



دانشگاه گلستان

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی
جلد بیست و یکم، شماره سوم، ۱۳۹۳
<http://jopp.gau.ac.ir>

تأثیر روی، بُر و گوگرد بر میزان روغن دانه، عملکرد و فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در کلزا

*مجید مجیدیان

استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه گلستان
تاریخ دریافت: ۹۱/۱۰/۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۲/۱۶

چکیده

به منظور تأثیر عناصر روی، بُر و گوگرد بر خصوصیات زراعی کمی و کیفی کلزا رقم هایولا ۴۰۱، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار در سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات برنج کشور اجرا شد. تیمارهای مورد مطالعه شامل ۱- شاهد (بدون مصرف کود)، ۲- روی، ۳- بُر، ۴- گوگرد، ۵- روی + گوگرد، ۶- روی + بُر، ۷- بُر + گوگرد و ۸- گوگرد + بُر + روی بودند. کود گوگرد به صورت گُل گوگرد، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار و کودهای روی و بُر به صورت کلات روی و براکس به میزان برابر و معادل ۱/۵ کیلوگرم در هکتار به زمین زراعی داده شدند. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر تیمارهای کودی بر تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزاردانه و عملکرد دانه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. کم‌ترین میزان درصد روغن دانه و عملکرد دانه مربوط به تیمار شاهد (بدون مصرف کود) و بیش‌ترین مربوط به تیماری بود که هر سه عنصر کودی را دریافت کرده بودند. مقایسه میانگین صفات نشان داد که بیش‌ترین مقدار گوگرد و بُر در برگ‌ها مربوط به تیمار گوگرد + بُر + روی بود و کم‌ترین آن مربوط به تیمار شاهد بود، همچنین بیش‌ترین میزان روی تجمع‌یافته در برگ‌ها مربوط به تیمار روی + گوگرد بود. بالاترین میزان آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز در شرایط استفاده هم‌زمان گوگرد، روی و بُر به میزان‌های 10.24 IU/g.fw و $0.14 \text{ } \mu\text{mol/g FW.min}$ و بالاترین میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در هنگام استفاده از عنصر روی به میزان $0.87 \text{ } \mu\text{mol/g FW.min}$ مشاهده شد. بنابراین با توجه به نتایج این آزمایش مصرف شامل عناصر بُر، گوگرد و روی همراه با کودهای پایه می‌تواند به افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاه کلزا کمک کند.

واژه‌های کلیدی: بُر، پراکسیداز، روی، سوپراکسید دیسموتاز، کلزا، گوگرد

* مسئول مکاتبه: ma_majidian@yahoo.com

مقدمه

کلزا از گیاه روغنی یک‌ساله جهان است که از نظر تامین روغن مصرفی بعد از سویا و نخل روغنی رتبه سوم را در دنیا دارا می‌باشد (فتحی، ۱۹۹۷). کلزا در مناطق مختلفی از دنیا و تحت شرایط تغذیه مختلف خاک رشد می‌کند. در ایران به دلیل سازگاری با شرایط اقلیمی گیلان، کشت دوم آن بعد از برنج مورد توجه می‌باشد. عملکرد دانه در کلزا که یکی از مهم‌ترین گیاهان روغنی جهان است به تغذیه مناسب با توجه به ویژگی‌های فیزیولوژیک رشد و نمو آن بستگی دارد.

به‌طور کلی گوگرد برای عملکرد مطلوب دانه در تمام گونه‌ها و ارقام کلزا ضروری و نیاز آن به گوگرد حدود ۳ برابر بیش‌تر از غلات می‌باشد (مالهی و همکاران، ۲۰۰۷). کلزا همانند دیگر اعضا خانواده خردل، ترکیبات متعدد گوگردی در اندام‌های رویشی و دانه دارد، بنابراین گوگرد اثر مستقیمی روی کیفیت، رشد و عملکرد دانه دارد (عزیزی و همکاران، ۲۰۰۶). عنصر روی در گلدهی و میوه‌دهی تأثیر دارد، بنابراین، کمبود عنصر روی بر سوخت‌وساز کربوهیدرات اثر می‌گذارد و همچنین باعث خسارت به ساختار گرده گیاه و کاهش عملکرد گیاه می‌شود (چک‌مک، ۱۹۹۷؛ داس و همکاران، ۲۰۰۵؛ پاندی و همکاران، ۲۰۰۶؛ فانگ و همکاران، ۲۰۰۸). عنصر روی قسمت عمده ساختمان برخی آنزیم‌ها می‌باشد و برای تشکیل آنزیم‌های گیاهی مورد نیاز می‌باشد. علاوه بر این بسیاری از واکنش‌ها مانند سوپراکسید دیسموتاز را نیز فعال می‌نماید (پدلر و همکاران، ۲۰۰۰؛ آلووی، ۲۰۰۴؛ جرج و مایکل، ۲۰۰۷؛ بایوردی و مامدو، ۲۰۱۰). این آنزیم در برگ‌های سبز، در کلروپلاست‌ها و به‌ویژه در استرومای کلروپلاست جا دارد (مارشنر، ۱۹۹۵). عنصر بُر نقش بسیار مهمی در سنتز و ساختمان دیواره سلولی و به احتمال زیاد در پایداری غشاء سلولی دارد (گلدبک و همکاران، ۲۰۰۱؛ براون و همکاران، ۲۰۰۲). کمبود بُر باعث نمو غیرطبیعی اندام‌های زایشی (دل و هانگ، ۱۹۹۷؛ هانگ و همکاران، ۲۰۰۰) و کاهش عملکرد گیاه می‌شود (چن و همکاران، ۲۰۰۵؛ نبی و همکاران، ۲۰۰۶). چون عنصر بُر در جوانه‌زدن دانه گرده، تشکیل میوه و انتقال مواد فتوسنتزی به محل مصرف نقش اساسی ایفا می‌کند (ملکوتی و همکاران، ۲۰۰۶).

