

روند تغییرات ویژگی‌های خاک و عملکرد کلزا در تناوب با ذرت در اثر تیمارهای گوگرد

محمود رضا رمضانپور^{۱*}، هادی اسدی رحمانی^۲، ولی اله رامنه^۳، پرستو مجیدیان^۴

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۰۳)

چکیده

هدف از این تحقیق بررسی تأثیر کود گوگرد همراه با تیوباسیلوس بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا و برخی خصوصیات شیمیایی خاک در تناوب با ذرت طی سه سال متوالی بود. این تحقیق در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با هفت تیمار گوگردی با مقادیر مختلف صفر، ۷۵۰، ۱۵۰۰ و ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار در سه تکرار انجام شد. تیمارها به خاک دو هفته قبل از کاشت اضافه شدند. نمونه‌برداری‌های خاک به صورت دو ماهه و چهار ماهه انجام شد و اندازه‌گیری‌ها شامل میزان شوری، اسیدیته و سولفات خاک و بعد از برداشت محصول شامل صفات میزان EC (شوری)، pH (اسیدیته)، SO_4^{2-} (سولفات)، Fe (آهن)، Zn (روی)، Mn (منگنز)، P (فسفات)، N (نیترژن) و K (پتاسیم) و صفات زراعی گیاه شامل وزن هزار دانه، ارتفاع بوته، تعداد دانه در خورجین، تعداد خورجین در بوته و عملکرد بودند. نتایج نشان داد که با افزایش مقادیر کودهای گوگرد، عملکرد دانه، تعداد دانه در خورجین و تعداد خورجین در بوته افزایش معنی‌داری طی سه سال متوالی پیدا کردند. علاوه بر این، با گذشت زمان، روند تغییرات ویژگی‌های شیمیایی خاک شامل سولفات، پتاسیم و نیترژن خاک بهبود یافت و باعث کاهش تغییرات این عناصر در خاک گردید. به علاوه، در نمونه‌برداری‌های دوماهه و چهار ماهه از خاک، روند افزایشی میزان شوری و اسیدیته خاک در اثر تیمارهای مختلف گوگرد طی سال‌های متوالی مشاهده شد، اما این صفات بعد از برداشت کلزا تغییرات معنی‌داری نشان ندادند. بر اساس نتایج بدست آمده می‌توان پیشنهاد کرد که تناوب زراعی و استفاده از کود گوگرد اثر مثبتی بر ویژگی‌های شیمیایی خاک و عملکرد محصول زراعی خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: تیوباسیلوس، دانه‌های روغنی، کود

رمضانپور م.ر.، اسدی رحمانی ه.، رامنه و.ا.، مجیدیان پ.ا. ۱۴۰۱. روند تغییرات ویژگی‌های خاک و عملکرد کلزا در تناوب با ذرت در اثر تیمارهای گوگرد. تحقیقات کاربردی خاک، جلد ۱۰، شماره ۳، صفحه: ۶۶-۷۷.

۱- استادیار، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران

۲- استادیار، بخش تحقیقات بیولوژی خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران

۳- دانشیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران

۴- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران

* پست الکترونیک: mramezanpour@yahoo.com

مقدمه

کلزا با نام علمی (*Brassica napus* L.) یکی از مهم‌ترین دانه‌های روغنی در سطح جهان و مهم‌ترین گونه زراعی جنس براسیکا می‌باشد که پس از سویا و نخل روغنی جایگاه سومین منبع تولید کننده روغن را به خود اختصاص داده است (Baybordi, 2010). عمده‌ترین کشورهای تولیدکننده این محصول در جهان به ترتیب چین، کانادا و هندوستان می‌باشند که بیش از ۶۵ درصد کلزای جهان را تولید می‌کنند (Li et al., 2019). کلزا یکی از معدود گیاهان روغنی است که به علت قابلیت رویش در درجه حرارت‌های پایین می‌تواند در مناطق سرد و معتدل مرتفع به صورت پاییزه کشت شود. کلزا جزو گیاهان روز بلند بوده و در تاریخ کاشت به موقع می‌تواند به خوبی رشد کرده و استقرار یابد (Weese et al., 2015). در میان استان‌های مختلف، استان مازندران دومین استان تولیدکننده کلزا در کشور محسوب می‌شود که در سال ۹۷ با تولید ۳۲۰۰۰ تن در هکتار نقش مهمی در تولید و تأمین روغن کشور ایفاء کرده است. کشت کلزا در مازندران به دلیل سازگاری مناسب این گیاه به شرایط آب و هوایی منطقه، داشتن جایگاه ویژه بین محصولات پاییزه گندم و جو به ویژه در سال‌های خشکسالی و داشتن پتانسیل کشت دوم بعد از برداشت برنج، باعث بالا بردن درآمد زارعین، اثرات مثبت اجتماعی و اقتصادی در منطقه شده است. بنابراین، مهم‌ترین هدف اصلاح ارقام کلزا از نظر افزایش عملکرد دانه و میزان روغن می‌باشد که این صفات تحت تأثیر عوامل ژنتیکی، تغذیه مناسب، ویژگی‌های فیزیولوژیک رشد و نمو و به‌زراعی قرار می‌گیرند (Rameeh et al., 2019).

نحوه تغذیه کلزا نیز یکی دیگر از عوامل تأثیرگذار بر عملکرد دانه، درصد روغن و کیفیت دانه آن می‌باشد. روغن کلزا تنها روغن خوراکی است که حاوی اسیدهای چرب گوگرددار است. قسمت عمده ترکیب اسیدهای چرب روغن کلزا را اسیدهای چرب غیر اشباع تشکیل می‌دهد (Ohara et al., 2009). نسبت نیتروژن به گوگرد در گیاهان روغنی از اهمیت خاصی برخوردار است، به طوری که برای تولید حداکثر عملکرد نسبت N/S در مرحله گل‌دهی کلزا باید ۱۲ باشد و در صورت کمبود میزان گوگرد سبب کاهش طول

