نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۴، شماره ۱، بهار ۱۳۹۵، ص. ۱۷۰-۱۵۴

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 14, No. 1, Spring. 2016, p. 154-170

تأثیر زئولیت و محلول‌پاشی سلنیوم و سیلسیوم بر عملکرد، اجزای عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک کلزا تحت شرایط تنش شوری

احمد بای بوردی[۱*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۴/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۶/۱۱

چکیده

کلزا به دلیل داشتن صفات و ویژگی‌هایی نظیر ترکیب مناسب اسیدهای چرب، توانایی جوانه‌زنی و رشد در دماهای پایین و سازگاری نسبتاً خوب این گیاه با شرایط آب و هوایی مختل، امکان کشت در مناطق وسیعی از کشور را دارد. این گیاه پر نیاز و کودپذیر بوده و در طول دوره رشد خود مقادیر قابل توجهی از عناصر غذایی را از خاک برداشت می‌کند. به منظور بررسی تأثیر مصرف خاکی زئولیت و محلول‌پاشی سلنیوم و سیلسیوم بر عملکرد، اجزای عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک کلزا تحت شرایط تنش شوری آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی طی دو سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ و ۹۲-۱۳۹۱ در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی انجام شد. زئولیت در سه سطح (صفر، ۵ و۱۰ تن در هکتار) به‌صورت خاک مصرف و سلنیوم و سیلسیوم هرکدام در سه سطح (صفر، دو و چهار گرم در لیتر) به‌صورت محلول‌پاشی مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب داده‌های دو سال آزمایش نشان داد که اثر سال بر تمام صفات مورد بررسی به‌جز تعداد خورجین، تعداد دانه در خورجین، لینولییک اسید، محتوی کلروفیل و فعالیت آنزیم پراکسیداز معنی‌دار بود همچنین نتایج نشان داد که اثر اصلی زئولیت، سلنیوم و سیلسیوم بر تمام صفات مورد بررسی معنی‌دار می‌باشد. هرچند محتوی نسبی آب برگ و فعالیت آنزیم پراکسیداز تحت تأثیر تیمار سیلسیوم غیر معنی‌دار بود. مقایسه میانگین نشان داد که اثرات متقابل سه جانبه تیمارها بر وزن دانه، عملکرد دانه، عملکرد زیست توده، محتوی کلروفیل، فتوسنتز، محتوی نسبی آب برگ و فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان معنی‌دار می‌باشد. صفاتی نظیر وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد زیست توده، شاخص برداشت، درصد روغن، درصد لینولنیک اسید، فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و محتوی سدیم برگ در سال دوم نسبت به سال اول افزایش معنی‌داری نشان داد. زئولیت سبب افزایش تعداد خورجین و تعداد دانه در خورجین گردید. همچنین شاخص برداشت به‌طور معنی‌داری با افزایش مصرف زئولیت افزایش نشان داد. نتایج نشان داد که سلنیوم سبب افزایش تعداد خورجین، تعداد دانه در خورجین و شاخص برداشت شده است. محلول‌پاشی سیلسیوم نیز به‌طور معنی‌داری سبب افزایش تعداد خورجین، تعداد دانه در خورجین و شاخص برداشت شد. در نهایت بیشترین عملکرد دانه (۳۰۰۹/۹۲ کیلوگرم درهکتار) و عملکرد زیست توده (۱۰۸۷۷۸ کیلوگرم درهکتار) از تیمار ۱۰ درصد وزنی زئولیت به همراه محلول‌پاشی ۴ گرم در لیتر سلنیوم و ۴ گرم در لیتر سیلسیوم به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: تحمل، کلزا، عناصر اصلاح‌کننده

مقدمه

تنش شوری عامل محدودکننده مهمی در تولید محصولات کشاورزی است (۲۳). اراضی کشاورزی شور نیاز به یک مدیریت ویژه برای اصلاح و همچین تعیین ژنوتیپ متحمل مناسب جهت رشد مناسب و تولید محصول اقتصادی دارند. تنش شوری بر تعادل جذب عناصر غذایی نیز در بافت‌های گیاهی اثر می‌گذارد (۴۴). افزایش تنش شوری سبب افزایش محتوی سدیم و کلر در گیاه شده و موجب ایجاد مسمومیت در گیاه شود (۴۸). تنش شوری دارای سه اثر که از جذب برخی عناصر به دلیل آنتاگونیست بودن جلوگیری می‌نماید مانند یون سدیم که از جذب یون پتاسیم جلوگیری می‌کند اثر مضر در گیاه می‌باشد اولاً تنش شوری با ایجاد سمیت در گیاه سبب کاهش رشد شده و از سوی دیگر با ایجاد پتانسیل اسمزی از جذب آب و مواد غذایی جلوگیری به‌عمل می‌آورد (۱۴). کاهش رشد گیاه در نتیجه تنش شوری در گونه‌های مختلف گیاهی گزارش شده است (۳ و ۵). سطح برگ به‌طور چشمگیری در اثر تنش شوری کاهش می‌یابد (۲). ریچاردسون و مک کری (۴۵) گزارش کردند که تحمل بالا در گیاهان متأثر از تنش شوری می‌تواند سبب توسعه بیشتر

۱- استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی
(*- نویسنده مسئول: Email: ahmad.bybordi@gmail.com)

برگ و جذب بیشتر کربن تحت شرایط تنش شوری شود. همچنین تنش شوری می‌تواند سبب تغییر در میزان و ترکیب اسیدهای چرب گردد. در حقیقت کلزا (*Brassica napus*) یک منبع غنی اولییک، لینولییک و لینولنیک اسید می‌باشد. اگرچه این مقدار از رقمی‌به رقم دیگر و همچنین شرایط اقلیمی متفاوت می‌باشد.

تحقیقات بسیاری در مورد استفاده از مواد افزودنی به خاک به منظور افزایش اثرگذاری این مواد بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی انجام شده است که از آن جمله می‌توان به کانی‌های طبیعی زئولیت اشاره کرد. زئولیت در اراضی کشاورزی به دلیل افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و تمایل زیاد برای جذب و نگهداری آمونیوم، می‌تواند نقش مؤثری در کاهش شستشوی عناصر غذایی خاک و حفظ رطوبت موجود در خاک داشته باشند. زئولیت‌ها مواد متخلخلی هستند که با ساختمان کریستالی خود مانند غربال مولکولی عمل کرده و به دلیل داشتن کانال‌های باز در شبکه خود، اجازه عبور برخی از یون‌ها را داده و مسیر عبور بعضی از یون‌های دیگر را مسدود می‌کنند (۶ و ۳۸). جذب انتخابی و آزادسازی کنترل شده عناصر غذایی توسط زئولیت باعث می‌شود هنگامی که این مواد به‌عنوان اصلاح‌کننده به خاک اضافه می‌شوند، از طریق افزایش فراهمی طولانی مدت عناصر غذایی و رطوبت به بهبود رشد گیاه کمک کنند (۴۳). با توجه به ویژگی‌های منحصر به فرد زئولیت‌ها از قبیل ظرفیت تبادل کاتیونی بالا، جذب انتخابی کاتیون‌های مفید مانند آمونیوم و آزادسازی کنترل شده آنها (۳۸) ثبات چارچوب ساختمانی در دراز مدت، وفور قابل توجه زئولیت‌های طبیعی در کشور، استخراج آسان و سرانجام قیمت اقتصادی مناسب، به‌کارگیری این ماده جهت تحقیقات مربوط به تغذیه گیاهی، تنش‌های محیطی و بهینه‌سازی مصرف کود می‌تواند حائز اهمیت باشد و سبب بهبود رشد گیاهان زراعی شود (۴۰). عناصر غذایی مختلفی جهت رشد و نمو گیاهان شناخته شده‌اند که در فرآیندهای متابولیک و فیزیولوژیک گیاه نقش‌های مختلفی دارند. از بین عناصر موجود، سلنیوم به‌عنوان یک عنصر غیر ضروری برای گیاهان اما ضروری برای جانوران و انسان شناخته شده است اگرچه نقش آن در گیاهان هنوز به درستی شناخته نشده است اما نتایج تحقیقات نشان داده است که این عنصر در فیزیولوژی و متابولیسم گیاهان نقش دارد (۱۱ و ۵۱). در بیشتر گیاهان زراعی از جمله غلات و گیاهان علوفه‌ای قدرت جذب سلنیوم حتی در خاک‌های غنی از سلنیوم ضعیف می‌باشد (۳۹). سلنیوم از نظر خواص شیمیایی مشابه گوگرد می‌باشد این تشابه ممکن است در فرآیندهای جایگزینی سلول تأثیر بگذارد و سلنیوم جایگزین گوگرد در پروتیئن‌ها و دیگر ترکیبات گوگردی شود (۳۹). همچنین مدارکی دال بر اثرات مثبت سلنیوم در گیاهان مشاهده شده است (۱۸ و ۲۲). سلنیوم باعث افزایش مقاومت گیاهان به تشعشع پرتو فرابنفش، کاهش تنش‌های اکسیداتیو و به تأخیر انداختن پیری می‌شود (۵۵). همچنین گزارش شده است که گیاهانی که با سلنیوم تغذیه شده‌اند تجمع نشاسته در کلروپلاست‌های آنها افزایش یافته است (۴۱). نقش تنظیم‌کنندگی سلنیوم در وضعیت آبی گیاه تحت شرایط تنش خشکی نیز بررسی شده است و اثرات حفاظتی آن به اثبات رسیده است (۲۹). سلنیوم باعث جلوگیری از تخریب کلروفیل در شرایط تنش‌های محیطی (۴۶) و سبب افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در گیاهان تنش دیده می‌شود (۱۵). از دیگر اثرهای سودمند سلنیوم می‌توان به افزایش رشد، متابولیسم کربوهیدرات‌ها اشاره کرد (۵۵).