سوپراکسید دیسموتاز (آرورا و همکاران، ۲۰۰۲)، اولین خط دفاعی در مقابل ROS است و تقریباً در تمام فضاهای بین سلولی و اندامک‌های سلولی دیده می‌شوند (میتلر، ۲۰۰۲). پراکسیدازها به‌عنوان یکی از مهم‌ترین آنزیم‌های موجود در گیاهان عالی شناسایی شده‌اند. عوامل متعددی بر میزان فعالیت

آنزیم پراکسیداز مؤثر هستند از جمله این عوامل می‌توان به خصوصیات ژنتیکی و شرایط محیطی رشد مانند میزان عنصر روی در خاک اشاره کرد. یکی از روش‌های مفید در افزایش عملکرد گیاه زراعی از جمله کلزا تعیین نیاز تغذیه‌ای مناسب با توجه به ویژگی‌های فیزیولوژیک رشد و نمو آنها است. هدف از این پژوهش استفاده از سه عنصر گوگرد، روی، بُر و برهم‌کنش آنها در بررسی عملکرد، اجزای عملکرد، میزان روغن، جذب عناصر گوگرد، روی و بُر در برگ‌های گیاه و میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز در کلزای رقم هایولا ۴۰۱ در شرایط اقلیمی شهر رشت بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ در شهرستان رشت و در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات برنج کشور واقع در کیلومتر ۵ جاده رشت- تهران اجرا شد. محل آزمایش دارای عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳ دقیقه شرقی و ارتفاع ۷- متر از سطح دریا بود. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش.

بافت	نیترژن (درصد)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	اسیدپته خاک	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	سولفات محلول (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)	روی قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	بُر قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
سیلتی رسی	۰/۱۲	۶۴/۸	۲۱۶	۶/۷	۰/۲۵۵	۰/۶۴	۰/۹۴	۰/۰۲

برای اجرای آزمایش، ابتدا زمین موردنظر که حدود ۲۱×۲۰ متر بود، به ۳ بلوک تقسیم شد و سپس هر بلوک به ۸ کرت تقسیم شد. طول هر کرت ۵ متر و عرض آن ۱/۷۵ متر انتخاب شد و هر کرت دارای ۶ خط کاشت بود که فاصله بین ردیف ۲۵ سانتی‌متر و روی ردیف ۴ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. کاشت بذر رقم هایولا ۴۰۱ در تاریخ ۱۵ آبان‌ماه و به‌صورت دستی و به‌میزان ۱۰ کیلوگرم در هکتار صورت گرفت. عوامل مورد مطالعه شامل عناصر روی، گوگرد و بُر بودند. آزمایش ۸ تیمار کودی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار و ۸ تیمار شامل شاهد (بدون مصرف کود)،

عناصر غذایی روی، بُر، گوگرد، روی + گوگرد، روی + بُر، بُر + گوگرد و گوگرد + بُر + روی، بودند. کود گوگرد به صورت گُل گوگرد، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار و قبل از کاشت و کود روی و بُر به صورت کلات روی و برآکس، هر دو به میزان ۱/۵ کیلوگرم در هکتار به زمین زراعی داده شدند. پس از برداشت کلزا (۲۵ اردیبهشت ۱۳۹۰) برای تعیین تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن هزاردانه ۱۰ بوته از هر کرت به طور تصادفی انتخاب شد و به آزمایشگاه منتقل شد. برای وزن هزاردانه از ترازوی (Type ABS 80-4) با دقت ۰/۰۰۱ گرم استفاده شد. برای تعیین عملکرد دانه پس از حذف اثر حاشیه‌ای و از هر کرت ۲ مترمربع برداشت گردید و محصول هر کرت به طور جداگانه خرمن‌کوبی و دانه‌ها از خورجین‌ها جدا شدند و در آون با دمای ۷۵ درجه سلسیوس قرار گرفتند تا رطوبت دانه‌ها به صفر برسد، سپس با استفاده از ترازوی دقیق توزین شد. برای تعیین میزان روغن دانه‌ها، مقدار ۵۰ گرم از بذره‌های برداشت شده از هر کرت قبل از خشک کردن، انتخاب و میزان روغن به روش سوکسله (Soxtec system HT 1043) اندازه‌گیری شد.

برای تعیین فعالیت آنزیم پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز در ۷۰ درصد گلدهی از هر کرت ۴ بوته انتخاب شدند، برگ‌های بالایی جدا شدند و در نیتروژن مایع قرار گرفتند و سپس به آزمایشگاه مرکزی دانشگاه گیلان انتقال داده شدند و برای سنجش فعالیت سینتیکی آنزیم پراکسیداز از روش بین و همکاران (۲۰۰۷) استفاده شد.

به این منظور پس از تهیه بافرهای سنجش آنزیم پراکسیداز با کمک بافر آب اکسیژنه ۲۲۵ میلی‌مولار و بافر گایاکول ۴۵ میلی‌مولار، میزان جذب در طول موج ۴۷۰ نانومتر به مدت ۲ دقیقه با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد و فعالیت آنزیمی با استفاده از فرمول قانون بیرلامبرت و با ضریب خاموشی گایاکول پراکسیداز $13.3 \mu M^{-1} c^{-1} m$ محاسبه شد. فعالیت آنزیم در نهایت بر حسب $\mu mol/g FW.min$ بیان شد.

برای سنجش آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به روش جیانوپلیتیس و رایس (۱۹۷۷) انجام شد. به این منظور پس از تهیه بافرهای سنجش آنزیم سوپراکسید دیسموتاز با کمک بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار و بافر ریوفلاوین (۰/۱۲mM)، میزان جذب در طول موج ۵۶۰ نانومتر قرائت شد. یک واحد از آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به مقدار آنزیمی گفته می‌شود که سبب ۵۰ درصد مهار نیتروبلوترازولیوم (NBT) به فورمازان شود. برای اندازه‌گیری جذب سه عنصر گوگرد، روی و بُر در گیاه در ۸۰ درصد

(BBCH, 67) گلدهی (مایر، ۲۰۰۱) از هر کرت ۸ بوته انتخاب شدند و سپس ۴ برگ بالایی جدا شدند و برای میزان جذب سه عنصر گوگرد، روی و بُر در برگ‌ها با استفاده از روش سوزاندن خشک و ترکیب با اسید کلریدریک اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری گوگرد از روش کلردت-سنجی در مجاورت اسید پرکلریک و آب اکسیژنه استفاده شد و میزان عنصر بُر و گوگرد با دستگاه اسپکتروفوتومتر (UV-Visible مدل Cary 50 ساخت آلمان) و عنصر روی با دستگاه جذب اتمی (Atomic absorption spectrophotometry, Varian model 110/220 ساخت هلند) قرائت شدند. محاسبه‌های آماری مربوط با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از LSD انجام شد.