رشته اسیدهای چرب و در نتیجه اسید اولئیک در شرایط کمبود گوگرد افزایش می‌یابد (Mansoori, 2012). استفاده از کودهای شیمیایی معدنی سریع‌ترین راه برای تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه می‌باشد (Zaidi et al., 2003). در میان عناصر غذایی مختلف، گوگرد یکی از عناصر غذایی پر مصرف و ضروری برای گیاه می‌باشد که کمبود آن نه تنها عملکرد را در نتیجه تغذیه نامناسب کاهش می‌دهد، بلکه ارزش کیفی محصولات مانند درصد پروتئین و درصد روغن را نیز می‌کاهد (Malhi & Gill, 2007). گوگرد جزو تشکیل‌دهنده ترکیبات مختلف از جمله اسیدهای آمینه نظیر سیستئین، متیونین و پروتئین‌های حاصل از آن‌ها می‌باشد (Tabasi et al., 2017). گوگرد در تشکیل کلروفیل، ترکیبات فعال‌کننده آنزیم‌ها، سنتز بیوتین، ویتامین B، و فتوسنتز نقش دارد. گوگرد در فرم آلی احیاء شده در آنتی‌اکسیدان‌های گلوکاتیون و آسکوربات وجود دارد که سبب کاهش سمیت رادیکال‌های اکسیژن و پراکسید هیدروژن می‌شود (Poisson et al., 2019). در مطالعه‌ای، اثر غلظت‌های مختلف گوگرد در مرحله قبل از گل‌دهی بر روی کلزا بررسی شد که نتایج حاکی از افزایش عملکرد دانه و درصد روغن بود (Jankowski et al., 2020). در مطالعه دیگر، اثر تیمارهای مختلف گوگرد بر عملکرد، میزان پروتئین و روغن کلزا بررسی شد. نتایج نشان داد که با افزایش ۲۰ گیلوگرم در هکتار گوگرد، محتوای روغن دانه و همچنین محتوای پروتئین افزایش یافت (Ahmad et al., 2007).

به طور معمول، استفاده از فاکتور تغذیه‌ای با کودهای بیولوژیکی یا تسریع‌کننده‌ها سبب پویایی بیشتر عناصر شیمیایی در خاک می‌شوند. طیف وسیعی از میکروارگانیسم‌ها نظیر باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد قادر به اکسیداسیون گوگرد می‌باشند که خود طیف وسیعی از گروه‌های مختلف باکتری‌ها را شامل می‌شوند. از مهم‌ترین باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد می‌توان به باکتری جنس *Thiobacillus*، *Thiospharea*، *Solfolobus*، *Thiobacterium* اشاره کرد (Pourbabaee et al., 2020). به علاوه، به دلیل سرعت پایین اکسیداسیون گوگرد در خاک می‌توان از باکتری تیوباسیلوس جهت افزایش فرآیند

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر کود گوگرد همراه با باکتری تیوباسیلوس بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا در تناوب با ذرت، آزمایشی در استان مازندران در ایستگاه دشت ناز ساری اجرا شد. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار از سال ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۵ اجرا گردید. با توجه به تناوب کلزا-ذرت در منطقه، ابتدا کاشت کلزا رقم هایولا ۴۰۱ و بعد از برداشت آن، کاشت ذرت رقم ۶۰۴ در یک قطعه زمین انجام گردید. تیمارهای آزمایش شامل ۱- شاهد بدون مصرف گوگرد در کشت اول (کلزا) و بدون مصرف گوگرد در کشت دوم (ذرت)، ۲- با مصرف ۷۵۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار به همراه دو درصد باکتری در کشت اول (کلزا) و بدون مصرف گوگرد در کشت دوم (ذرت)، ۳- با مصرف ۱۵۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار به همراه دو درصد باکتری در کشت اول (کلزا) و بدون مصرف گوگرد در کشت دوم (ذرت)، ۴- مصرف ۳۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار به همراه دو درصد باکتری در کشت اول (کلزا) و بدون مصرف گوگرد در کشت دوم (ذرت)، ۵- بدون مصرف گوگرد در کشت اول (کلزا) و مصرف ۷۵۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار به همراه دو درصد باکتری در کشت دوم (ذرت)، ۶- بدون مصرف گوگرد در کشت اول (کلزا) و مصرف ۱۵۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار به همراه دو درصد باکتری در کشت دوم (ذرت)، ۷- بدون مصرف گوگرد در کشت اول (کلزا) و مصرف ۳۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار به همراه دو درصد باکتری در کشت دوم (ذرت) بودند. نمونه‌برداری از خاک قبل از کاشت، دو ماه و چهار ماه بعد از کاشت انجام و خصوصیات فیزیکوشیمیایی شامل pH، EC، SO_4^{2-} ، Fe، Zn، Mn، P، N و K بر اساس روش‌های استاندارد مؤسسه خاک و آب اندازه‌گیری شد (جدول ۱). با توجه به نتایج آنالیز خاک و در نظر گرفتن حداکثر پتانسیل تولید کلزا در منطقه، میزان کودهای مورد نیاز بر اساس آزمون خاک تعیین شدند.

اکسیداسیون و در نهایت افزایش عملکرد گیاه استفاده کرد. برای مثال، در گزارشی مصرف گوگرد به همراه باکتری تیوباسیلوس سبب افزایش عملکرد کلزا و نیز حلالیت فسفر، آهن و روی در خاک‌های آهکی شده است (Sakari *et al.*, 2012). در مطالعه‌ای، کاهش اسیدیته محیط اطراف ریشه در اثر استفاده از گوگرد تلقیح شده با باکتری تیوباسیلوس بررسی شد (Awad *et al.*, 2011). خان و همکاران طی یک آزمایش گلخانه‌ای، تأثیر تلقیح خاک با باکتری تیوباسیلوس تیواکسیدانس را بر عملکرد سورگوم و میزان جذب فسفر آن مورد بررسی قرار دادند. نتایج آزمایش آن‌ها نشان داد که تلقیح مخلوط گوگرد و خاک فسفات با باکتری تیوباسیلوس موجب کاهش سریع pH گردیده و فسفر قابل دسترس موجود در خاک را افزایش داد (Khan *et al.*, 2020). رحمان (۲۰۱۲) اثر سولفور و باکتری تیوباسیلوس را بر صفات کمی و کیفی کلزا بررسی کرد. نتایج بیانگر کاهش pH خاک و افزایش مواد ریزمغذی، عملکرد دانه و درصد روغن بود (Rahimiyan, 2012).