سیلسیوم، دومین عنصر فراوان پوسته زمین بوده و بیشتر در ساختار گیاه نقش دارد اما نقش بیولوژیک آن در گیاهان به خوبی شناخته نشده است (۳۱). اگرچه سیلسیوم به‌عنوان عنصر ضروری در گیاهان محسوب نمی‌شود اما گزارشات زیادی مبنی بر نقش آن در مقابل تنش‌های زیستی و غیر زیستی در گیاهان علفی ارائه شده است (۲۶). همچنین ثابت شده است که سیلسیوم نقش مفیدی در رشد تعداد زیادی از گیاهان رشد کرده تحت تنش های محیطی را دارا می‌باشد (۳۲). برخی مکانیسیم‌هایی که در آن سیلسیوم سبب افزایش مقاومت به شوری می‌شود شامل کاهش تحرک سدیم در گیاه (۳۲) کاهش جذب سدیم و افزایش جذب پتاسیم می‌باشد (۳۳) همچنین افزایش نسبت پتاسیم به سدیم منجر افزایش مقاومت به شوری می‌شوند (۲۳). گزارش شده است که سیلسیوم دارای اهمیت حیاتی در بهبود رشد گیاه تحت تنش شوری می‌باشد (۵۰).

در این تحقیق به بررسی اثر زئولیت، سلنیوم و سیلسیوم به‌عنوان مواد ضد تنش روی کلزا در شرایط تنش شوری پرداخته شده است. زئولیت به‌عنوان یک ماده بهبوددهنده خاک و تعدیل‌کننده تنش خشکی ناشی از وجود نمک در خاک و سلنیوم و سیلسیوم به‌عنوان عناصر مؤثر در افزایش مقاومت گیاه به تنش شوری به‌صورت محلول‌پاشی استفاده شدند. کاهش اثر تنش شوری و نحوه تأثیر این دو ماده بر رشد و افزایش عملکرد کلزا از اهداف این پژوهش به شمار می‌رود.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر مصرف خاکی زئولیت و محلول‌پاشی سلنیوم و سیلسیوم بر صفات زراعی و برخی صفات فیزیولوژیک کلزا تحت تنش شوری آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی طی دو سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ و ۹۲-۱۳۹۱ در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی انجام شد. داده‌های هواشناسی در جدول ۱ ارائه شده‌اند. زئولیت به‌عنوان عامل اول در سه سطح (صفر، ۵ و۱۰ تن در هکتار) به‌صورت خاک مصرف و سلنیوم و سیلسیوم به‌عنوان عامل‌های دوم و سوم هرکدام در سه سطح (صفر، دو و چهار گرم در لیتر) به‌صورت محلول‌پاشی مورد

بررسی قرار گرفتند. بدین منظور قطعه زمینی با شوری ۴ دسی زیمنس بر متر (نتایج تجزیه خاک در جدول ۲ نشان داده شده است) در نظر گرفته شد و پس از کرت‌بندی ۵ و ۱۰ تن در هکتار زئولیت با خاک مخلوط گردید. سپس بذرهای کلزا رقم اوکاپی در کرت‌ها کشت شدند. آبیاری با آب چاه محلی که نتیجه تجزیه آن در جدول ۳ نشان داد شده است طی دوره رشد براساس ۶۰ درصد ظرفیت زراعی صورت گرفت. جهت اعمال تیمار محلول پاشی سیلیسیوم و سیلیسیوم به‌ترتیب از سلنات پتاسیم (K_2SeO_4) و سیلیکات پتاسیم (K_2SiO_3) استفاده شد. غلظت‌های مورد مطالعه در مرحله روزت و ساقه رفتن با استفاده از سمپاش دستی محلول‌پاشی شدند به‌طوری‌که تمام گیاهان مرطوب شدند. در مرحله گلدهی میزان فتوسنتز با استفاده از دستگاه Meteodata-256, Geonica, Madrid, Spain اندازه‌گیری شد و سپس نمونه‌های برگی به‌طور تصادفی به منظور سنجش غلظت کلروفیل، محتوی نسبی آب برگ، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپر اکسید دیسموتاز، محتوی مالون‌دی‌آلدهید، و غلظت سدیم و پتاسیم برگ از برگ‌های کاملاً توسعه یافته و سالم نمونه‌برداری و در نیتروژن مایع منجمد شدند. همزمان محتوی نسبی آب برگ براساس معادله زیر محاسبه شد.

۱۰۰ × وزن اشباع − وزن خشک/ وزن خشک − وزن تر = درصد محتوی آب نسبی

در انتهای مرحله رشد صفات زراعی شامل تعداد خورجین، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد زیست توده و شاخص برداشت اندازه‌گیری شدند. درصد روغن با استفاده از دستگاه N.M.R محاسبه شد همچنین درصد اسیدهای چرب اولییک، لینولییک و لینولنیک بذور با استفاده از روش کروماتوگرافی گازی تعیین گردید (۳۷).

میزان کلروفیل به روش آرنون (۴) مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین غلظت مالون‌دی آلدهید با اندازه‌گیری جذب در طول موج‌های ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر و با استفاده از ضریب خاموشی (μM ε=۱۵۵ cm^{-1}) محاسبه شد (۱۲). به منظور تهیه عصاره آنزیمی، بافت برگ با استفاده از ۴ میلی‌لیتر بافر پتاسیم فسفات عصاره‌گیری شد. سپس عصاره به‌دست آمده در دور ۱۵۰۰۰ هزار دور به مدت ۳۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید. محلول شفاف رویی جهت بررسی فعالیت آنزیمی مورد استفاده قرار گرفت. فعالیت آنزیم کاتالاز با استفاده از روش چاخ ماخ و هورست (۸) اندازه‌گیری شد. مخلوط واکنش شامل ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی، ۵۰۰ میکرولیتر آب اکسیژنه ۱۰ میلی‌مولار و ۱۴۰۰ میکرولیتر بافر ۲۵ میلی‌مولار بود. کاهش در جذب در طول موج ۲۴۰ نانومتر به مدت ۱ دقیقه ثبت گردید.

جدول ۱- برخی پارامترهای هواشناسی دو سال آزمایش

Tabele 1- Some meteorological parameters during both years of the experiment

	دمای حد اکثر Maximum temeperature	دمای حداقل Minimum temperature	میانگین سالیانه رطوبت نسبی (٪) The mean annual relative humidity (%)	مجموع ساعات آفتابی Total sunny hours	مجموع بارندگی سالیانه (mm) Total annual rainfall (mm)
سال اول First year	4.8	9.5	20	142.2	298.8
سال دوم Second year	8.9	5.0	22	162.6	345.6

جدول ۲- نتیجه تجزیه شیمیایی آب آبیاری محل آزمایش

Table 2- Irrigation water chemical analysis

ppm						pH	EC (dS m^{-1})
$Ca + Mg$	Na^+	Cl^{-1}	SO_4^{2-}	HCO_3^-	CO_3^-		
25	41	60	2.5	3.6	0	8.1	4

جدول ۳- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

Table 3- Soil chemical and physical analysis

Se (mg kg^{-1})	Si (mg kg^{-1})	Mn (mg kg^{-1})	Fe (mg kg^{-1})	Cu (mg kg^{-1})	Zn (mg kg^{-1})	K (mg kg^{-1})	P (mg kg^{-1})	N (%)	P.C (%)	T.N.V (%)	pH	EC (dS m^{-1})
0.1	8	5.32	10.40	2.90	9.4	541	21.30	0.02	0.30	5.50	7.10	1.31

برای سنجش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز به روش بردفورد در طول موج ۵۶۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر قرائت شد (۱۹).

از نرم افزار SAS برای تجزیه مرکب داده‌ها استفاده شد. آزمون بارتلت برای تست یکنواختی واریانس‌ها انجام شد و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ($P<۰/۰۵$) استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب داده‌های دو سال آزمایش نشان داد که اثر سال بر تمام صفات مورد بررسی به جز تعداد خورجین، تعداد دانه در خورجین، لینولییک اسید، محتوی کلروفیل و فعالیت آنزیم پراکسیداز معنی‌دار بود (جدول ۴). همچنین مشاهده شد که اثر اصلی زئولیت، سلنیوم و سیلسیوم بر تمام صفات، معنی‌دار بود به جز اینکه محلول‌پاشی گیاهان با سیلسیوم بر محتوی نسبی آب برگ و فعالیت آنزیم پراکسیداز غیرمعنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج نشان داد که اثرات متقابل سه‌گانه بین زئولیت، سلنیوم و سیلسیوم بر وزن وزن تک دانه عملکرد دانه، عملکرد زیست توده، کلروفیل، فتوسنتز، محتوی نسبی آب برگ، و فعالیت آنزیم کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز معنی‌دار بود (جدول ۴).

صفاتی نظیر وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد زیست توده، شاخص برداشت، درصد روغن، درصد لینولنیک اسید، فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و محتوی سدیم برگ در سال دوم نسبت به سال اول افزایش معنی‌داری نشان داد (جدول ۵).

