Environment 7 (3&4): 266 - 269.
24. Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London.
25. McCready, R.G.L. and H.R. Krouse. 1982. Sulfur isotope francization during the oxidation of elemental sulfur by *Thiobacillus* in a solonetzic soil. Canadian Journal of Soil Science 92:105-110.
26. Miransari, M. and D.L. Smith. 2007. Overcoming the stressful effects of salinity and acidity on soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] nodulation and yields using signal molecule genistein under field conditions. Journal of Plant Nutrition 30:1967-1992.
27. Modaihsh, S., W.A. Al-mustafa and A. E. Metwally. 1989. Effect of elemental sulfur on chemical changes and nutrient availability in calcareous soils. Plant and Soil 116:95-101.
28. Rosa, M.C., J.J. Muchovej and J.V.H. Alwarez. 1989. Temporal relations of phosphorus fractions in an oxisol amended with rock phosphate and *Thiobacillus thiooxidans*, Soil Science Society of America Journal 53:1096-1100.
29. Sagare, B., S. Rewatker and P. Shawghare. 1988. Micronutrient harvest by peanut as influenced by sulfur and phosphorus application in vertisol soils, Annual Review of Plant Physiology 2(2): 187-192.
30. Saha, M. and H. Singh. 1987. Effect of sulphur on prevention of iron chlorosis and plant composition of groundnut on alkaline calcareous soil. Journal of Agricultural Science 109(1): 73-77.
31. Sakari, A., M.R. Ardakani and K. Khavazi. 2012. Effect of *Azospiillum lipoferum* and *Thiobacillus thioparus* on Quantitative and Qualitative Characters of Rapeseed (*Brassica napus* L.) Under Water Deficit Conditions. Middle-East Journal of Scientific Research 11 (6): 819-827.
32. 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. Australian Journal of Crop Science 4(5):330-334.
33. Schofield, P.E., P. Gregg and J.K. Syers. 1981. Biosuper as a phosphate fertilizer: A glasshouse evaluation. New Zealand Journal of Experimental Agriculture 9:63-67.
34. Shana news agency. 2014. Available at http://www.shana.ir/fa/newsagency/225574/05071393.
35. Singh, A. L., and V. Chaudhari. 1997. Sulfur and micronutrient of groundnut in a calcareous soil. Journal of Agronomy Crop Science 179: 107- 114.

www.SID.ir

Archive of SID

36. Singh, R. and B.S. Sinsinwar. 2006. Effect of integrated nutrient management on growth, yield, oil content and nutrient uptake of Indian mustard. Agricultural Science 76 (5): 324-332.
37. Son, T.T.N., C.N. Diep and T.T.M. Giang. 2006. Effect of bradyrhizobia and phosphate solubilizing bacteria application on soybean in rotational system in the Mekong delta. OmonRice Journal 14: 48-57.
38. Sundara, B., V. Natarajan and K. Hari. 2002. Influence of phosphorus solubilizing bacteria on the changes in soil available phosphorus and sugarcane and sugar yields. Field Crop Research 77: 43-49.
39. Tate, R. L. 1995. The sulfur and related biogeochemical cycle, P. 359-372, In: Soil Microbiology, John Willey.
40. Tisdale, S.L., W.L. Nelson, J.D. Beaton and J.L. Havlin. 1993. Soil fertility and fertilizers. 5th ed. Mcmillon Publishing Co., New York.
41. Venkatakrishanan, S. and I. P. Abrol. 1981. Amelioration of a sodic soil through *Thiobacilli* inoculation and pyrite application. Journal of the Indian Society of Soil Science 29: 526-529.
42. Verma, L.N. 1993. Biofertiliser in agriculture. pp. 152-183.In: P.K. Thampan (Ed.). Organics in soil health and crop production. Peekay Tree Crops Development Foundation, Cochin, India.
43. Vessey, J.K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. Plant and Soil 255: 571–586.
44. Yazdani M., M.A. Bahmanyar, H. Pirdashti and M.A. Esmaili. 2009. Effect of Phosphate solubilization microorganisms (PSM) and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield and yield components of Corn (*Zea mays L.)*. Proc. World Academy of Science, Engineering and Technology 37:90-92.

www.SID.ir

Archive of SID

Effect of Sulfur, *Thiobacillus* and Phosphorous application on Canola Yield and Some Soil Chemical Characteristics

M. H. Mirzapour[1], K. Khavazi, and M. R. Naeini

Research Lecturer, Qom Research and Education Center of Agriculture and Nature Resources, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran; E-mail: mhmirzap@yahoo.com

Research Professor, Soil and water institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran; E-mail: kkhavazi@yahoo.com

Research Assistant Professor, Qom Research and Education Center of Agriculture and Nature Resources, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran; E-mail: naeini2000@yahoo.com

Received: October, 2016 & Accepted: July, 2017

Abstract

One of the major problems in calcareous soils is low efficiency of phosphorous (P) fertilizers due to rapid precipitation. Lowering soil pH is mentioned as a solution for solubility of precipitated P. In order to investigate the effect of sulfur (S) and *thiobacillus* sp. bacteria and P fertilizer on canola (*Brasica napus* L. cv. Hayola-401) yield and nutrient concentrations in soil and plant, an experiment was carried out during cropping season 2012-13, in a calcareous soil which was generally poor in P content. The experimental factors were designed in a complete randomized blocks with factorial arrangement in three replicates. The first factor consisted of S, in 4 levels (0, 500, 1000 and 2000 $kg.ha^{-1}$) as pastille form as elemental sulfur with sulfur oxidizing bacteria (in 2% rate of sulfur weight) and the second factor including 3 P levels (0, 72 and 110) $kg.ha^{-1}$)as triple superphosphate. There was a positive and significant interaction between S and P levels on seed and aerial part yield and yield component ($p<0.05$). The maximum seed and aerial part yield was obtained with applying 2000 $kg.ha^{-1}$ S (inoculated with *Thiobacillus* sp. bacteria) along with 110 $kg.ha^{-1}$ P by 3141 and 3710 $kg.ha^{-1}$ respectively in which showed 1.9 and 1.5 fold increase in comparison with control. With increasing P applied in each inoculated S levels, aerial P, Zinc (Zn) and iron (Fe) concentration decreased but their uptake increased which in some S levels were much more notable. Increasing P applied in all S levels, raised Zn and Fe available in soil. Applying different levels of S and P had significant interaction in lowering of soil pH after harvesting. The minimum pH of soil was observed in combined use of S (2000 $mgkg^{-1}$) and P (110$mgkg^{-1}$) which had a 5% decrease compared to the control. According to the positive and significant effect of sulfur inoculated with oxidizing *Thiobacillus* sp. bacteria on increasing seed yield, in one side, and lowering soil pH, in the other side, application of them recommend in calcareous soils. Although, determining of the optimal period of sulfur application in these soils should be investigated.

Keyword: Canola, Phosphorous Solubility, Sulfur, *Thiobacillus* sp.

[1]. Corresponding author: Horticulture Crops Research Department, Qom Research and Education Center of Agriculture and Nature Resources, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

www.SID.ir