عامل دیگری که بر فاکتورهای تغذیه‌ای خاک می‌تواند موثر باشد و سبب افزایش عملکرد محصول زراعی گردد، اثر تناوب زراعی محصولات مختلف می‌باشد که به عنوان یکی از مدیریت‌های خاک به شمار می‌آید. هرناندز و همکاران نیز اثرات معنی‌دار تناوب زراعی بر پایداری خاکدانه‌ها را گزارش کردند (Kulczycki & Sacala, 2020). کشت ممتد یک محصول مانند گندم و جو اغلب به علت کاهش خالص برگشت بقایای گیاهی به خاک موجب کاهش کربن آلی و افت نفوذپذیری خاک می‌شود که این امر ممکن است به علت کاهش پایداری خاکدانه‌ها، تسریع در پراکندگی ذرات خاک و انسداد سطحی در طول بارندگی‌ها باشد (Ball *et al.*, 2005). با توجه به خواص گوگرد در روند تغذیه‌ای، اصلاحی خاک و در نتیجه بهبود رشد کلزا، هدف از این پژوهش، بررسی اثرات مصرف توام تلقیح باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد در سطوح مختلف تیمارهای گوگردی بر روی شاخص‌های رشد کلزا و برخی خصوصیات شیمیایی خاک در تناوب با ذرت در نظر گرفته شد.

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی خاک مزرعه مورد آزمایش قبل از کاشت

Table 1. The results of chemical analysis of soil in the field studied before cultivation

Field depth	EC	pH	SO ₄ ⁻²	Fe	Zn	Mn	P	N	K
cm	dS.m ⁻¹		meq.l ⁻¹		mg.kg ⁻¹			%	mg.kg ⁻¹
0-30	0.57	7.73	7.75	12.00	2.00	8.80	6.20	0.12	426

نتایج و بحث

نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف گوگردی بر میزان شوری، اسیدیته و سولفات خاک عناصر خاک در نمونه برداری دو و چهار ماهه از خاک طی سه سال متوالی نشان داد که بیشترین میزان شوری خاک در نمونه برداری دو ماهه و چهار ماهه از خاک به ترتیب در اثر تیمارهای دوم (با مصرف ۷۵۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار به همراه دو درصد باکتری در کشت اول (کلزا) و بدون مصرف گوگرد در کشت دوم (ذرت) سال سوم برابر با ۱/۳۸ و تیمار هفتم (بدون مصرف گوگرد در کشت اول (کلزا) و مصرف ۳۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار به همراه دو درصد باکتری در کشت دوم (ذرت) سال سوم برابر با ۱/۳۱ دسی زیمنس بر متر بود. بیشترین میزان اسیدیته خاک در نمونه برداری‌های دو ماهه و چهار ماهه از خاک به ترتیب در تیمارهای شاهد برابر با ۷/۹۱ و تیمار پنجم (بدون مصرف گوگرد در کشت اول (کلزا) و مصرف ۷۵۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار به همراه دو درصد باکتری در کشت دوم (ذرت) سال دوم برابر با ۷/۷۰ به دست آمد (جدول ۲، شکل ۱). بیشترین میزان سولفات خاک در نمونه برداری چهارماهه از خاک در اثر تیمار هفتم (بدون مصرف گوگرد در کشت اول (کلزا) و مصرف ۳۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار به همراه دو درصد باکتری در کشت دوم (ذرت) سال سوم برابر با ۳۴۴/۷۶۷ حاصل شد (جدول ۲، شکل ۱). بر اساس نتایج به دست آمده، تغییرات شوری در نمونه برداری‌های دو ماهه و چهار ماهه در طی سه سال متوالی در مقایسه با نتایج آزمون خاک قبل از اعمال تیمار روند افزایشی داشته در حالی که، اثر تیمارهای گوگردی بر میزان شوری خاک بعد از برداشت کلزا معنی دار نشده است (جدول ۲، شکل ۱). به علاوه، اثر تیمارهای مختلف گوگردی بر میزان اسیدیته خاک حاکی از عدم تغییر بارز اسیدیته خاک در مقایسه با نتایج آزمون خاک قبل از اعمال تیمارهای گوگردی بود.

منابع کودی شامل اوره، سوپر فسفات تریپل و کلرور پتاسیم بود. نیاز کود اوره بر اساس نتایج تجزیه خاک ۲۰۰ کیلوگرم بود که قبل از کشت مقدار ۸۰ کیلوگرم اوره در هکتار بطور یکنواخت برای تیمارها مصرف شد. باقیمانده کود مورد نیاز در دو نوبت پایان روزت (ابتدای طولیل شدن ساقه) و در مرحله غنچه دهی (قبل از گل دهی) مصرف شد. سوپر فسفات تریپل به میزان ۱۰۰ کیلوگرم مورد استفاده قرار گرفت. گوگرد مورد نیاز برای اعمال تیمارها دو هفته قبل از کاشت به خاک اضافه گردید. برای اعمال تیمارهای گوگردی، ابتدا گوگرد و باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد به خوبی با هم مخلوط شدند و سپس به کرت مورد نظر اضافه و پس از مخلوط شدن یکنواخت با خاک، متعاقباً خطوط کشت تعیین شدند. هنگام برداشت و به منظور تعیین عملکرد دانه کلزا -با احتساب حذف یک متر از طرفین- برداشت انجام شد. صفاتی نظیر تعداد خورجین در هر بوته و تعداد دانه در خورجین و وزن هزار دانه کلزا و ارتفاع بوته نیز بررسی شدند.

همچنین، صفات مرتبط با خاک از جمله میزان EC (شوری)، pH (اسیدیته)، SO₄⁻² (سولفات)، Fe (آهن)، Zn (روی)، Mn (منگنز)، P (فسفات)، N (نیتروژن) و K (پتاسیم) اندازه گیری شدند. در نهایت در مرحله برداشت تجزیه کامل از تمام تیمارها صورت گرفت. پس از آن بر اساس نقشه آزمایش، تیمارهای گوگردی اعمال و کشت ذرت انجام شد. نمونه‌های خاک هم برداشت و نتایج عملکرد وزن تر و خشک ارایه شد. به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم افزار SAS version 9.1 استفاده گردید و مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن انجام و نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel رسم گردیدند.

محصول، کاهش pH خاک‌های آهکی و نیز افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی نشان داده شده است که با نتایج تحقیق حاضر هم راستا می‌باشد (Hernandez *et al.*, 2002).