با توجه به جدول ۶، مشاهده می‌شود که مصرف زئولیت سبب افزایش تعداد خورجین و تعداد دانه در خورجین گردیده است. افزایش تعداد خورجین و تعداد دانه در خورجین در اثر مصرف زئولیت احتمالاً ناشی از بهبود پویایی عناصر و افزایش دسترسی به آب می‌باشد. علاوه بر این افزایش رشد و تولید بیشتر خورجین و دانه می‌تواند به دلیل وجود عناصر موجود در زئولیت نیز باشد. گزارش شده است که در پی استفاده از زئولیت در خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی، ظرفیت نگهداری آب در خاک و جذب و انتقال عناصر در گیاه افزایش می‌یابد (۴۳). مراحل نمو زایشی، مانند گل‌دهی، گرده‌افشانی و پر شدن دانه‌ها حساس‌ترین مراحل به تنش خشکی و شوری می‌باشند لذا هرگونه کاهش در تأمین آب چه درتنش خشکی و در تنش شوری سبب کاهش جذب عناصر شده و منجر به کاهش تولید فرآورده‌های فتوسنتزی و انتقال آنها به دانه‌ها می‌شود. اثر مثبت زئولیت بر تعداد خورجین و تعداد دانه در خورجین می‌تواند به افزایش فراهمی نیتروژن و جلوگیری از آبشویی آن نیز نسبت داده شود. مشابه این نتایج در مطالعات سینگ و بهارگاوا (۴۹) گزارش شده است.

شاخص برداشت به‌طور معنی‌داری با افزایش مصرف زئولیت افزایش یافت (جدول ۶). افزایش در شاخص برداشت بیانگر این حقیقت است که زئولیت توانسته است همراه با افزایش رشد رویشی به‌عنوان عملکرد زیست توده، سبب افزایش عملکرد دانه یا عملکرد اقتصادی نیز شد. این افزایش در شاخص برداشت ناشی از افزایش تولید دانه می‌باشد که خود به دلیل افزایش رشد رویشی و فتوسنتز بیشتر توسط گیاه می‌باشد.

درصد روغن دانه با افزایش مصرف زئولیت افزایش یافت (جدول ۶). علت کمتر بودن درصد روغن در تیمار شاهد (بدون مصرف زئولیت) کاهش فتوسنتز جاری و انتقال مجدد مواد به دانه می‌باشد که باعث کوتاه شدن دوره پر شدن دانه شده و سبب کاهش روغن دانه می‌گردد. مندهام و همکاران (۳۶) ثابت نمودند در شرایطی که رسیدگی محصول در شرایط تنش انجام می‌شود، درصد روغن کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد که زئولیت با دارا بودن ظرفیت تبادل کاتیونی بالا سبب نگهداری بیشتر آب و مواد غذایی در خاک شده و از این طریق سبب بهبود رشد و افزایش درصد روغن گردیده است. نتایج مشابهی توسط شهسواری و همکاران (۴۷) به‌دست آمده است آنها گزارش نمودند که افزایش دسترسی به آب سبب افزایش کربوهیدرات‌های مورد نیاز برای سنتز روغن می‌شود. زاهدی و همکاران (۵۶) نشان دادند که زئولیت سبب افزایش درصد روغن می‌شود. قابل ذکر است که درصد اسیدهای چرب اولییک، لینولییک و لینولنیک با افزایش مصرف زئولیت در خاک افزایش یافت (جدول ۶). گزارش شده است که تنش طی دوره گل‌دهی بر ترکیب اسیدهای چرب و میزان روغن اثر می‌گذارد (۷). در نتیجه این افزایش در درصد روغن و اسیدهای چرب را می‌توان به اثرات بهبود دهنده زئولیت در خاک نسبت داد.

استفاده از زئولیت سبب کاهش خطی محتوی مالون‌دی‌آلدهید به‌عنوان فرآورده نهایی پراکسیداسیون لیپیدی غشاء شد (جدول ۶). به نظر می‌رسد که زئولیت از طریق نگهداری بیشتر آب در خاک سبب خنثی شدن اثر مضر تنش شوری و تنش خشکی القاء شده به‌وسیله آن شده است. تنش شوری سبب کاهش یا متوقف شدن رشد از طریق تأثیر برفرآیندهای فیزیولوژیک حیاتی مانند فتوسنتز و یا تأثیر بر جذب و انتقال آب و مواد غذایی توسط گیاه می‌شود (۴۲). چنین به نظر می‌رسد که زئولیت با افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک توانسته است تا حدودی از اثر تنش شوری، از طریق تسهیل جذب آب و مواد غذایی، بکاهد و حتی نیاز گیاه را به آبیاری کاهش دهد و بدین ترتیب گیاه در دوره‌ای طولانی‌تر توانسته به جذب آب و مواد غذایی بپردازد و از تنش در امان بماند.

جدول ٤- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مختلف کلزا تحت تأثیر سال، زئولیت، سلنیوم و سیلیکون

Table 4- Analysis of variance (mean square) on some canola traits as affected by year, zeolite, selenium and silicon

منابع تغییر	d.f	Pods(تعدادغلاف)	Seed per pods (تعداد دانه درغلاف)	1000 seeds weight (وزن هزار دانه)	Yield (عملکرد)	Biomass (عملکرد زیست توده)	Harvest Index (شاخص برداشت)	Fat (%) روغن	Oleic acid (%) اسید اولیک	Linoleic acid (%) اسید لینو لییک	Linolenic acid (%) اسید لینو لنیک
سال(year)	1	19.49ns	1.70ns	8.05**	2830349.19**	17544278808**	850.82**	21.57**	446.67**	0.00ns	163.92**
تکرار(riplication)	2	131.16**	8.31**	0.79**	1249429.26**	4439535579**	567.89**	33.71**	21.15**	16.00**	25.56**
(riplication)×(year)سال× (riplication)تکرار	2	8.53ns	14.08**	0.84**	167329.71**	10676225861**	1579.58**	1.91**	43.89**	0.92*	7.21**
سلنیوم(selenium)	2	150.93**	63.19**	1.56**	373510.41**	5375688213**	343.72**	11.99**	21.74**	9.86**	9.46**
(year)×(selenium)سال×سلنیوم	2	3.74ns	7.73**	0.07*	20662.15ns	286424640*	26.14*	0.87ns	0.73ns	0.42ns	0.40ns
(riplication) selenium) (year)سال×تکرار×سلنیوم	8	3.05ns	2.64**	0.04*	7046.24ns	94031957 ns	10.85ns	0.22ns	0.23ns	0.41ns	0.37ns
زئولیت(zeolite)	2	525.03**	235.41**	5.95**	3436478.04**	35102362723**	1931.57**	135.71**	208.06**	99.71**	96.94**
(year)×(zeolite)سال×زئولیت	2	25.22*	3.64**	0.00ns	259233.74**	238807545*	4.96.ns	10.21**	5.29**	6.34**	10.32**
سیلیکون(silicon)	2	46.29**	17.98**	0.65**	64359.45**	1510104790**	116.49**	2.02**	1.78**	0.92*	1.11*
سال ×سیلیکون(year)×(silicon)	2	3.28ns	1.94ns	0.01ns	3083.41ns	88711896 ns	10.89ns	0.12ns	0.06ns	0.01ns	0.05ns
زئولیت× سلنیوم(silicon) ×(zeolite)	4	1.86ns	1.07ns	0.05**	1520.32**	106168344**	8.72ns	0.08ns	0.55ns	0.36ns	0.48ns
سال×زئولیت×سلنیوم(year) (zeolite) selenium)	4	2.42ns	0.52ns	0.01ns	2104.32ns	119209379 ns	14.39ns	0.07ns	0.07ns	0.40ns	0.60*
سلنیوم×سیلیکون(silicon)×(selenium)	4	0.43ns	0.07ns	0.04**	1062.56ns	13742297**	2.39ns	0.01ns	0.00ns	0.06ns	0.08ns
سال×سلنیوم×سیلیکون(year) (silicon) selenium)	4	0.51ns	0.16ns	0.00**	3389.37ns	36263540ns	2.78 ns	0.02ns	0.05ns	0.11ns	0.22ns
زئولیت×سیلیکون	4	0.26ns	0.26ns	0.01**	1418.60ns	58841130**	6.22 ns	0.04ns	0.13ns	0.13ns	0.26ns
سال×زئولیت× سیلیکون(silicon) selenium) (zeolite) (year)	4	2.57ns	0.59ns	0.00ns	400.21ns	48276463 ns	6.60 ns	0.01ns	0.01ns	0.15ns	0.45ns
زئولیت×سلنیوم ×سیلیکون	8	1.95ns	0.06ns	0.00**	1107.03**	38602267**	4.98 ns	0.03ns	0.06ns	0.07ns	0.24ns
سال×زئولیت×سلنیوم×سیلیکون(silicon) selenium) (zeolite) (year)	8	2.49ns	0.17ns	0.00ns	1753.66ns	62137658ns	8.18 ns	0.01ns	0.05ns	0.08ns	0.30ns
خطا(error)	96	6.31	0.68	0.01	10145.91	59871800.25	8.06	0.36	0.30	0.22	0.23
ضریب تغییرات (٪) (٪) Coefficient of variation			4.56	3.28	3.50	7.86	8.40	1.61	0.98	1.95	3.53

*، ** و ns معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ۱ درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار

*, ** and ns: significant at 0.05, 0.01 and Non significant, respectively

ادامه جدول ٤ – تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مختلف کلزا تحت تأثیر سال، زئولیت، سلنیوم و سیلیکون

Table 4- (to be continiued) Analysis of variamce (mean square) on some canola traits as affected by year, zeolite, selenium and silicon