نتایج و بحث

تعداد خورجین در بوته: نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین تیمارهای مورد آزمایش از نظر صفت تعداد خورجین در بوته اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد وجود داشت (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که استفاده از گوگرد + روی + بُر با میانگین ۳۱۹/۷ عدد، بیش‌ترین تعداد خورجین در بوته و تیمار شاهد با میانگین ۱۹۹/۷ عدد، کم‌ترین تعداد خورجین در بوته را داشت (جدول ۳). با توجه به جدول مقایسه میانگین (جدول ۳) کاربرد عناصر گوگرد، روی و بُر به تنهایی باعث افزایش تعداد کل خورجین در بوته به‌میزان ۳۲/۳، ۲۵/۳ و ۱۴ درصد نسبت به تیمار شاهد شدند و بیش‌ترین افزایش تعداد کل خورجین در بوته به‌میزان ۶۰ درصد در تیمار سه کودی دیده شد. کود گوگرد موجب افزایش ارتفاع گیاه شد که به‌علت نفوذ بیش‌تر نور در داخل پوشش گیاهی و افزایش تعداد شاخه فرعی در بوته، باعث افزایش تعداد خورجین در بوته نیز گردید. در گیاه کتان، عنصر روی باعث انتقال بهتر مواد فتوسنتزی می‌شود و به‌طور مستقیم وزن قوزه‌ها را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. علاوه‌بر این عنصر روی پیش‌ماده مورد نیاز برای تولید ایندول ۳-استیک اسید می‌باشد. این هورمون عامل اصلی جلوگیری از ریزش قوزه‌ها در کتان است. می‌توان همین نقش را نیز برای روی در جلوگیری از ریزش خورجین‌ها در کلزا در نظر گرفت (راتینا و همکاران، ۲۰۰۰). همچنین از دلایلی که باعث از دست رفتن خورجین‌های بالقوه در گیاه می‌شود، گرده‌افشانی ضعیف می‌باشد (عزیزی و همکاران، ۲۰۰۶). براساس نتایج پژوهش‌های پیشین، شکل‌گیری اندام‌های جنسی

نر و ماده و فرایند گرده‌افشانی بر اثر کمبود روی، مختل می‌شوند. آن‌ها این امر را به کاهش تولید اسید ایندول استیک نسبت می‌دهند (براون و همکاران، ۱۹۹۳). همچنین، پژوهش‌گران بیان کردند که بُر یک عنصر ضروری برای جوانه‌زنی دانه‌های گرده و رشد لوله گرده می‌باشد (مارشورن، ۱۹۹۵). آن‌ها معتقدند که جذب ناچیز بُر در خاک، باعث اختلال در امر گرده‌افشانی و در نتیجه عقیم شدن گیاه می‌شود (ویتوش و همکاران، ۱۹۹۴).

تعداد دانه در خورجین: تعداد دانه در خورجین یکی از اجزای مهم عملکرد محسوب می‌شود. از آن‌جا که دانه‌ها محل ذخیره مواد تولید شده هستند، به‌نظر می‌رسد که هرچه تعداد دانه‌ها در خورجین بیش‌تر باشد، مخزن بزرگ‌تری برای ذخیره مواد به‌وجود آید. نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین تیمارهای آزمایشی از نظر صفت تعداد دانه در خورجین اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد وجود داشت (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که استفاده هم‌زمان از عناصر غذایی گوگرد، روی و بُر با میانگین ۲۹/۷ عدد، بیش‌ترین تعداد خورجین در بوته و تیمار (شاهد) با میانگین ۲۴/۳ عدد، کم‌ترین تعداد خورجین در بوته را داشت (جدول ۳). افزایش تعداد دانه در خورجین در اثر کودهای روی و بُر شاید به این دلیل باشد که بُر نقش کلیدی در انتقال آب و مواد غذایی از ریشه به اندام‌های هوایی بازی می‌کند (ریهم و همکاران، ۱۹۹۸). تولید بیش‌تر کلروفیل و IAA باعث تاخیر در پیری گیاه و در نتیجه طولانی شدن دوره فتوسنتز می‌شود. این امر باعث بهبود تولید کربوهیدرات‌ها و انتقال آن‌ها به دانه‌های در حال رشد می‌شود (ویتوش و همکاران، ۱۹۹۷). مگ‌گرت و ژائو (۱۹۹۶) و روئی و همکاران (۱۹۹۷) نشان دادند که گوگرد نسبت اندام‌های زایشی به کل ماده خشک گیاهی را افزایش می‌دهد و کمبود گوگرد سبب توقف رشد اندام‌های زایشی و حتی منجر به عقیمی خورجین‌ها می‌شود. با توجه به جدول مقایسه میانگین (جدول ۳) کاربرد عناصر گوگرد، روی و بُر به تنهایی باعث افزایش تعداد دانه در خورجین به‌میزان ۱۲/۳، ۶ و ۱۱/۱ درصد نسبت به تیمار شاهد شد و ترکیب دوگانه کودی باعث افزایش بیش‌تر تعداد دانه در خورجین نسبت به کاربرد تنهایی آن‌ها شد و بیش‌ترین افزایش تعداد دانه در خورجین نسبت به تیمار شاهد به‌میزان ۲۲/۲ درصد در تیمار سه کودی دیده شد. بنابراین استفاده از ترکیب دوتایی و سه‌تایی عناصر دارای اثرات خیلی بیش‌تری بر تعداد دانه در خورجین نسبت به استفاده عناصر به تنهایی است (جدول ۳).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفتهای مورد مطالعه در آزمایش.