همچنین، میزان سولفات خاک در طی سال‌های متوالی در نمونه‌برداری‌های چهارماهه و بعد از برداشت محصول کلزا روند افزایشی داشت. در تحقیقات گذشته اثرات مفید کاربرد گوگرد در خاک‌های زیر کشت، مانند افزایش عملکرد

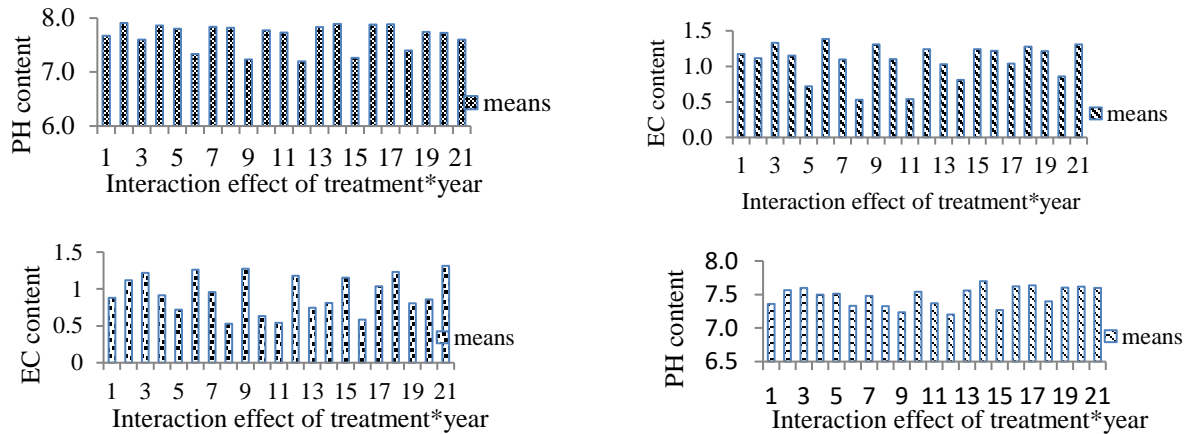
جدول ۲- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف گوگردی بر میزان شوری، اسیدیته و سولفات خاک در نمونه‌برداری دو و چهار ماهه از خاک طی سه سال متوالی

Table 2. The mean comparison of the effect of different sulfur treatment on EC, PH and SO₄⁻² contents in two and four months sampling of soil during three consecutive years

Number	Treatments	Soil Salt		Soil Acidity		Soil sulfate
		Two months	Four months	Two months	Four months	Four months
1	11	1.173 abc	0.88 defgh	7.67 ef	7.36 cdef	10.517 g
2	12	1.116 bc	1.11 abcde	7.91 a	7.56 abcd	9.327 g
3	13	1.333 ab	1.21 ab	7.60 f	7.60 abc	117.667 f
4	21	1.153 abc	0.91 cdefgh	7.86 abcd	7.49 abcde	13.153 g
5	22	0.720 fg	0.72 ghij	7.80 abcde	7.51 abcd	11.880 g
6	23	1.386 a	1.26 a	7.33 gd	7.33 def	132.733 e
7	31	1.096 bcd	0.95 bcdefg	7.83 abcd	7.48 abcde	13.913 g
8	32	0.540 g	0.53 j	7.82 abcde	7.32 def	14.567 g
9	33	1.306 ab	1.27 a	7.23 h	7.23 f	183.067 d
10	41	1.100 bcd	0.63 hij	7.77 abcde	7.54 abcd	14.543 g
11	42	0.540 g	0.54 j	7.73 cdef	7.37 cdef	16.530 g
12	43	1.240 abc	1.18 abc	7.20 h	7.20 f	195.800 d
13	51	1.030 bcd	0.74 ghij	7.83 abcd	7.56 abcd	10.513 g
14	52	0.810 ef	0.81 fghij	7.89 ab	7.70 a	9.777 g
15	53	1.243 abc	1.15 abcd	7.26 gh	7.26 ef	226.967 c
16	61	1.216 abc	0.58 ij	7.88 abcd	7.62 ab	10.977 g
17	62	1.036 cde	1.03 abcdef	7.88 abc	7.63 ab	9.720 g
18	63	1.276 abc	1.23 ab	7.40 g	7.40 bcdef	268.933 b
19	71	0.213 abc	0.80 fghij	7.74 bcdef	7.60 abc	11.330 g
20	72	0.856 def	0.85 efghi	7.72 def	7.61 abc	8.697 g
21	73	1.310 ab	1.31 a	7.60 f	7.60 abc	344.767 a

اعداد ۱ و ۲ در ستون تیمار به ترتیب بیانگر سال اول و دوم می‌باشند و اعداد سمت چپ در ستون تیمار به ترتیب تیمارهای گوگردی براساس آنچه در بخش مواد و روش توضیح داده شد، را نشان می‌دهند. حروف مشابه در هر ستون مرتبط با صفات تفاوت معنی‌دار را نشان نمی‌دهند.

The numbers 1 and 2 in columns indicate the first and second years, respectively and the numbers in treatment column expresses the sulfur treatment based on what was explained in material and methods section. The same character in each column related to trait exhibit no significant difference



شکل ۱- اثر تیمارهای مختلف گوگردی بر روند تغییرات شوری، اسیدیته و سولفات خاک دو و چهار ماه بعد از نمونه‌برداری طی سه سال متوالی
 Figure 1. The effect of different sulfur treatments on EC, PH and SO_4^{2-} contents in two and four months sampling of soil during three consecutive years

در کشت اول (کلزا) و مصرف ۷۵۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار به همراه دو درصد باکتری در کشت دوم (ذرت) در سال دوم (تیمار ۵۲) به دست آمد (جدول ۳، شکل ۲). همچنین، بیشترین میزان نیتروژن خاک در اثر تیمار ۱۵۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار به همراه دو درصد باکتری در کشت اول (کلزا) و بدون مصرف گوگرد در کشت دوم (ذرت) در سال دوم (تیمار ۳۲) مشاهده شد (جدول ۳، شکل ۲). نتایج به دست آمده از اثر متقابل سال و تیمارهای اعمال شده در این تحقیق بیانگر افزایش میزان فاکتورهای شیمیایی خاک در طی سال‌های دوم به بعد می‌باشد که می‌تواند نشان‌دهنده اثر مثبت تناوب زراعی بر افزایش این صفات باشد. در مطالعه مشابه، اثرات تناوب زراعی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و عملکرد گندم دیم بیانگر این نکته بود که کشت ممتد گندم به جای گندم-نخود یا گندم-آیش، ریسک پس روی اراضی و به خصوص در طولانی مدت زوال کیفیت خاک را به همراه خواهد داشت (Narula *et al.*, 1972). در مطالعه دیگر، اثر روش‌های مختلف تناوب زراعی و کوددهی بر صفات کلزا و فعالیت میکروبی خاک در طی سه سال بررسی شد. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار نیتروژن دانه (۳۴/۲ میلی‌گرم بر گرم)، محتوای گوگرد (۴/۴۳ میلی‌گرم بر گرم)، و کمترین نسبت N/S در تناوب کود سبزه به دست آمد (Mohammadi *et al.*, 2011).