Na	K	MDA	SOD	GPX	CAT	R.W.C(%)	Photosynthesis	Chlorophyll	D.f	منابع تغییر
سدیم برگ	پتاسیم برگ	مالون دی آلدهید	سوپراکسیددیسموتاز	پراکسیداز	کاتالاز	محتوی نسبی آب	فتو سنتز	کلروفیل		
22.71**	0.69**	0.00 *	7095.58**	0.02 ns	42.71**	1789.34**	5.10**	0.00 ns	1	سال(year)
0.68**	0.93**	0.04**	1004.18**	55.57**	4.46**	72.49**	2.20**	0.28**	2	تکرار(riplication)
0.74**	0.32**	0.41**	10630.02**	11.89**	41.92**	751.12**	5.31**	0.26**	2	تکرار(riplication) ×سال(year)
1.67**	1.18**	0.09**	12623.47**	28.85**	2.88**	1055.92**	15.04**	1.56**	2	سلنیوم(selenium)
0.00ns	0.04ns	0.00ns	41.71ns	1.26**	0.15ns	107.77**	0.03 ns	0.00 ns	2	سال×سلنیوم(selenium) ×(year)
0.01ns	0.03ns	0.00ns	25.38ns	0.10ns	0.14ns	24.20**	0.05 ns	0.00 ns	8	تکرار×سلنیوم(year) (riplication) selenium
8.10**	3.76**	0.92**	46233.44**	170.39**	51.26**	2353.31**	61.80**	5.42**	2	زئولیت(zeolite)
0.93**	0.61**	0.00*	160.24*	12.00**	9.02**	35.75**	0.32 *	0.01 ns	2	سال×زئولیت(zeolite) ×(year)
0.36**	0.65**	0.00**	921.80**	0.60ns	25.92**	15.47ns	1.68**	0.29**	2	سیلیکون(silicon)
0.02ns	0.07ns	0.00ns	44.88ns	0.75*	0.45ns	130.79**	0.01 ns	0.00 ns	2	سال ×سیلیکون(year)× (silicon)
0.02ns	0.01ns	0.00ns	3023.71**	2.27**	18.21**	157.03**	3.53**	0.43**	4	زئولیت× سلنیوم(silicon)× (zeolite)
0.04ns	0.02ns	0.00ns	179.07**	0.27 ns	1.21**	16.74ns	0.04 ns	0.00 ns	4	سال×زئولیت×سلنیوم(year) (zeolite) selenium
0.00ns	0.00ns	0.00ns	2235.50**	3.14**	16.37**	134.31**	3.70 **	0.48**	4	سلنیوم×سیلیکون(selenium)× (silicon)
0.00ns	0.00ns	0.00ns	5.37ns	0.30ns	0.13ns	21.66*	0.02 ns	0.00 ns	4	سال×سلنیوم×سیلیکون(year) (silicon) selenium
0.01ns	0.01ns	0.00ns	2241.35**	4.22**	16.36**	226.34**	3.43**	0.52**	4	زئولیت×سیلیکون
0.01ns	0.03ns	0.00ns	27.42ns	0.35 ns	0.32ns	2.18ns	0.01 ns	0.00 ns	4	سال×زئولیت× سیلیکون(zeolite) (year) (silicon) selenium
0.01ns	0.01ns	0.00ns	2319.32**	3.24 **	17.71**	218.71*	3.76**	0.50**	8	زئولیت×سلنیوم ×سیلیکون
0.00ns	0.00ns	0.00ns	16.76ns	0.23 ns	0.18ns	3.13ns	0.02 ns	0.00 ns	8	سال×زئولیت×سلنیوم×سیلیکون(zeolite) (year) (silicon) selenium
0.02	0.03	0.001	47.77	0.22	0.20	7.34	0.08	0.004	96	خطا(error)
										ضریب تغییرات (٪)
12.90	6.23	4.45	2.82	1.49	4.76	4.97	4.92	4.54		(٪) Coefficient of variation

*، ** و ns معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ۱ درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار

*, ** and ns: significant at 0.05, 0.01 and Non signifincat, respectively

جدول ۵- اثر اصلی سال بر صفات مختلف کلزا

Table 5- The main effect of year on some canola traits

Year	1000 grain weight وزن هزار دانه	grain yield عملکرد دانه (kg ha^{-1})	Biomass عملکرد زیست توده (kg ha^{-1})	Harvest Index شاخص برداشت (%)	Fat (%) روغن	Linoleic acid (%) اسیدلینولییک	Linolenic acid (%) اسید لینولنیک	Photosynthesis (μmol.m^{-2}.s^{-1}) فتوسنتز	RWC (%) محتوی نسبی آب	CAT (ΔA mg protein^{-1} min^{-1}) کاتالاز	SOD (ΔA mg protein^{-1} min^{-1}) سوپراکسیددیسموتاز	MDA (mM^{-1} cm^{-1}) مالون دی آلدهید	K (mmol g^{-1} DW) پتاسیم	Na (mmol g^{-1} DW) سدیم
سال اول (year First)	4.02^{b}	2745.56^{b}	87965^{b}	31.48^{b}	37.03^{b}	57.68^{a}	12.81^{b}	5.93^{a}	57.76^{a}	10.10^{a}	238.40^{b}	0.83^{a}	3.13^{a}	0.76^{b}
سال دوم (year Second)	4.46^{a}	3009.92^{a}	108778^{a}	36.07^{a}	37.76^{a}	54.35^{b}	14.82^{a}	5.57^{b}	51.11^{b}	9.07^{b}	251.63^{a}	0.82^{b}	3.00^{b}	1.51^{a}

وجود حرف مشترک نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد

Means within the same column followed by the same letter are not significantly different based on Duncan's multiple range test

براساس نتایج به‌دست آمده میزان پتاسیم برگ در اثر کاربرد زئولیت افزایش یافت در حالی‌که سدیم برگ به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۶). زئولیت سبب فراهمی‌کلسیم در خاک و به تبع آن در گیاه می‌شود که این فراهمی‌سبب کاهش نسبت سدیم به کلسیم می‌گردد. فراهمی‌کلسیم به‌وسیله زئولیت در محیط ریشه از جذب و تجمع سدیم جلوگیری به عمل می‌آورد و سبب کاهش اثر سمی‌تنش شوری می‌گردد. همچنین گزارش شده است که فراوانی سدیم در خاک باعث لطمه به جذب پتاسیم توسط گیاه می‌شود و معمولاً این دو عنصر با یکدیگر رقابت داشته و دارای همبستگی منفی می‌باشند (جدول ۸) (۳۴ و ۵۲).

نتایج نشان داد که سلنیوم سبب افزایش تعداد خورجین، تعداد دانه در خورجین و شاخص برداشت شده است (جدول ۷). همچنین سلنیوم سبب به تأخیر انداختن پیری (۵۵) در گل‌ها می‌شود که خود عاملی برای افزایش تعداد خورجین، تعداد دانه در خورجین می‌باشد.

محلول‌پاشی سلنیوم به‌طور معنی‌داری سبب افزایش درصد روغن و درصد اسیدهای چرب اولییک، لینولییک و لینولنیک شد (جدول ۵). علت کاهش درصد روغن در شرایط تنش شوری، کاهش فتوسنتز جاری و انتقال مجدد مواد به دانه می‌باشد که باعث کوتاه شدن دوره پر شدن دانه شده و سبب کاهش روغن گیاه می‌شود. اما در تیمارهایی که سلنیوم دریافت کرده بودند به دلیل اثر مثبت سلنیوم در کاهش اثرات مضر تنش شوری از جمله دارا بودن خاصیت آنتی اکسیدانی (۵۵)، گیاهان از رشد و تولید بهتری برخوردار بودند.

تولید مالون‌دی‌آلدهید به شدت در اثر کاربرد سلنیوم کاهش یافت (جدول ۷). اسیدهای چرب و لیپیدها حساسیت زیادی به اکسیژن دارند و به سرعت اکسید می‌شوند از آن‌جایی‌که غشاء سلولی یک غشاء فسفولیپیدی می‌باشد واکنش اکسیژن با آن سبب تخریب غشاء سلولی و ترشح الکترولیت‌ها به بیرون سلول می‌شود. سلنیوم با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان سبب پاکسازی اکسیژن فعال و در نتیجه کاهش در اکسیداسیون چربی‌های غشاء سلولی و کاهش محتوی مالون‌دی‌آلدیید شد.

اثر مثبت سلنیوم در افزایش تجمع پتاسیم به‌وسیله پازورکویچ و همکاران (۴۰) نیز گزارش شده است. آنها دریافتند که محتوی پتاسیم برگ‌های ذرت (*Zea mays*) در اثر کاربرد سلنیوم افزایش یافت. نتایج مشابهی توسط کاپسل و همکاران (۲۸) در مورد کلم به گزارش شده است. از آن‌جایی‌که معمولاً همبستگی منفی بین محتوی پتاسیم و سدیم برگ وجود دارد (جدول ۸) کاهش محتوی سدیم در برگ‌ها امری بدیهی می‌باشد که در این آزمایش نیز تأیید شده است. یک دلیل مهم افزایش پتاسیم، ترکیب ماده حاوی سلنیوم و سیلسیم است چون در هر دو ترکیب عنصر پتاسیم وجود دارد.