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات									
		خورچین در بوته	خورچین دانه در	وزن هزاردانه	عملکرد دانه	میزان رزق دانه	جذب عنصر گوگرد	جذب عنصر روی	جذب عنصر نر	فعالیت آنزیم پراکسیداز	فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموگاز
بلوک	۲	۷۷۷/۵۴	۰/۲۹	۰/۰۰۵	۱۴/۱۱/۴	۳۷/۸	۴۷۳۶/۵۲	۲۵/۰۴	۶۱/۷۷	۷۸/۰/۰	۰/۱۳
تیمار	۷	۴۶۵/۷ ^{**}	۹/۷۱ ^{**}	۰/۳۹ ^{**}	۴۱۴۶۶۸۶۷ ^{**}	۲۷/۵ ^{**}	۱۸۶۷۷۵۱۱ ^{**}	۷۷۰/۱۱ ^{**}	۵۵/۳۵ ^{**}	۷۵۰/۰ ^{**}	۰/۶۴ ^{**}
خطا	۴	۲۵۹/۵۴	۰/۲۹	۰/۰۲۱	۳۰۰۳۹/۳۴	۰/۳۴	۷۰۱/۹۱۱	۶۵/۱	۶۷/۸	۶۴۰۰/۰	۰/۷۲
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱۶/۱	۱۳/۹	۱۶/۱	۱۷/۸	۱۵/۵	۶/۵	۱۳/۱	۳/۰۴	۶/۱	۹/۷

^{**} معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد، ^{**} معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد و ^{***} غیر معنی دار.

وزن هزاردانه: نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین تیمارهای آزمایشی از نظر صفت وزن هزاردانه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد وجود داشت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین تیمارهای کودی نشان داد که تیمار بر + روی + گوگرد، با میانگین ۵/۷۴ گرم، بیش‌ترین و تیمار شاهد با میانگین ۴/۸۲ گرم کم‌ترین وزن هزاردانه را داشتند (جدول ۳). با توجه به جدول مقایسه میانگین (جدول ۳) کاربرد عناصر گوگرد، روی و بُر به تنهایی باعث افزایش وزن هزاردانه به میزان ۴/۵، ۲/۵ و ۱ درصد نسبت به تیمار شاهد شد و ترکیب دوگانه کودی باعث افزایش بیش‌تر وزن هزاردانه نسبت به کاربرد تنهایی آن‌ها شد و بیش‌ترین افزایش وزن هزاردانه نسبت به تیمار شاهد به میزان ۱۹ درصد در تیمار سه کودی دیده شد. نتایج این آزمایش با پژوهش‌های می و همکاران (۲۰۰۹) که به بررسی تأثیر سه عنصر بُر، مولیبدن و روی در کلزا انجام دادند و باعث افزایش وزن هزاردانه در اثر این سه عنصر شد، مطابقت داشت.

عملکرد دانه: نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین تیمارهای آزمایشی از نظر صفت عملکرد دانه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد وجود داشت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین تیمارهای کودی نشان داد که تیمار گوگرد + روی + بر، با میانگین ۴۹۶۵ کیلوگرم در هکتار، بیش‌ترین و تیمار شاهد با میانگین ۳۸۶۰/۶ کیلوگرم در هکتار کم‌ترین عملکرد دانه را داشتند (جدول ۳). در توضیح این افزایش عملکرد می‌توان نتیجه گرفت که عنصر روی می‌تواند اثر مطلوبی بر فعالیت‌های فتوسنتزی برگ‌ها داشته باشد (ولچ، ۱۹۹۵). عنصر روی با افزایش جزئی در تعداد شاخه در بوته، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن هزاردانه سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه شد. کمبود عنصر روی بر سوخت‌وساز کربوهیدرات اثر می‌گذارد و باعث خسارت به ساختار گرده گیاه و کاهش عملکرد گیاه می‌شود (داس و همکاران، ۲۰۰۵؛ پاندی و همکاران، ۲۰۰۶؛ فانگ و همکاران، ۲۰۰۸). کاربرد بُر نیز باعث افزایش محتوای کلروفیل و شدت فتوسنتز در برگ‌ها، افزایش تجمع ماده خشک در گیاه، بهبود انتقال مواد فتوسنتزی از اندام‌های رویشی به اندام‌های زایشی می‌شود، بنابراین باعث افزایش معنی‌داری در عملکرد می‌گردد (ناسف و همکاران، ۲۰۰۶). عنصر بُر نقش بسیار مهمی در ساخت و ساختمان دیواره سلولی و به احتمال زیاد در پایداری غشاء سلولی دارد (ماتو، ۱۹۹۷؛ چک‌مک و رومهلد،

۱۹۹۷؛ گلدبک و همکاران، ۲۰۰۱؛ براون و همکاران، ۲۰۰۲). کمبود بُر باعث نمو غیرطبیعی اندام‌های زایشی (دل و همکاران، ۱۹۹۷؛ هانگ و همکاران، ۲۰۰۰) و کاهش عملکرد گیاه می‌شود (چین و همکاران، ۲۰۰۵؛ نبی و همکاران، ۲۰۰۶). به‌نظر می‌رسد گوگرد از طریق تأثیر بر افزایش تعداد خورجین باعث افزایش عملکرد شده است. ماسونی و همکاران (۱۹۹۶) گزارش کردند که روی باعث افزایش عملکرد دانه می‌شود. در گزارشی دیگر هیتهولت و همکاران (۲۰۰۲) بیان کردند که محلول‌پاشی مس، منگنز، روی و آهن باعث افزایش عملکرد دانه در سویا می‌شود. در مطالعاتی که توسط چک‌مک (۱۹۹۷) انجام شد به این نتیجه رسیدند که همه روش‌های کاربرد روی در گیاهان در افزایش عملکرد دانه همواره معنی‌دار بوده است. با توجه به جدول مقایسه میانگین (جدول ۳) کاربرد عناصر گوگرد، روی و بُر به تنهایی باعث افزایش عملکرد دانه به‌میزان ۱۶/۵، ۶ و ۱۳/۴ درصد نسبت به تیمار شاهد شد و ترکیب دوگانه کودی باعث افزایش بیش‌تر عملکرد دانه نسبت به کاربرد تنهایی آن‌ها شد و بیش‌ترین افزایش عملکرد دانه به‌میزان ۲۸/۶ درصد در تیمار سه کودی دیده شد. میزان عملکرد دانه در تیمار گوگرد + بُر و تیمار گوگرد + روی و تیمار روی + بُر به‌ترتیب ۲۵، ۲۳ و ۱۹/۷ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داشته است.