براساس یافته‌های به دست آمده از این تحقیق، نتایج مقادیر EC، pH، Zn، Mn و P در نمونه‌های خاک پس از برداشت محصول و صفات ارتفاع بوته و وزن هزار دانه بیانگر آن بود که تأثیر تیمارهای مختلف بر مقدار این صفات در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نگردد. در حالی که، میزان سولفات، آهن، نیتروژن و پتاسیم خاک و اجزای عملکرد کلزا از جمله تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و عملکرد دانه تحت تأثیر تیمارهای مختلف گوگرد به همراه باکتری تیوباسیلوس در سطح احتمال ۵ درصد در طی سه سال متوالی معنی‌دار شدند. عدم تأثیر گوگرد بر شاخص‌های مذکور احتمالاً به دلیل عدم اکسیداسیون کافی گوگرد در خاک می‌باشد. در برخی تحقیقات مصرف مقادیر زیاد گوگرد در خاک‌های آهکی کاهش معنی‌دار pH و بیکربنات را به دنبال داشته است (Kalbasi *et al.*, 1998).

نتایج به دست آمده از مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف گوگردی بر میزان فاکتورهای خاک بعد از برداشت کلزا طی سه سال متوالی نشان داد که تیمار بدون مصرف گوگرد در کشت اول (کلزا) و مصرف ۳۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار به همراه دو درصد باکتری در کشت دوم (ذرت) در سال سوم (تیمار ۷۳) بیشترین تأثیر را بر میزان سولفات و پتاسیم خاک به ترتیب به میزان ۳۱۹/۵۰ و ۳۴۰/۰۰ نسبت به شاهد داشت (جدول ۳، شکل ۲). بیشترین میزان آهن خاک در اثر تیمار بدون مصرف گوگرد

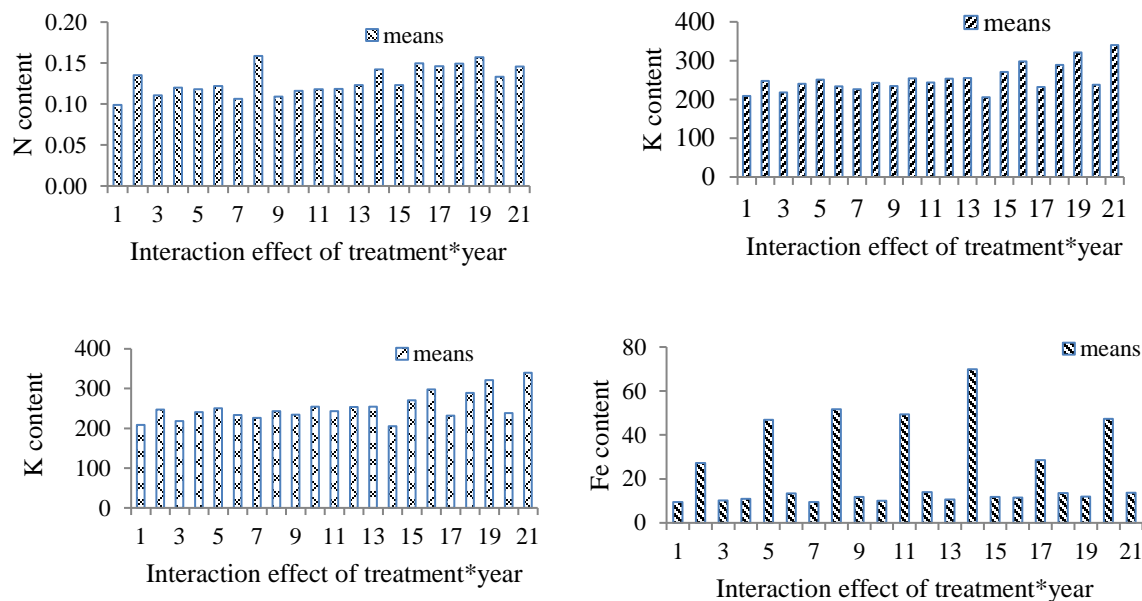
جدول ۳- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف گوگردی بر عناصر خاک و صفات مورفولوژیکی بعد از برداشت کلزا طی سه سال متوالی

Table 3. The mean comparison of different sulfur treatments on soil elements and morphological traits after canola harvest during three consecutive years