محلول‌پاشی سیلسیوم نیز به‌طور معنی‌داری سبب افزایش تعداد

خورجین، تعداد دانه در خورجین و شاخص برداشت شد (جدول ۶). در تحقیقات پیشین گزارشاتی مبنی بر افزایش رشد و عملکرد گیاهان زراعی در اثر کاربرد سیلسیوم وجود دارد. این مطالعات نشان می‌دهند که سیلسیوم اثر مثبتی بر فیزیولوژی و متابولسیم گونه‌های مختلف دارد (۳۵). همچنین گزارش شده است که تولید ماده خشک گندم (*Triticum*) به‌طور معنی‌داری در اثر استفاده از سیلسیوم افزایش یافته است (۲). نتایج مشابهی در مورد افزایش وزن تر و خشک و عملکرد دانه ذرت به‌دست آمده است (۲۶).

محلول‌پاشی سیلسیوم سبب افزایش درصد روغن و درصد اسیدهای چرب اولییک، لینولییک و لینولنیک شد (جدول ۶). پیش از این نیز گزارش شده است که تنش شوری سبب کاهش ماده خشک، وزن بذر و عملکرد روغن می‌شود (۱۰). تحت تنش شرایط شوری تنش اسمزی و تنش مسمومیت رخ می‌دهد که این عوامل سبب بروز تنش خشکی کاذب نیز می‌شوند و ممکن است منجر به کاهش طول دوره تجمع روغن و یا افزایش آسیب به آنزیم‌های درگیر در این فرآیند شود (۱۷). مطالعات نشان داده است که کاربرد سیلسیوم سبب افزایش رشد گیاه در شرایط تنش مانند تنش شوری می‌شود (۳۵). لذا با توجه به اثرات مفید این عنصر در افزایش تحمل گیاهان به تنش‌های زیستی و غیر زیستی (۱۶) می‌توان افزایش روغن و اسیدهای چرب را انتظار داشت. در این آزمایش کاهش تولید مالون‌دی‌آلدهید در شرایط تنش شوری در اثر کابرد سیلسیوم (جدول ۶) دلیلی بر اثر این عنصر بر کاهش نفوذپذیری غشاء سلولی برگ می‌باشد که توسط لیانگ (۳۱) گزارش شده بود. تنش شوری با ایجاد تنش اکسیداتیو سبب تخریب غشاء فسفولیپیدی سلولی و افزایش تولید این ماده می‌شود (۲۷) در حالی‌که سیلسیوم سبب پایداری چربی‌ها شده و از تخریب ساختمانی و عملکردی غشاء سلول جلوگیری می‌کند (۱).

مشابه سلنیوم، سیلسیوم نیز سبب افزایش محتوی پتاسیم و کاهش سدیم برگ شد (جدول ۵). بیان شده است که تعدیل تنش شوری به‌وسیله سیلسیوم از طریق کاهش محتوای سدیم در بافت گیاه می‌باشد (۲۱). بر طبق نتایج وین برگ (۵۳) سطوح بالای سدیم از جذب پتاسیم جلوگیری به عمل آورده و در نتیجه نسبت سدیم به پتاسم کاهش می‌یابد. برخی سازوکارهایی که در آن سیلسیوم سبب افزایش مقاومت به شوری می‌شود شامل کاهش تحرک سدیم در گیاه (۳۲) کاهش جذب سدیم و افزایش جذب پتاسیم می‌باشد (۳۳) همچنین افزایش نسبت پتاسیم به سدیم منجر افزایش مقاومت به شوری می‌شوند (۲۳).

اثر متقابل سه جانبه زئولیت، سلنیوم و سیلسیوم بر وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد زیست توده، محتوی کلروفیل، فتوسنتز، محتوی نسبی آب برگ و فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان مانند کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز معنی‌دار بود (جدول ۷).

بیشترین وزن هزار دانه در تیمار ۱۰ درصد وزنی زئولیت به همراه ۴ گرم در لیتر سلنیوم و ۴ گرم در لیتر سیلسیوم مشاهده شد. در حالی‌که کمترین وزن هزار دانه مربوط به تیمار شاهد بود (جدول ۷). کاهش وزن هزار دانه ناشی از کاهش جذب آب و املاح توسط گیاه و به دنبال آن کاهش فتوسنتز جاری و کاهش انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها در شرایط تنش شوری می‌باشد. علاوه بر این تنش شوری باعث کوتاه شدن دوره پر شدن دانه شده و سبب کاهش وزن هزار دانه گیاه می‌گردد. در حالی‌که زئولیت با کمک به نگهداری آب در خاک سبب افزایش دسترسی گیاه به آب و عناصر غذایی شده و منجر به افزایش تولید و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها و در نهایت افزایش وزن دانه می‌گردد. گزارش شده است که سلنیوم دارای خواص آنتی‌اکسیدانی بوده و در شرایط تنش از جمله تنش شوری سبب خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌گردد (۵۵). همچنین ثابت شده است که سلنیوم از تخریب مولکول کلروفیل در شرایط تنش جلوگیری می‌کند (۴۶) در نتیجه از کاهش فتوسنتز جاری در گیاه ممانعت نموده و تولید و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه را افزایش می‌دهد. گزارش‌های زیاد مبنی بر افزایش عملکرد گیاهان زراعی به خصوص افزایش وزن دانه در اثر مصرف سیلسیوم وجود دارد (۹). در مطالعه حاضر بیشترین عملکرد دانه نیز از تیمار ۱۰ درصد وزنی زئولیت به همراه ۴ گرم در لیتر سلنیوم و ۴ گرم در لیتر سیلسیوم به‌دست آمد که تأییدی بر نتایج آزمایشات پیشین در مورد اثر زئولیت، سلنیوم و سیلسیوم بر افزایش عملکرد می‌باشد.

افزایش زیست توده تحت تیمار ۱۰ درصد وزنی زئولیت به همراه ۴ گرم در لیتر سلنیوم و ۴ گرم در لیتر سیلسیوم مشاهده گردید (جدول ۶). کاهش ارتفاع گیاه ناشی از تنش شوری، به دلیل کاهش پتانسیل آماس سلول‌ها و تقسیم سلولی و کاهش انتقال مواد فتوسنتزی شناخته شده است. گزارشات زیادی مبنی بر کاهش رشد رویشی ارتفاع بوته در اثر تنش شوری وجود دارد که با نتیجه به‌دست آمده از این آزمایش مطابقت دارد (۵۴). زئولیت با دارا بودن ظرفیت تبادل کاتیونی بالا سبب نگهداری بیشتر آب و مواد غذایی در خاک شده و از این طریق سبب بهبود رشد و افزایش زیست توده گردیده است. اثر مثبت زئولیت بر ارتفاع گیاه، تعداد شاخه در بوته و وزن تر می‌تواند به افزایش فراهمی نیتروژن و جلوگیری از آبشویی آن نیز نسبت داده شود. مشابه این نتایج در مطالعات سینگ و باهراگاوا (۴۹) گزارش شده است. افزایش عملکرد زیست توده تحت اثر تیمار زئولیت به افزایش فراهمی آب و عناصر غذایی مرتبط می‌باشد. سلنیوم دارای نقش حیاتی در گیاه می‌باشد که از آن جمله می‌توان به نقش سلنیوم در افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های اکسیداتیو و به تأخیر انداختن پیری (۵۵)، تجمع نشاسته در کلروپلاست‌ها (۴۱)، تنظیم وضعیت آبی گیاه تحت شرایط تنش (۲۹)، جلوگیری از تخریب کلروفیل در شرایط تنش (۴۶) و افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در گیاهان تنش دیده

(۱۵) اشاره نمود.

جدول ٦- اثرات اصلی زئولیت، سلنیوم وسیلیسیوم بر صفات مختلف کلزا

Table 6- The main effect of zeolite selenium and silicon on some canola traits

Na (mg. g^{-1} DW) سدیم	K (mg.g^{-1} DW) پتاسیم	MDA (mM^{-1} cm^{-1}) مالون دی آلدهید	Linolenic acid (%) اسیدلینولنیک	Linoleic acid (%) اسید لینولیک	Oleic acid (%) اسید اولیک	Fat (%) روغن	Harvest Index شاخص برداشت	grain per pods تعداد دانه در غلاف	Pods تعدادغلاف		
1.53^{a}	2.79^{c}	0.96^{a}	12.44^{c}	22.58^{c}	53.96^{c}	35.76^{c}	27.94^{c}	15.84^{c}	74.88^{c}	۰ درصد وزنی by weight ٪۰	زئولیت (zeolite)
1.13^{b}	3.10^{b}	0.81^{b}	13.89^{b}	24.09^{b}	56.22^{b}	37.48^{b}	33.49^{b}	18.45^{b}	77.65^{b}	۵ درصد وزنی by weight ٪5	
0.75^{c}	3.31^{a}	0.70^{c}	15.12^{a}	25.29^{a}	57.87^{a}	38.93^{a}	39.89^{a}	19.97^{a}	81.10^{a}	۱۰ درصد وزنی by weight ٪10	
1.32^{a}	2.91^{c}	0.86^{a}	13.38^{c}	23.55^{c}	55.35^{c}	36.93^{c}	31.17^{c}	16.96^{c}	76.12^{c}	۰ گرم بر لیتر grams per liter 0	سلنیوم (selenium)
1.13^{b}	3.09^{b}	0.82^{b}	13.85^{b}	24.01^{b}	56.07^{b}	37.37^{b}	33.96^{b}	18.20^{b}	78.08^{b}	۲ گرم بر لیتر grams per liter 2	
0.97^{c}	3.20^{a}	0.78^{c}	14.22^{a}	24.40^{a}	56.62^{a}	37.87^{a}	36.20^{a}	19.11^{a}	79.44^{a}	۴ گرم بر لیتر grams per liter 4	
1.23^{a}	2.95^{b}	0.83^{a}	13.69^{b}	23.86^{b}	55.84^{b}	37.22^{b}	32.18^{b}	17.50^{c}	76.89^{b}	۰ گرم بر لیتر grams per liter 0	سیلیسیوم (silicon)
1.12^{b}	3.09^{a}	0.82^{b}	13.79^{ab}	23.97^{ab}	56.00^{ab}	37.35^{b}	34.07^{a}	18.11^{b}	78.03^{a}	۲ گرم بر لیتر grams per liter 2	
1.07^{b}	3.16^{a}	0.81^{b}	13.97^{a}	24.12^{a}	56.20^{a}	37.60^{a}	35.08^{a}	18.65^{a}	78.72^{a}	۴ گرم بر لیتر grams per liter 4	