میزان روغن دانه: نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین تیمارهای آزمایشی از نظر میزان روغن دانه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد وجود داشت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که تیمار گوگرد + روی + بُر با میانگین ۴۲/۶۶ درصد بیش‌ترین و تیمار شاهد با میانگین ۳۳/۶۵ درصد کم‌ترین میزان روغن دانه را داشتند (جدول ۳). نتایج پژوهش‌ها نشان داد که کمبود روی باعث جلوگیری از فعالیت تعدادی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی شود که منجر به خسارت‌های شدید و گسترده به غشاءهای لیپیدی می‌شود، از این‌رو کمبود روی می‌تواند باعث کاهش میزان روغن بذور شود (چک‌مک، ۱۹۹۷). در مطالعه گوگرد بر روی کلزا در هندوستان گزارش شده است که کاربرد منابع مختلف گوگرد در مرحله قبل از گلدهی سبب افزایش عملکرد دانه و درصد روغن گردید (شارما و همکاران، ۱۹۹۱). احمد و همکاران (۲۰۰۷) دریافتند که افزایش تیمار گوگرد به‌میزان ۲۰ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش روغن دانه در کلزا می‌شود. مالهی و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که با کاربرد گوگرد میزان روغن و پروتئین دانه افزایش یافت. با توجه به جدول

مقایسه میانگین (جدول ۳) کاربرد عناصر گوگرد، روی و بُر به تنهایی باعث افزایش میزان روغن دانه به میزان، ۱۷، ۵/۵ و ۱۲/۶ درصد نسبت به تیمار شاهد شد و ترکیب دوگانه کودی باعث افزایش میزان روغن دانه نسبت به کاربرد تنهایی آن‌ها شد و بیش‌ترین افزایش میزان روغن دانه نسبت به تیمار شاهد به میزان ۲۶/۸ درصد در تیمار سه کودی دیده شد.

میزان جذب عناصر: نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین تیمارهای مورد آزمایش از نظر میزان جذب عناصر گوگرد، روی و بُر در برگ‌ها اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد وجود داشت (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که تیمار گوگرد + روی + بُر با میانگین ۸۰۲/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم و تیمار شاهد با میانگین ۲۲۳/۹۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار را از نظر جذب عنصر گوگرد در برگ‌ها داشتند (جدول ۴). با توجه به جدول مقایسه میانگین کاربرد عناصر گوگرد، روی و بُر به تنهایی باعث افزایش جذب عنصر گوگرد در برگ‌ها به میزان ۲۲۶، ۱۱۹ و ۷۴/۶ درصد نسبت به تیمار شاهد شد و بیش‌ترین افزایش میزان جذب عنصر گوگرد در برگ‌ها نسبت به تیمار شاهد به میزان ۲۵۸ درصد در تیمار سه کودی دیده شد. در میزان جذب عنصر گوگرد در برگ‌ها، عنصر گوگرد و روی تأثیر بیش‌تری نسبت به عنصر بُر دارند.

مقایسه میانگین داده‌ها از نظر جذب عنصر روی در برگ‌ها نشان داد که تیمار گوگرد + روی با میانگین ۴۹/۴۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم و تیمار شاهد بدون کود با میانگین ۳۰/۳۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار را از نظر جذب این عنصر در برگ‌ها داشتند (جدول ۴). گراول و گراهام (۱۹۹۹) گزارش کردند که کاربرد روی باعث افزایش میزان روی در بذر، ریشه و برگ‌ها می‌شود که این یافته‌ها با نتایج ال-گازر و همکاران (۱۹۹۷) مطابقت دارد. با توجه به جدول مقایسه میانگین (جدول ۴) کاربرد عناصر گوگرد، روی و بُر به تنهایی باعث افزایش جذب عنصر روی در برگ‌ها به میزان ۲۸، ۳۶ و ۱۵/۴ درصد نسبت به تیمار شاهد شد و بیش‌ترین افزایش میزان جذب عنصر روی در برگ‌ها نسبت به تیمار شاهد به میزان ۵۳ درصد در تیمار سه کودی دیده شد. در میزان جذب عنصر روی در برگ‌ها، عنصر گوگرد و روی تأثیر بیش‌تری نسبت به عنصر بُر دارند.

جدول ۳- مقایسه میانگین عناصر نر، روی و گوگرد از نظر صفت‌های گیاهی کلزا (جبرید هاپلوا ۴۰۱).

تیمار	تعداد خورجین	افزایش (درصد)	تعداد دانه	افزایش (درصد)	وزن هزاردانه (گرم)	افزایش (درصد)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	افزایش (درصد)	روغن دانه (درصد)	افزایش (درصد)
شاهد	۱۹۹۷ ^f	صفر	۲۴۳ ^{cd}	صفر	۴۸۲ ^f	صفر	۳۸۶۰۶ ^f	صفر	۳۳۶۵ ^e	صفر
نر	۲۲۷۷ ^{cd}	۴۱	۲۷ ^{ab}	۱/۱۱	۴۳۷ ^{ef}	۱	۴۳۷۸۹ ^{cd}	۳۳/۴	۳۷۷۷ ^e	۲۲/۶
روی	۲۵۰۳ ^{cd}	۲۵/۳	۲۵۷ ^c	۶	۴۹۴ ^e	۲/۵	۴۰۶۰ ^{de}	۶	۳۵۳۵ ^f	۵/۵
گوگرد	۲۶۴ ^{cd}	۳۷/۲	۲۷ ^{ab}	۱۲/۳	۴۰۴ ^d	۵/۳	۴۴۶۴ ^{cd}	۲۶/۵	۳۹۳۷ ^e	۱۱
نر + گوگرد	۲۸۲۳ ^{cd}	۴۱/۴	۲۷۷ ^{ab}	۴۱	۵۵۷ ^{ab}	۵/۵۱	۴۸۷۷۰ ^{ab}	۲۵	۴۰۳۰ ^f	۶۱
نر + روی	۲۷۲۷ ^{cd}	۳۷	۲۷ ^{ab}	۱۲/۳	۵۱۷ ^c	۷/۳	۴۷۲۰ ^{bc}	۱۹/۱	۳۸۱/۳	۲۲/۱
گوگرد + روی	۳۰۶۳ ^{ab}	۵۳/۴	۲۹۳ ^{ab}	۱۲	۵۵۵ ^b	۷/۵۱	۴۷۴۴ ^{abc}	۲۳	۴۰۵۴ ^{bc}	۲۰/۵
نر + گوگرد + روی	۳۱۹۷ ^{ab}	۶۰	۲۹۷ ^{ab}	۲۲/۲	۵۷۴ ^a	۹	۴۹۶۵ ^a	۲۸/۶	۴۷۶۶ ^a	۲۶/۷

در هر ستون تیمارهایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، تفاوت معنی داری از نظر آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

جدول ۴- مقایسه میانگین عناصر نر، روی و گوگرد بر میزان جذب عناصر و بر میزان فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز (هیرید هاپولا ۴۰۱).