Row	Treatments	Sulfate meq l ⁻¹	Iron mg kg ⁻¹	Nitrogen %	Potassium mg kg ⁻¹	Number of capsule in plant	Number of seed in plant	Yield kg ha ⁻¹
1	11	88.00 ^j	9.49 ^d	0.10 ^f	208.58 ^f	198.33 ^{fg}	27.33 ^{ef}	2066.33 ^{efghi}
2	12	3.30 ^k	27.23 ^c	0.14 ^{abcde}	247.60 ^{cdef}	203.00 ^{efg}	32.00 ^{bcd}	1620.00 ⁱ
3	13	110.73 ^{ij}	10.23 ^d	0.11 ^{ef}	218.00 ^{ef}	190.33 ^g	53.00 ^a	2151.00 ^{defghi}
4	21	121.27 ^{hij}	10.99 ^d	0.12 ^{cdef}	240.62 ^{def}	230.33 ^{bcd}	28.67 ^{def}	2363.67 ^{bcd}
5	22	7.17 ^k	46.95 ^b	0.12 ^{def}	250.90 ^{cdef}	212.33 ^{defg}	30.33 ^{cde}	1678.33 ^{hi}
6	23	127.83 ^{ghij}	13.40 ^d	0.12 ^{bcd}	233.33 ^{ef}	226.67 ^{bcd}	30.33 ^{cde}	2589.00 ^{bcde}
7	31	169.47 ^{efgh}	9.54 ^d	0.11 ^{ef}	226.23 ^{ef}	246.00 ^{abc}	29.67 ^{de}	2818.00 ^{ab}
8	32	7.30 ^k	51.64 ^b	0.16 ^a	243.00 ^{cdef}	225.67 ^{bcd}	32.00 ^{bcd}	2160.00 ^{defghi}
9	33	178.00 ^{efg}	11.83 ^d	0.11 ^{ef}	234.67 ^{def}	237.67 ^{abcd}	30.67 ^{cde}	2717.33 ^{abc}
10	41	178.00 ^{efg}	10.10 ^d	0.12 ^{ef}	254.54 ^{cdef}	220.00 ^{cdefg}	29.67 ^{de}	2588.00 ^{bcde}
11	42	9.24 ^k	49.43 ^b	0.12 ^{def}	243.30 ^{cdef}	245.00 ^{abc}	31.67 ^{bcd}	2490.00 ^{bcd}
12	43	191.20 ^{def}	13.97 ^d	0.12 ^{cdef}	253.33 ^{cdef}	219.67 ^{cdefg}	29.00 ^{def}	2687.67 ^{abcd}
13	51	202.90 ^{de}	10.64 ^d	0.12 ^{cdef}	254.90 ^{cdef}	227.67 ^{bcd}	29.67 ^{de}	2170.00 ^{cdefg}
14	52	5.34 ^k	69.91 ^a	0.14 ^{abcd}	205.27 ^f	232.67 ^{bcd}	29.00 ^{def}	2187.67 ^{cdefgh}
15	53	147.77 ^{fghi}	11.87 ^d	0.12 ^{bcd}	271.00 ^{bcd}	230.67 ^{bcd}	29.00 ^{def}	2050.00 ^{efghi}
16	61	236.50 ^{cd}	11.50 ^d	0.15 ^{ab}	297.78 ^{abc}	212.67 ^{defg}	25.33 ^f	2060.67 ^{efghi}
17	62	2.97 ^k	28.56 ^c	0.15 ^{ab}	232.02 ^{ef}	267.00 ^a	35.33 ^b	3195.00 ^a
18	63	262.53 ^{bc}	13.50 ^d	0.15 ^{ab}	289.33 ^{abcd}	222.33 ^{bcd}	25.67 ^f	2107.33 ^{efghi}
19	71	300.73 ^{ab}	11.92 ^d	0.16 ^a	321.48 ^{ab}	221.33 ^{cdef}	27.00 ^{ef}	1903.00 ^{ghi}
20	72	6.91 ^k	47.35 ^b	0.13 ^{abcde}	238.13 ^{def}	252.67 ^{ab}	33.67 ^{bc}	2831.67 ^{ab}
21	73	319.50 ^a	13.70 ^d	0.15 ^{abc}	340.00 ^a	226.00 ^{bcd}	27.33 ^{ef}	2000.00 ^{fghi}

اعداد ۱ و ۲ در ستون تیمار به ترتیب بیانگر سال اول و دوم می‌باشند و اعداد سمت چپ در ستون تیمار به ترتیب تیمارهای گوگردی براساس آنچه در بخش مواد و روش توضیح داده شد، را نشان می‌دهند. حروف مشابه در هر ستون مرتبط با صفات تفاوت معنی دار را نشان نمی‌دهند.

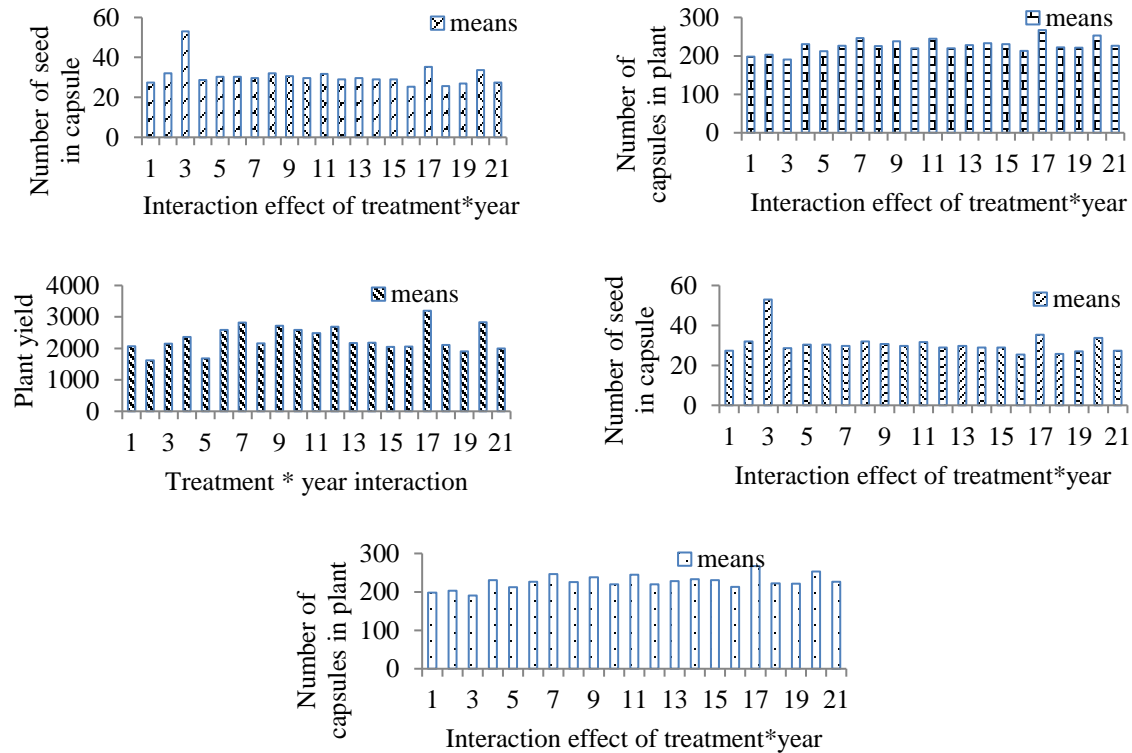
The numbers 1 and 2 in columns indicate the first and second years, respectively and the numbers in treatment column expresses the sulfur treatment based on what was explained in material and methods section. the same character in each column related to trait exhibit no significant difference