وجود حرف مشترک نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد

Means within the same column followed by the same letter are not significantly different based on Duncan's multiple range test

جدول ۷- اثرات متقابل بین زئولیت، سلنیوم و سیلسیوم بر صفات مختلف کلزا

Table 7- Interaction between zeolite, selenium and silicon on some canola traits

SOD سوپراکسیددیسموتاز (ΔA mg protein^{-1} min^{-1})	GPX پراکسیداز (ΔA mg protein^{-1} min^{-1})	CAT کاتالاز (ΔA mg protein^{-1} min^{-1})	RWC محتوی نسبی آب (%)	Photosynthesis فتوسنتز (µmol m^{-2} s^{-1})	Chlorophyll کلروفیل (mg g^{-1}FW)	Biomass عملکرد زیست توده (kg ha^{-1})	Seed yield عملکرد دانه (kg ha^{-1})	1000 seed weight وزن هزار دانه (g)	Zeolite (%)	Selenium (g l^{-1})	Silicon (g l^{-1})
206.33^{t}	29.28^{r}	16.40^{a}	43.50^{o}	4.43^{r}	1.11^{r}	62497^{o}	2491.34^{q}	3.65^{m}	0		
208.51st	29.65^{qr}	11.33^{b}	45.16^{no}	4.48^{qr}	1.14^{qr}	66753no	2572.34^{pq}	3.69^{m}	2	0	
209.95st	29.90^{pq}	11.18^{bc}	46.16^{mno}	4.57^{pqr}	1.18^{pqr}	69842^{mno}	2578.34^{pq}	3.80^{lm}	4		
214.53^{rs}	29.98^{pq}	11.06^{bcd}	47.16^{lmno}	4.65^{opqr}	1.20^{opqr}	70453^{lmno}	2595.34^{p}	3.80^{lm}	0		
218.98^{qr}	30.25^{op}	11.01^{bcd}	49.91^{jklm}	4.82^{mopqr}	1.23^{mopq}	74949^{klmn}	2636.34^{op}	3.95^{kl}	2	2	0
222.45^{pq}	30.40^{nop}	10.78^{cde}	51.43^{hijk}	4.88^{mnopqr}	1.26^{mnop}	78245^{jklm}	2664.17^{nop}	4.00^{jk}	4		
223.23^{pq}	60.56^{mno}	10.58^{def}	49.58^{jklm}	4.95^{mnopq}	1.28^{lmno}	78639^{jklm}	2689.94^{no}	3.97^{k}	0		
226.21^{op}	30.85^{lmn}	10.31^{efg}	53.25^{fghij}	5.03^{mnop}	1.31^{klmn}	80819^{ijkl}	2707.17^{mno}	4.12^{ijk}	2	4	
229.13^{mnop}	31.00^{klm}	10.15^{fgh}	53.73^{efghi}	5.10^{lmno}	1.34^{jklm}	84255^{ijk}	2740.34^{lmn}	4.7^{ij}	4		
230.43^{mno}	31.25^{jkl}	9.95^{ghi}	48.50^{klmn}	5.20^{klmn}	1.37^{jkl}	71559^{lmno}	2753.67^{lmn}	3.99^{k}	0		
233.21^{lmn}	31.25^{jkl}	9.81^{hi}	5.13^{jkl}	5.28^{jklmn}	1.40^{ijk}	88215^{hij}	2785.00^{klm}	4.0^{ijk}	2	0	
236.46^{klm}	31.50^{jkl}	9.63^{ij}	51.08^{hijkl}	5.35^{ijklm}	1.42^{ij}	91556^{hi}	2809.17^{jkl}	4.10^{ijk}	4		
238.31^{kl}	31.63^{ij}	9.33^{jk}	52.06^{ghijk}	5.53^{hijkl}	1.44^{hij}	91179^{hi}	2817.50^{jkl}	4.09^{ijk}	0		
240.13^{jk}	31.85^{hi}	9.28^{ijk}	53.21^{fghij}	5.60^{ghijk}	1.49^{ghi}	96094^{gh}	2862.34^{ijk}	4.27^{hi}	2	2	5
246.56^{ij}	32.28^{gh}	9.08^{kl}	54.90^{efgh}	5.70^{fghij}	1.49^{ghi}	101905^{fg}	2899.17^{hij}	4.37^{gh}	4		
245.13^{ij}	32.15^{gh}	9.01^{klm}	51.11^{hijkl}	5.80^{efghi}	1.54^{fgh}	102992^{efg}	2927.84^{ghi}	4.27^{hi}	0		
248.05^{hi}	32.33^{gh}	8.71^{lmn}	55.86^{efg}	5.92^{defgh}	1.57^{efg}	108984^{def}	2955.84^{fgh}	4.45^{efg}	2	4	
254.37^{fgh}	32.68^{fg}	8.56^{mno}	57.50^{cde}	6.02^{defg}	1.63^{def}	112973de	2999.84^{efg}	4.65^{bc}	4		
251.35^{ghi}	32.75e^{fg}	8.73^{lmn}	55.46^{efg}	5.99^{defgh}	1.61^{def}	110518^{def}	3027.17^{ef}	4.40^{fgh}	0		
254.40^{fgh}	32.93^{def}	8.40^{nop}	55.75^{efg}	6.17^{cdef}	1.63^{def}	114465^{d}	3044.17^{def}	4.38^{fgh}	2	0	
256.68^{fg}	33.08^{def}	8.36^{nop}	56.66^{def}	6.23^{cde}	1.65^{cde}	118149^{cd}	3087.84^{cde}	4.52^{cdefg}	4		
259.41^{ef}	33.26^{cde}	8.18^{op}	56.56^{def}	6.37^{bcd}	1.66^{cde}	119039^{cd}	3122.84^{bcd}	4.47^{defg}	0		
264.95^{de}	33.42^{cd}	8.18^{op}	60.13^{bcd}	6.52^{bc}	1.68^{cd}	126076^{bc}	3136.50^{bc}	4.64^{bcd}	2	2	10
266.40^{d}	33.35^{cd}	8.05^{pq}	60.40^{bcd}	6.57^{bc}	1.71^{bcd}	131458^{ab}	3169.67^{bc}	4.74^{ab}	4		
281.98^{b}	33.70^{bc}	7.91^{pq}	61.60^{b}	6.73^{b}	1.79^{b}	127976^{bc}	3170.17^{bc}	4.55^{cdef}	0		
273.91^{c}	33.93^{b}	7.60^{qr}	61.05^{bc}	6.78^{b}	1.75^{bc}	135356^{ab}	3186.84^{ab}	4.62^{bcde}	2	4	
374.00^{a}	37.40^{a}	7.26^{r}	88.00^{a}	10.67^{a}	3.23^{a}	141052^{a}	3268.17^{a}	4.82^{a}	4		

در هر ستون وجود حداقل یک حرف مشترک نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

Means within the same column followed by the same letter are not significantly different based on Duncan's multiple range test

جدول ۸- همبستگی بین صفات مختلف کلزا تحت تأثیر زئولیت، سلنیوم و سیلسیوم

Table 8- Correlation between different canola traits as affectd by zeolite, selenium and silicon