افزایش (درصد)	میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (Unit/mg)	میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز (µmol/g FW.min)	افزایش (درصد)	افزایش (درصد)	میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز (µmol/g FW.min)	افزایش (درصد)	جذب عنصر نر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	افزایش (درصد)	جذب عنصر روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	افزایش (درصد)	جذب گوگرد (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	افزایش (درصد)	نیمار
صفر	۰/۴۷ ^f	۰/۴۷ ^f	صفر	۱۰/۲۱ ^f	۳۰/۳۱ ^e	صفر	۲۳۳/۹ ^f	صفر	۳۰/۳۱ ^e	صفر	۲۳۳/۹ ^f	صفر	شاهد
۴	۹/۱۵ ^{de}	۰/۵۳ ^{de}	۷۰	۱۷/۳ ^{bc}	۳۴/۹ ^e	۱۵/۴	۳۹۱/۳ ^e	۷۴/۶	۳۹۱/۳ ^e	۷۴/۶	۳۹۱/۳ ^e	۷۴/۶	نر
۸/۷	۹/۵۷ ^{abcd}	۰/۷۷ ^{ab}	۳۰/۳	۱۳/۳ ^{abc}	۴۱/۱ ^c	۳۶	۴۹۰/۵ ^{abc}	۱۱۹	۴۹۰/۵ ^{abc}	۱۱۹	۴۹۰/۵ ^{abc}	۱۱۹	روی
۶/۸	۹/۴۷ ^{abcd}	۰/۶۴ ^{abc}	۶۱	۱۲/۸ ^{abc}	۳۷/۷ ^{bc}	۲۷	۷۳۰/۵ ^b	۲۲۶	۳۷۷/۱ ^{bc}	۲۲۶	۷۳۰/۵ ^b	۲۲۶	گوگرد
۵/۷	۹/۵۹ ^{abcd}	۰/۵۶ ^{abc}	۶۷	۱۹/۲ ^{ab}	۳۷/۶ ^c	۲۴	۶۰۹/۷ ^{bc}	۱۷۲	۳۷/۶ ^c	۱۷۲	۶۰۹/۷ ^{bc}	۱۷۲	نر + گوگرد
۶/۱۱	۹/۱۷ ^{abc}	۰/۷۷ ^{ab}	۶۳	۱۶/۶ ^{bc}	۴۰/۳ ^{cd}	۳۳/۲	۵۵۹/۹ ^{cd}	۱۵۰	۴۰/۳ ^{cd}	۱۵۰	۵۵۹/۹ ^{cd}	۱۵۰	نر + روی
۶/۱۱	۱۰/۰۳ ^{ab}	۰/۷۷ ^{ab}	۵۶	۱۶/۰ ^{cd}	۴۹/۴ ^d	۶۱/۳	۷۴۵/۵ ^{cd}	۲۳۳	۴۹/۴ ^d	۲۳۳	۷۴۵/۵ ^{cd}	۲۳۳	گوگرد + روی
۶/۱۱	۱۰/۲۴ ^a	۰/۷۷ ^{ab}	۳۵	۲۴ ^{ab}	۴۶/۴ ^b	۵۳	۸۰۲/۸ ^a	۲۵۷	۴۶/۴ ^b	۲۵۷	۸۰۲/۸ ^a	۲۵۷	نر + گوگرد + روی

در هر ستون تیمارهایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، تفاوت معنی‌داری از نظر آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

مقایسه میانگین داده‌ها از نظر جذب عنصر بُر در برگ‌ها نشان داد که تیمار گوگرد + روی + بُر با میانگین ۲۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم و تیمار شاهد بدون کود با میانگین ۱۰/۲۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار را از نظر جذب این عنصر در برگ‌ها داشتند (جدول ۴). که این نتایج با پژوهش‌های بای‌بوردی و مامیدو (۲۰۱۰) در مطالعه تأثیر روی و آهن در عملکرد و اجزای عملکرد کلزا و میزان جذب این دو عنصر در برگ‌ها هم‌خوانی دارد. با توجه به جدول مقایسه میانگین (جدول ۴) کاربرد عناصر گوگرد، روی و بُر به تنهایی باعث افزایش جذب عنصر بُر در برگ‌ها به میزان ۲۶، ۳۰/۳ و ۷۰ درصد نسبت به تیمار شاهد شد و بیش‌ترین افزایش میزان جذب عنصر بُر در برگ‌ها نسبت به تیمار شاهد به میزان ۱۳۵ درصد در تیمار سه کودی دیده شد. در میزان جذب عنصر بُر در برگ‌ها، عنصر بُر و روی تأثیر بیش‌تری نسبت به عنصر گوگرد دارند.

میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز: نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین تیمارهای مورد آزمایش از نظر میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد وجود داشت (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که تیمار روی با میانگین $0.87 \mu\text{mol/g FW.min}$ و تیمار شاهد بدون کود با میانگین $0.47 \mu\text{mol/g FW.min}$ به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار را از نظر میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز داشتند (جدول ۴). نقش روی در فعالیت بسیاری از آنزیم‌ها شناخته شده است (گروتز و گوئرنوت، ۲۰۰۶). به‌نظر می‌رسد که عنصر روی باعث افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز می‌شود که این نتایج با یافته‌های جیانگ و هویانگ (۲۰۰۱) و بای‌بوردی و مامیدو (۲۰۱۰) هم‌خوانی دارد. با توجه به جدول ۴ بیش‌ترین افزایش میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز نسبت به تیمار شاهد به میزان ۸۵/۵ درصد در تیمار روی دیده شد. کاربرد عناصر گوگرد، روی و بُر به تنهایی باعث افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز به میزان ۳۶/۱، ۸۵/۵ و ۱۲/۸ درصد نسبت به تیمار شاهد شد، میزان افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز در ترکیب سه‌تایی به میزان ۷۴/۵ درصد نسبت به تیمار شاهد شد. (جدول ۴).

میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز: نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین تیمارهای مورد آزمایش از نظر میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد وجود داشت (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که تیمار گوگرد + روی + بُر با میانگین 10.24 Unit/mg و تیمار شاهد بدون کود با میانگین 8.8 Unit/mg به ترتیب

بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار را از نظر میزان فعالیت این آنزیم داشتند (جدول ۴). با توجه به جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴) کاربرد عناصر گوگرد، روی و بُر به تنهایی باعث افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به میزان $7/6$ ، $8/7$ و 4 درصد نسبت به تیمار شاهد شد و ترکیب دوگانه کودی باعث افزایش بیش‌تر میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز نسبت به کاربرد تنهایی آن‌ها شد و بیش‌ترین افزایش میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز نسبت به تیمار شاهد به میزان $16/4$ درصد در تیمار سه کودی دیده شد (جدول ۴). به نظر می‌رسد که عنصر روی باعث افزایش فعالیت این آنزیم می‌شود که این نتایج با یافته‌های بایبوردی و مامیدو (۲۰۱۰) هم‌خوانی دارد. به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که عناصر بُر، روی و گوگرد باعث افزایش معنی‌دار در عملکرد کمی و کیفی گیاه کلزا می‌شوند. بنابراین پیشنهاد می‌شود برای تولید کمی و کیفی گیاه کلزا عناصر ضروری پرمصرف و کم‌مصرف با توجه به آزمایش خاک در اختیار گیاه قرار داده شود.

منابع

1. Ahmad, G., Jan, A., Arif, M., and Khattak, R.A. 2007. Influence of nitrogen and sulfur fertilization on quality of canola (*Brassica napus* L.) under rainfed conditions. J. Zhejiang Univ. Sci. 8: 731-737.
2. Alloway, B.J. 2004. Zinc in Soils and crop nutrition. International Zinc Association (IZA).
3. Arora, A., Sairam, R.K., and Srivastava, G.C. 2002. Oxidative Stress and antioxidative system in plants. Plant Phy. 82: 1227-1228.
4. Azizi, M., Soltani, A., and Khavari Khorasani, S. 2006. Brassica oilseeds (Production). JDM Press. (In Farsi)
5. Brown, P.H., Cakmak, I., and Zhang, Q. 1993. Form and function of zinc in plants. J. Plant Nutr. P 93-106, In: Robson, A.D. (ed). Zinc in soil and plants. Kluwar Academic Publishers. Dordecht, the Netherlands.
6. Brown, P.H., Bellaloui, N., Wimmer, M.A., Bassil, E.S., Ruiz, J.Hu.H., Pfeffer, H., Dannel, F., and Romheld, V. 2002. Boron in plant biology. Plant Bio. 4: 205-223.
7. Bybordi, A., and Mamedov, G. 2010. Evaluation of application methods efficiency of zinc and iron for canola (*Brassica napus* L.). Nat. Sci. Bio. 2: 94-103.
8. Cakmak, I. 1997. Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat cultivars grown on zinc-deficient calcareous soils. J. Plant Nutr. 20: 4-5. 461-471.

9. Cakmak, I., and Romheld, V. 1997. Boron deficiency-induced impairments of cellular functions in plant. *Plant Soil*. 193: 71-83.
10. Cakmak, I., Kalayci, M., Ekis, H., Brauni, J., Kilinc, Y., and Yilmaz, A. 1999. Zn Deficiency as a practical problem in plant and human nutrition in Turkey: a NATO-science for stability project. *Field Crops Res.* 60: 175-188.
11. Chen, G., Nian, F.Z., Xu, F.S., and Wang, Y.H. 2005. Effect of boron and molybdenum on yield and quality of two rapeseed cultivars. *Plant Nutr. Fert. Sci.* 11: 243-247.
12. Das, K., Dang, R., Shivananda, T.N., and Sur, P. 2005. Interaction between phosphorus and zinc on the biomass yield and yield attributes of the medicinal plant stevia (*Stevia rebaudiana*). *Sci. World J.* 5: 390-395.
13. Dell, B., and Huang, L.B. 1997. Physiological response of plants to low boron. *Plant Soil*. 193: 103-120.
14. El-Gazzar, A.M., Wallace, A., and Rokba, A.M. 1997. Growth and Leaf Mineral Composition of Oranges, Olive, Plums and Grapes as Influenced by Calcium Carbonate Addition to the Soil in a Greenhouse. *Egypt. J. Hort. Sci.* 2: 141-149.
15. Fang, Y., Wang, L., Xin, Z., Zhao, L., An, X., and Hu, Q. 2008. Effect of foliar application of zinc, selenium, and iron fertilizers on nutrients concentration and yield of rice grain in China. *J. Agri. Food Chem.* 56: 2079-2084.
16. George, R., and Michael, S. 2007. Zinc for crop production. Available online at: http://www.extension.umn.edu/distribution/crops_systems.
17. Giannopolities, C., and Ries, S. 1977. Superoxide dismutase. Part 1: Occurrence in higher plants. *J. Plant Physiol.* 59: 309-314.
18. Goldbach, H.E., Yu, Q., Wingender, R., Schulz, M., Wimmer, M., Findeklee, P., and Baluska, P.F. 2001. Rapid response reaction of roots to boron deprivation. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 164: 173-181.
19. Grawel, H.S., and Graham, R. 1999. Residual effect of subsoil zinc and oilseed rape genotype on the grain yield and distribution of zinc in wheat. *Plant Soil*. 207: 29-36.
20. Heitholt, J.J., Sloan, J.J., and Mackown, C.T. 2002. Copper, manganese and Zinc fertilization effects on growth of soybean on a calcareous soil. *J. Plant Nutr.* 25: 1727-1740.
21. Huang, L.B., Pant, J., Dell, B., and Bell, R.W. 2000. Effects of boron deficiency on anther development and floret fertility in wheat (*Triticum aestivum* L. 'Wilgoyne'). *Ann. Bot.* 85: 493-500.
22. In, B.C., Motomura, S., Inamoto, K., Doi, M., and Mori, G. 2007. Multivariate analysis of relations between pre-harvest environmental factors, postharvest morphological and physiological factors and vase life of cut Asomi Red Roses. *Japan. Soc. Hort. Sci.* 76: 66-72.
23. Jiang, Y., and Huang, B. 2001. Drought and heat stress injury to two cool-season turf grasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation.