شکل ۲- اثر تیمارهای مختلف گوگردی بر روند تغییرات عناصر موجود در خاک بعد از برداشت محصول طی سه سال متوالی
 Figure 2. The mean comparison of different sulfur treatments on soil elements after canola harvest during three consecutive years

بررسی شد (Shahri et al., 2011) که نتایج بیانگر عدم تأثیر معنی‌دار تیمارها بر عملکرد کلزا در طی دو سال آزمایش بود که با نتایج تحقیق حاضر هم راستا نبود. در آزمایشی مشابه، اثر تناوب زراعی و کشت پیوسته بر عملکرد گندم و کلزا برای مدت ۶ سال مقایسه شدند که نتایج حاکی از اثر مثبت تناوب زراعی بر افزایش عملکرد کلزا و گندم بود (Gill, 2018). بر اساس یافته‌های به دست آمده از تحقیق حاضر، می‌توان پیشنهاد کرد که اثر متقابل تیمارهای گوگردی و سال‌های زراعی بر صفات مورد نظر مثبت بودند، بدین صورت که افزایش غلظت تیمارهای گوگردی با افزایش تعداد سال رابطه مستقیم و مثبتی را بر صفات مورد نظر نشان دادند.

در ارتباط با صفت عملکرد و اجزای آن، بیشترین تعداد خورجین در بوته در اثر تیمار بدون مصرف گوگرد در کشت اول (کلزا) و مصرف ۱۵۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار به همراه دو درصد باکتری در کشت دوم (ذرت) در سال دوم (تیمار ۴۲) به تعداد ۲۴۵/۰۰ به دست آمد (شکل ۳). بیشترین تعداد دانه در خورجین در تیمار شاهد و بیشترین میزان عملکرد در اثر تیمار بدون مصرف گوگرد در کشت اول (کلزا) و مصرف ۳۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار به همراه دو درصد باکتری در کشت دوم (ذرت) (تیمار ۷۲) در سال دوم به میزان ۲۸۳۱/۶۷ کیلوگرم در هکتار حاصل شد (شکل ۳). در تحقیقی مشابه، تأثیر کاربرد گوگرد و باکتری‌های تیوباسیلوس بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک و عملکرد کلزا در تناوب با گندم در دو سال متوالی



شکل ۳- اثر تیمارهای مختلف گوگردی بر عملکرد و اجزای کلزا بعد از برداشت محصول طی سه سال متوالی
Figure 3. The mean comparison of different sulfur treatments on canola yield and its component after harvest during three consecutive years

برخی خصوصیات شیمیایی خاک نظیر EC، PH، Zn، Mn، در اثر مصرف گوگرد بهتر است به کارایی سوبه‌های تیوباسیلوس مصرفی و نیز شرایط مناسب برای اکسایش گوگرد از نظر میزان مواد آلی و رطوبت خاک از آنجایی که کلزا یکی از محصولات کم نیاز از نظر آبیاری می‌باشد، با برداشت آن در اوایل تیرماه دوره خشک نسبتاً طولانی مدت در اوج گرمای تابستان بر خاک حکمفرماست که می‌تواند بر اکسایش گوگرد توسط باکتری‌های تیوباسیلوس تأثیر نامطلوب بگذارد- تحقیقات بعدی در آینده صورت پذیرد.

نتیجه‌گیری کلی

از مجموع نتایج به دست آمده از این تحقیق چنین استنباط می‌شود که تیمارهای مختلف گوگرد تأثیر معنی‌داری بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک و عملکرد کلزا در در تناوب با ذرت در طی سه سال متوالی داشتند. در ارتباط با عدم معنی‌داری سایر صفات این احتمال وجود دارد که مصرف گوگرد یا اکسیداسیون گوگرد در این آزمایش به اندازه کافی نبوده است که بتواند بر آهک بالای خاک و خاصیت بافوری خاک تأثیر بگذارد. با توجه به عدم تغییر

References

- Ahmad G., Jan A., Arif M., Jan M.T., and Khattak, R.A. 2007. Influence of nitrogen and sulfur fertilization on quality of canola (*Brassica napus* L.) under rainfed conditions. *Journal of Zhejiang University Science*, 8:731–737.
- Awad N.M., El-Kader A., Attia M., and Alva A.K. 2011. Effects of nitrogen fertilization and soil inoculation of sulfur-oxidizing or nitrogen-fixing bacteria on onion plant growth and yield. *International Journal of Agriculture*, 2011: 1-6.
- Ball B.C., Bingham I., Rees R.M., Watson C.A., and Litterick A. 2005. The role of crop rotations in determining soil structure and crop growth conditions. *Canadian Journal of Soil Science*, 85(5): 557-577.
- Baybordi A. 2010. Effects of salinity on yield and component characters in canola (*Brassica napus* L.) cultivars. *Notulae Scientiae Biologicae*, 2 (1): 81-83.
- Gill K.S. 2018. Crop rotations compared with continuous canola and wheat for crop production and fertilizer use over 6 yr. *Canadian Journal of Plant Science*, 98(5): 1139-1149.
- Hernanz J.L., Lopez Navarrete R., and Sanchez-Giron V. 2002. Long-term effects of tillage systems and rotations on soil structural stability and organic carbon stratification in semiarid central Spain. *Soil and Tillage Research*, 66:129-141.
- Jankowski K.J., Załuski D., and Sokólski M. 2020. Canola-quality white mustard: Agronomic management and seed yield. *Industrial Crops and Products*, 145: 112-138.
- Kalbasi M., Filsoof F., and Rezai-Nejad Y. 1998. Effects of sulfur treatment on yield and uptake of Fe, Zn, and Mn by corn, sorghum and soybean. *Journal of Plant Nutrition*, 11(6): 1353-1360.
- Khan A., Jilani G., Zhang D., Akbar S., Malik K. M., Rukh S., and Mujtaba, G. 2020. *Acidithiobacillus thiooxidans* IW16 and sulfur synergistically with struvite aggrandize the phosphorus bioavailability to wheat in alkaline soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20(1): 95-104.
- Kulczycki G., and Sacala E. 2020. Sulfur application alleviates chromium stress in maize and wheat. *Open Chemistry*, 18(1): 1093-1104.
- Li L., Niu Y., Ruan Y., DePauw R.M., Singh A.K., and Gan, Y. 2018. Agronomic advancement in tillage, crop rotation, soil health, and genetic gain in durum wheat cultivation: A 17-year Canadian story. *Agronomy*, 8(9): 193.
- Malhi S.S., and K.S. Gill. 2007. Interactive effects of N and S fertilizers on canola yield and seed quality on S-deficient gray luvisol soils in northeastern Saskatchewan. *Canadian Journal of Plant Science*, 87:211–222.
- Mansoori I. 2012. Response of canola to nitrogen and sulfur fertilizer. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 4:28–33.
- Mohammadi K., Ghalavand A., Aghaalkhani M., Heidari G., Shahmoradi B., and Sohrabi, Y. 2011. Effect of different methods of crop rotation and fertilization on canola traits and soil microbial activity. *Australian Journal of Crop Sciences*, 5(10): 1261.
- Narula N., Mishra M.M., and Vyas S.R. 1972. The effect of *Thiobacillus* inoculation on alkali soils. *Indian Journal of Agriculture and Chemistry*, 7(1): 85-87.
- Ohara N., Naito Y., Kasama K., Shindo T., Yoshida H., Nagata T., and Okuyama H. 2009. Similar changes in clinical and pathological parameters in Wistar Kyoto rats after a 13-week dietary intake of canola oil or fatty acid composition-based interesterified canola oil mimic. *Food and Chemical Toxicology*, 47:157-162.
- Poisson E., Trouverie J., Brunel-Muguet S., Akmouche Y., Pontet C., Pinochet X., and Avice J.C. 2019. Seed yield components and seed quality of oilseed rape are impacted by sulfur fertilization and its interactions with nitrogen fertilization. *Frontiers in Plant Science*, 10: 458.
- Pourbabaee A., Koohbori Dinekaboodi A., Seyed Hosseini S., Alikhani H.M., and Emami S. 2020. Potential application of selected sulfur-oxidizing bacteria and different sources of sulfur in plant growth promotion under different moisture conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 51(6): 735-745.