Na	K	MDA	SOD	GPX	CAT	RWC (%)	Photosynthesis	chlorophyll	Linolenic acid (%)	Linoleic acid (%)	Oleic acid (%)	Fat (%)	Harvest Index	Biomass	Seed yield	1000 seed weight	Seed per pods	pods	صفات
																		1	pods
																	1	0.65**	Seed per pods
																1	0.62**	0.48**	1000 seed weight
															1	0.84**	0.53**	0.47**	Seed yield
														1	0.68**	0.80**	0.69**	0.49**	Biomass
													1	0.95**	0.45**	0.66**	0.65**	0.40**	Harvest Index
												1	0.60**	0.76**	0.89**	0.80**	0.70**	0.52**	Fat (%)
											1	0.34**	0.09ns	0.15ns	0.18ns	0.13**	0.52**	0.61**	Oleic acid (%)
										1	0.62**	0.78**	0.47**	0.61**	0.68**	0.68**	0.67**	0.67**	Linoleic acid (%)
									1	0.51**	0.15ns	0.48**	0.55**	0.64**	0.57**	0.72**	0.53**	0.45**	Linolenic acid (%)
								1	0.53**	0.58**	0.47**	0.53**	0.50**	0.55**	0.41**	0.46**	0.60**	0.52**	chlorophyll
							1	0.93**	0.40**	0.61**	0.55**	0.61**	0.55**	0.60**	0.45**	0.46**	0.64**	0.51**	Photosynthesis
						1	0.85**	0.80**	0.18**	0.52**	0.56**	0.49**	0.45**	0.47**	0.29**	0.34**	0.58**	0.58**	RWC (%)
					1	0.20**	0.16**	0.22**	-0.40**	-0.39**	-0.13**	-0.39**	-0.40**	-0.44**	-0.37**	-0.52**	-0.28**	-0.29**	CAT
				1	-0.07ns	0.62**	0.84**	0.80**	0.60**	0.58**	0.46**	0.49**	0.70**	0.70**	0.36**	0.50**	0.69**	0.52**	GPX
			1	0.84**	0.03ns	0.76**	0.88**	0.91**	0.60**	0.60**	0.27**	0.65**	0.72**	0.76**	0.53**	0.62**	0.65**	0.49**	SOD
		1	-0.59**	-0.60**	0.49**	-0.53**	-0.63**	-0.60**	-0.63**	-0.79**	-0.64**	-0.70**	-0.51**	-0.62**	-0.64**	-0.71**	-0.58**	-0.65**	MDA
	1	-0.68**	0.49**	0.53**	-0.32**	0.60**	0.50**	0.52**	0.41**	0.71**	0.66**	0.45**	0.41**	0.46**	0.34**	0.49**	0.65**	0.79**	K
1	-0.68**	0.40**	-0.31**	-0.47**	0.05ns	-0.61**	-0.50**	-0.39**	0.03ns	-0.62**	-0.81**	-0.36**	-0.19**	-0.22**	-0.16*	-0.11**	-0.59**	-0.61**	Na

*، ** و ns معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ۱ درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار

*, ** and ns: significant at 0.05, 0.01 and no significant, respectively

از دیگر اثرهای سودمند سلنیوم می‌توان به افزایش رشد و متابولیسم کربوهیدرات‌ها اشاره کرد (۵۵). همچنین سیلسیوم در افزایش رشد گیاهان تحت تنش‌های محیطی به اثبات رسیده است (۳۲). با این اوصاف افزایش در عملکرد زیست توده قابل انتظار می‌باشد.

میزان کلروفیل، فتوسنتز و محتوی نسبی آب برگ تحت تیمار ۱۰ درصد وزنی زئولیت به همراه محلول‌پاشی ۴ گرم در لیتر سلنیوم و ۴ گرم در لیتر سیلسیوم در حداکثر مقدار خود بود (جدول ۷). شوری باعث پیری زودرس در گیاهان، شکسته شدن کلروپلاست‌ها و کاهش مقدارکلروفیل می‌گردد (۳۰). مطالعات دیپاک و واتال (۱۳)نشان داد که تحت شرایط تنش شدید در گیاه کلزا مقدار کلروفیل به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. زئولیت با نگهداری بیشتر آب در خاک و هچنین جلوگیری از هدر روی نیتروژن سبب افزایش کلروفیل و محتوی نسبی آب برگ می‌گردد که افزایش در این صفات سبب افزایش فتوسنتز می‌گردد. گزارش شده است که استفاده از زئولیت باعث افزایش میزان فتوسنتز، کارایی یاخته‌های مزوفیل، کارایی مصرف آب و میزان کلروفیل شده است (۵۶). همانطور که پیش از این اشاره شد سلنیوم و سیلسیوم نیز از تخریب مولکول کلروفیل جلوگیری به عمل آورده و سبب افزایش فتوسنتز می‌گردند. افزایش محتوی نسبی آب برگ توسط هاتوری و همکاران (۲۴) گزارش شده است.

بیشترین فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و سوپر اکسید دیسموتاز در تیمار ۱۰ درصد وزنی زئولیت به همراه محلول‌پاشی ۴ گرم در لیتر سلنیوم و ۴ گرم در لیتر سیلسیوم مشاهده شد در حالی‌که فعالیت آنزیم کاتالاز در تیمار شاهد بیشترین مقدار بود (جدول ۶). چنین به نظر می‌رسد که زئولیت با افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک توانسته است تا حدودی نیاز گیاه را به آبیاری کاهش دهد و بدین ترتیب گیاه در دوره‌ای طولانی تر بدون آبیاری مقاومت نماید و از تنش خشکی در امان بماند. از سوی دیگر تنش‌های محیطی سبب بروز تنش اکسیداتیو و افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن در گیاه می‌شود. گیاهان با سیستم آنتی‌اکسیدانی آنزیمی خود در مقابل تنش‌های اکسیداتیو سبب پاکسازی این رادیکال‌های آزاد می‌گردند. واکنش آنزیمی گیاهان به تنش‌ها از گونه‌ای به گونه دیگر متفاوت بوده و حتی شدت و نوع تنش بر آن اثر می‌گذارد (۳ و ۲۵) بنابراین افزایش و یا کاهش در فعالیت آنزیمی مشاهده می‌شود. پیش از این ذکر شد که که سلنیوم سبب افزایش افزایش ظرفیت آنتی اکسیدانی در گیاهان می‌شود (۴۶). کاربرد سلنیوم روی برگ گیاهانی نظیر برنج (*Oryza*) آفتابگردان (*Helianthus annuus*)، سبب افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان و مقاومت به کمبود آب در آنها گردید (۵۷). همبستگی بین صفات مورد بررسی در جدول ۸ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد و اجزای عملکرد کلزا وجود دارد. به‌طوری‌که با افزایش هریک از اجزای عملکرد، عملکرد نهایی افزایش یافت. همچنین بین عملکرد و میزان کلروفیل، عملکرد و میزان فتوسنتز رابطه مستقیم و معنی‌دار وجود دارد. به نظر می‌رسد که افزایش در میزان کلروفیل با افزایش در میزان فتوسنتز همراه بوده که در نهایت منجر به تثبیت بیشتر کربن و عملکرد دانه شده است. عملکرد دانه با فعالیت آنزیم کاتالاز، میزان مالون‌دی‌آلدهید و سدیم برگ، همبستگی منفی و معنی‌دار نشان داد. افزایش در فعالیت آنزیم کاتالاز و مالون‌دی‌آلدهید بیانگر وقوع تنش در گیاه بوده که طبعاً کاهش عملکرد را به دنبال خواهد داشت. همبستگی منفی بین محتوی پتاسیم و سدیم نیز در این آزمایش مشاهده شد (جدول ۸). که نشان‌دهنده این است که با افزایش سطوح شوری میزان جذب سدیم افزایش یافت، در حالی‌که محتوای پتاسیم کاهش یافت. این نتایج نشان‌دهنده وجود رابطه آنتاگونیسم بین سدیم و پتاسیم در گیاه کلزا می‌باشد.

آنزیم کاتالاز با میزان مالون‌دی‌آلدهید همبستگی مثبت نشان داد اما همبستگی معنی‌داری با دو آنزیم دیگر نداشت. اما دو آنزیم پراکسیداز و سوپر اکسید دیسموتاز با میزان مالون‌دی‌آلدهید همبستگی منفی و معنی‌دار داشتند همچنین بین این دو آنزیم همبستگی مثبت مشاهده گردید. به نظر می‌رسد با اعمال ترکیبات تیماری میزان فتوسنتز افزایش یافته و به دنبال آن میزان کلروفیل و محتوای نسبی آب افزایش یافته که باعث افزایش عملکرد و اجزاء عملکرد شده است.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان اظهار داشت که با استفاده از زئولیت در خاک و همچنین محلول‌پاشی گیاهان با سلنیوم و سیلسیوم می‌توان بر تنش شوری غلبه نمود و از کاهش عملکرد کلزا جلوگیری به‌عمل آورد. در بین تیمارهای مورد بررسی، تیمار ۱۰ درصد وزنی زئولیت به همراه محلول‌پاشی ۴ گرم در لیتر سلنیوم و ۴ گرم در لیتر سیلسیوم در بیشتر موارد بهترین نتایج را حاصل نمود، لذا این تیمار به‌عنوان تیمار برتر برای کاهش اثر شوری در کشت کلزا قابل توصیه می‌باشد. با توجه به اینکه متوسط بارندگی و همچنین ساعات آفتابی در سال دوم نسبت به سال اول بیشتر بود (جدول ۱) احتمالاً به این دلیل عملکرد و اجزاء عملکرد در سال دوم بیشتر از سال اول بود.

سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از نتایج قسمتی از پروژه تحقیقاتی شماره ۴-

۳۵-۱۰-۹۳۱۰۲ سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی می‌باشد که بدین وسیله از حمایت‌های به‌عمل آمده تشکر می‌شود.