- Crop Sci. 41: 436-442.
24. Malakouti, M.J., and Tehrani, M. 2006. Effects of micronutrients on the yield and quality of agricultural products (micro-nutrients with macro-effect). Academic Works Publication Office of Tarbiat Modares University with Soil and Water Institute Cooperation. (In Persian)
25. Malhi, S.S., Gan, Y., and Raney, J.P. 2007. Yield, seed quality and sulfur uptake of Brassica oilseed crops in response to sulfur fertilization. *Agron. J.* 99: 570-577.
26. Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. Academic Press. New York.
27. Masoni, A., Evacoli, A., and Mavoti, M. 1996. Spectral of leaves deficient in iron, sulphur, Magnesium and manganese. *Agron. J.* 88: 6. 937-943.
28. Matoh, T. 1997. Boron in plant cell walls. *Plant Soil.* 193: 59-70.
29. Mc-Grath, S.P., and Zhao, F.J. 1996. Sulphur uptake, yield response and the interaction between N and S in winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). *J. Agric. Sci.* 126: 53-62.
30. Mei, Y., Lei, S.H., Fang-Sen, X., Jian-wei, L.U., and Yun-Hua, W. 2009. Effect of B, Mo, Zn, and Their Interactions on Seed Yield of Rapeseed (*Brassica napus* L.). *J. Soil Sci. Soc. China.* 19: 1. 53-59.
31. Meier, U. 2001. Growth stages of mono-and dicotyledonous plants. Berlin; Wien: Blackwell Wiss-Verlag.
32. Mittler, R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Sci.* 7: 405-410.
33. Nabi, G., Rafique, E., and Salim, M. 2006. Boron nutrition of four sweet pepper cultivars grown in boron-deficient soil. *J. Plant Nutr.* 29: 717-725.
34. Nasef, M.A., Badran, N.M., and Abd El-Hamide, A.F. 2006. Response of Peanut to Foliar Spray with Boron and/or rhizobium inoculation. *J. Appl. Sci. Res.* 2: 12. 1330-1337.
35. Pandey, N., Pathak, G.C., and Sharma, C.P. 2006. Zinc is critically required for pollen function and fertilization in lentil. *J. Trace Elem. Med. Biol.* 20: 89-96.
36. Pedler, J.F., Parker, D.R., and Crowley, D.E. 2000. Zinc Deficiency-induced phytosiderophore release by the Triticaleae is not consistently expressed in solution culture. *Plantata.* 211: 120-126.
37. Rathinavel, K., Dharmalingam, C., and Paneersel vam, S. 2000. Effect of micronutrient on the productivity and quality of cotton seed cv. TCB 209 (*Gossypium barbadense* L.). *Madrise Agri. J.* 86: 313-316.
38. Rehem, G.W., Fendter, W.E., and Overdahi, C.J. 1998. Boron for Minnesota soils. University of Minnesota Extension Service. Available online at: <http://www.Extantion Umn. Edv>.
39. Roe, N.E., Stoffella, P.J., and Greatz, D. 1997. Comparison of canola (*Brassica campestris* L.) and (*Brassica napus* L.) oilseed rape using different growth regulators plant population densities and irrigation treatments. *J. Agric.*

- Sci. 77: 177-187.
40. Sharma, D.N., Khadar, V.K., Sharma, R.A., and Singh, D. 1991. Effect of different doses and sources of sulphur on the quality and yield of mustard (*Brassica juncea* L.). J. Ind. Soc. Soil Sci. 39: 197-200.
41. Vitosh, M.L., Warneke, D.D., and Lucas, R.E. 1994. Zinc determine of crop and soil, Michigan State University Extension. Available online at: <http://www.msue.msu.edu/msue/imp/modify>.
42. Welch, R.M. 1995. Micronutrient nutrition of plants. CRC Crit. Rev. Plant Sci. J. 14: 49-82.



Effects of zinc, boron and sulfur on seed oil, yield and activity of some antioxidant enzymes in rapeseed

***M. Majidian**

Assistant Prof., Dept. Agronomy and Plant Breeding, University of Guilan
Received: 12/29/2012; Accepted: 08/07/2014

Abstract

In order to evaluate the effects of zinc, boron and sulfur elements on quantitative and qualitative agronomic characteristics of rapeseed var. Hyola 401, an experiment was conducted in the Rice Research Institution of Iran, Guilan province, Rasht, Iran, in 2010. A field experiment with randomized complete blocks design was performed with eight treatments in three replicates. The treatments consisted control, Zn, B, S, Zn+S, Zn+B, B+S, and S+B+Zn. Sulfur treatment was added at 100 kg ha⁻¹ rate before sowing, boron and zinc were added equal up to at the ratio of 1.5 kg ha⁻¹ were applied to the soil. Analysis of variance showed that effects of fertilizer treatments on siliques number per plant, seed number per silique thousand-seed weight and seed yield were significant ($P < 0.01$). Minimum seed oil and seed yield were obtained from control treatments and highest seed yield were obtained from S+B+Zn treatments. Comparison of the various methods showed that maximum leaf sulfur and boron concentration were obtained from S+B+Zn treatments and the minimum from control treatment. However, the highest superoxide dismutase and catalase activity were obtained from S+B+Zn treatments 10.24 IU/g.fw and 0.14 $\mu\text{mol/g FW}\cdot\text{min}$, respectively and the highest peroxidase activity were obtained from Zn treatment 0.87 $\mu\text{mol/g FW}\cdot\text{min}$. Also, the greatest leaf zinc concentration was obtained from S+B treatments. Therefore this research showed that application of B, S and Zn fertilizers with NPK fertilizer can help to increase yield and yield components of rapeseed.

Keywords: Boron, Rapeseed, Peroxides, Sulfur, Superoxide dismutase, Zinc

* Corresponding Author; Email: ma_majidian@yahoo.com