- Rahimiyan Z. 2012. Effect of sulfur and *Thiobacillus* with organic matter on quantitative and qualitative traits of canola. *Crop Physiology Journal*, 3(12): 19-27.
- Rameeh V., Niakan M., and Hossein Mohammadi M. 2019. Sulfur effects on sugar content, enzyme activity and seed yield of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Agronomia Colombiana*, 37(3): 311-316.
- Sakari A., Ardakani M.R., Khavazi K., Paknejad F., and Moslemi Z. 2012. Effect of *Azospillum lipoferum* and *Thiobacillus thioparus* on quantitative and qualitative characters of rapeseed (*Brassica napus* L.) under water deficit conditions. *Middle East Journal of Sciences Resources*, 11(6): 819-827.
- Shahri M.M., Soleymani A., Shahrajabian M.H., and Yazdpour H. 2011. Effect of plant densities and sulphur fertilizer on seed and oil yields of canola. *Resources Crop*, 12 (2): 383-387.
- Tabasi A., Dadashi M.R., and Faraji A. 2017. Effect of different sulfur levels plus *Thiobacillus* on yield and yield components of canola (*Brassica napus* L.) cultivars in Gorgan, Iran. *Azarian Journal of Agriculture*, 4(3): 87-94.
- Weese A., Pallmann P., Papenbrock J., and Riemenschneider A. 2015. *Brassica napus* L. cultivars show a broad variability in their morphology, physiology and metabolite levels in response to sulfur limitations and to pathogen attack. *Frontiers in Plant Science*, 6: 9.
- Zaidi A., Saghir Khan M., and Amil M.D. 2003. Interactive effect of rhizotrophic microorganisms on yield and nutrient uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *European Journal of Agronomy*, 19:15-21.

Changing Trends of Soil Properties and Canola Yield under Maize Rotation by Sulfur Treatments

Mahmoud Reza Ramezanpour^{1*}, Hadi Asadi Rahmani², Valiallah Rameeha³, Parastoo majidian⁴

(Received: November 2020 Accepted: August 2021)

Abstract

The aim of this study was to evaluate the effect of sulfur fertilizer accompanied by *thiobacillus* inoculation on canola yield and yield components and some soil chemical properties by maize cropping during three consecutive years. This study was performed based on randomized complete block design consisting of seven sulfur treatments (0, 750, 1500 and 3000 kg ha⁻¹) replicated three times. The treatments were added to soil two weeks before cultivation. Two and four-months soil samplings were done to determine EC, pH and SO₄⁻² content, as well as EC, pH, SO₄⁻², Fe, Zn, Mn, P, N, K contents and agronomical traits (1000-seed weight, plant height, number of seed in capsule, number of capsule) after harvesting in plant and plant yield. The results showed that increasing of sulfur fertilizer caused enhancement of seed yield, number of seed in capsule and number of capsule in plant during three consecutive years. In addition, the trend of changes in sulfate, potassium and nitrogen was improved and resulted in changes reduction of these elements in soil. The increasing trend of soil salt and acidity content were observed due to the effect of different sulfur treatments during consecutive years in two and four months sampling while these traits showed no significant variation after canola harvest. According to the obtained results, it could be suggested that the cropping system and sulfur fertilizer application would cause positive effect on chemical properties of soil and main agronomic product yield.

Keywords: Fertilizer, Oil seeds, *Thiobacillus*

Ramezanpour M.R, Asadi Rahmani H., Rameeha V., majidian P. 2022.Changing Trends of Soil Properties and Canola Yield under Maize Rotation by Sulfur Treatments. *Applied Soil Research*.10(3):66-77.

1- Assistant Professor, Soil and Water Research Department, Agriculture and Natural Resources Research Center of Mazandaran, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Sari, Iran

2-Professor, Soil Biology Research Department, Soil and Water Research Institute, Agriculture Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran

3- Associate Professor, Agricultural and Horticultural Science Research Department, Agriculture and Natural Resources Research Center of Mazandaran, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Sari, Iran

4- Assistant Professor, Agricultural and Horticultural Science Research Department, Agriculture and Natural Resources Research Center of Mazandaran, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Sari, Iran

Corresponding Author E mail: mrramezanpour@yahoo.com