References

1. Agarie, S., Hanaoka, N., Ueno, O., Miyazaki, A., Kubota, F., Agata, W., and Kaufman, P. B. 1998. Effects of silicon on tolerance to water deficit and heat stress in rice plants (*Oryza sativa L.*), monitored by electrolyte leakage. Plant Production Science 1: 96-103.
2. Ahmad, R., Zaheer, S., and Ismail, S. 1992. Role of silicon in salt tolerance of wheat (*Tritium aestivum* L.). Plant Science 85: 43-50.
3. Alberico, G. J., and Cramer, G. R. 1993. Is the salt tolerance of maize related to sodium exclusion? 1. Preliminary screening of seven cultivars. Journal of Plant Nutrition 16: 2289-2303.
4. Arnon, D. I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphennoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology 24: 1-150.
5. Ashraf, M., and O'leary, J. M. 1997. Ion distribution in leaves of salt tolerant and salt–sensitive lines of spring wheat under salt stress. Acta botanica neerlandica 46: 207-217.
6. Balastra, M. L., Juliano, C. M., and Villreal, P. 1989. Effect of silica level on some proprieties *oryza sativa* straw and hull. Canadian Journal of Botany 67: 2356-2363.
7. Bouchereau, A., Clossais Besnard, N., Bensaoud, A., Leport, L., and Renard, M. 1996. Water stress effects on rapeseed quality. European Journal of Agronomy 5: 19-30.
8. Cakmak, I., and Horst, W. 1991. Affect of aluminium on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase and peroxidase activities in root tip of soybean (*Glycine max*). Plant Physiology 83: 463-468.
9. Chaoming, Z., Jianfei, L., and Lping, C. H. 1999.Yild effects on the application of silicon fertilizer in early hybrid Rice. Journal article 2: 79-80.
10. Cheng, S. F. 1984. Effect of salinity, fertility and water on the production and nutrient uptake of sunflower (*Helianthus annuus* L.). I. Effects on seed yield, oil concentration and dry matter yield. Soils and Fertilizers in Taiwan 38: 7-24.
11. Clifton, R. A. 1985 .Natural and synthetic zeolites. International circular. Washington, D.C. 9140.
12. De Vos, C., Schat, H. M., De Waal, M. A., Vooijs, R., and Ernst,W. 1991. Increased to copper-induced damage of the root plasma membrane in copper tolerant silene cucubalus. Plant Physiology 82: 523-528.
13. Deepak, M., and Wattal, P. N. 1995. Influence of water stress on seed yield of Canadian rape at flowering and role of metabolic factors. Plant Physiology and Biochemistry 22 (2): 115-118.
14. Dionisio-Sese, M. L., and Tobita, S. 2000. Effects of salinity on sodium content and photosynthetic responses of rice seedlings differing in salt tolerance. Journal Plant Physiology 157: 54-58.
15. Djanaguiraman, M., Shanker, A. K., Sheeba, J. A., Devi, D. D., and Bangarusamy, U. 2005. Selenium – an antioxidative protectant in soybean during senescence. Plant and Soil 272: 77-86.
16. Epstein, E. 1999. Silicon. *Annual Review* Plant Physiology and Plant Molecular Biology 50: 641-664.
17. Flagella, Z., Giuliani, M. M., Rotunno, T., Di Caterina, R., and. De Caro, A. 2004. Effect of saline water on oil yield and quality of a high oleic sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrid. European Journal of Agronomy 21: 267-272.
18. Germ, M., Kreft, I., and Osvald, J. 2005. Influence of UV-B exclusion and selenium treatment on photochemical efficiency of photosystem II, yield and respiratory potential in pumpkins (*Cucurbita pepo* L.). Plant Physiology and Biochemistry 43: 445-448.
19. Ghanati, F, Morita, A., and Yokota, H. 2002. Induction of suberin and increase of liginin content by excess boron in tobacco cell. Soil Science and Plant Nutrition 48: 357-364.
20. Giannopolitis, C., and Ries, S. 1977. Superoxide dismutase occurrence in higher plant. Plant Physiology 59: 309-314.
21. Gong, H. J., Randall, D. P., and Flowers, T. J. 2006. Silicon deposition in the root reduces sodium uptake in rice seedlings by reducing bypassflow. Plant Cell Environment 111: 1-9.
22. Hasegawa, P. M., Bressan, R. A., and Handa, A. K. 1986. Cellular mechanism of salinity tolerance. Horticultural Science 21: 1317-1324.
23. Hasegawa, P., Bressan, R. A., Zhu, J. K., and Bohnert, H. J. 2000. Plantcellular and molecular responses to high salinity. Annual Review of Plant Molecular Biology 51: 463-499.
24. Hattori, T., Lux Tanimoto, A., Luxova, E., Sugimoto, M., and Inanaga, Y. 2001. The effect of silicon on the growth of sorghum under drought. - In: Morita, S. (ed.): The 6th Symposium of the International Society of Root Research. pp. 348-349. Japanese Society for Root Research (JSRR), Nagoya.
25. Hernandez, J. A., Jimenez, A., Mullineaux, P., and Sevilla, F. 2000. Tolerance of pea (*Pisum sativum* L.) to long

term salt stress is associated with induction of antioxidant defences. Plant Cell and Environment 23: 853-862.
26. Kaya, C., Tuna, L., and Higgs, D. 2006. Effect of silicon on plant growth and mineral nutrition of maize grown.under water - stress condition. Journal of Plant Nutrition 29: 1469-1480.
27. Koca, H., Melike, B., Filiz, O., and Ismail, T. 2007. The effect of salt stress on lipid peroxidation, antioxidative enzymes and proline content of sesame cultivars. Environmental and Experimental Botany 60: 344-351.
28. Kopsell, D. A., Randle, W. M., and Mills, H. A. 2000. Nutrient accumulation in leaf tissue of rapid-cycling Brassica oleracea responds to increasing sodium selenate concentrations. Journal of Plant Nutrition 23 (7): 927-935.
29. Kuznetsov, V. V., Kholodova,V. P., Kuznetsov, V. V., and Yagodin, B. A. 2003. Selenium regulates the water status of plants exposed to drought. Doklady Biological Sciences 390: 266-268.
30. Lawlor, D. W., and Leach ,J.E. 1985. Leaf growth and water deficit. Pp:267-294. In: Control of leaf growth. Cam. Univ. Press.
31. Liang, Y. C. 1999. Effects of silicon on enzyme activity and sodium, potassium and calcium concentration in barley under salt stress. Plant and Soil 209: 217-224.
32. Liang, Y. C., Chen, Q., Liu, Q., Zhang, W., and Ding, R. 2003. Effects of silicon on salinity tolerance of two barley genotypes. Journal of Plant Physiology 160: 1157-1164.
33. Liang, Y. C., Zhang, W.Q., Chen, J., and Ding, R. 2005. Effect of silicon on H+-ATPase and H+-PPase activity, fatty acid composition and fluidity of tonoplast vesicles from roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). Journal of Environmental Experimental Botany 53: 29-37.
34. Ma, J. F. 2004. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. Soil Science Plant Nutrition 50: 11-18.
35. Ma, J. F., and Yamaji, N. 2008. Functions and transport of silicon in plants. Cellular and molecular life sciences, 65: 3049-3057.
36. Mendham, N. J., Russell, J., and Buzza, G. C.1984. The contribution of seed survival to field in new Australian cultivars of oilseed rape (*Brassica napus* L.). Journal of Agricultural science 103: 303-316.
37. Metcalf, L. C., Schmitz, A. A., and Pelka, J. R. 1966. Rapid preparation of methyl esters from lipid for gas chromatography analysis. Analytical Chemistry 38: 514-515.
38. Mumpton, F. A. 1999. Mineralogy and geology of natural zeolite. *Department of Earth Science* New York. USA.
39. Nowak, J., Kaklewski, K., and Ligocki, M. 2004. Influence of selenium on oxidoreductive enzymes activity in soil and in plants. Soil Biology and Biochemistry 36: 1553-1558.
40. Pazurkiewicz-kcot, K., Galas, W., and Kita, A. 2003. The effect of selenium on the accumulation of some metals in *Zea mays* L. plants treated with indole-3-acetic acid. Cellular and Molecular Biology Letters 8: 97-103.
41. Pennanen, A., Xue, T., and Hartikainen, H. 2002. Protective role of selenium in plant subjected to severe UV irridiation stress. Journal of Applied Botany 76: 66-76.
42. Pessarakli, M. 1994. In: Pessarakli, M. (Ed.) Handbook of Plant and Crop Stress. Marcel Dekker, Inc, New York pp. 1067-1084.
43. Polat, E., Karaca, M. H., Demir, H., and Naci Onus, A. 2004. Use of natural zeolita (clinoptilolite) in agriculture. Journal of Fruit and Ornamental Plant Research 12: 183-189.
44. Querghi, Z., Zid, E., and Ayadi, A. 1991. Sensitivity to NaCl and exclusion of Na+ in sunflower. Agric. Mediterranea 121: 110-4. (Field Crop Absts., 45: 5725; 1992).
45. Richardson, S. G., and McCree, K. J. 1985. Carbon balance and water relations of *Sorghum* exposed to salt and water stress. Plant Physiology 79: 1015-1020.
46. Seppanen, M., Turakainen, M., and Hartikainen, H. 2003. Selenium effects on oxidative stress in potato. Plant Science 165: 311-319.
47. Shahsavari, N., Jais, H. M., and Shirani Rad, A. H. 2014. Responses of canola oil quality characteristics and fatty acid composition to zeolite and zinc fertilization under drought stress. International Journal of Agricultural Sciences 4: 49-59.
48. Sibole, J. V., Cabot, C., Poschenrieder, C., and Barceló, J. 2003. Ion allocation in two different salt-tolerant Mediterranean *Medicago* species. Journal Plant Physiology 160 (11): 1361-1365.
49. Sing, H. C., and Bhargava, S.C. 1994. Changes in growth and yield components of Brassica napus in response to azotobacter inoculation at different rates of nitrogen application. Journal of Agriculture Science 122: 241-247.
50. Tahir, M. A., Rahmatullah, A., Ashraf, M., Kanwal, S., and Muhammad, A. 2006. Beneficial effects of silicon in wheat under salinity stress-pot culture. Pakistan Journal of Botany 38: 1715-1722.
51. Tapiero, H., Townsend, D. M., and Tew, K. D. 2003. Dossier: Oxidative stress pathologies and antioxidants: The antioxidant role of selenium and seleno-compounds. Biomedicine and Pharmacotherapy 57: 134-144.
52. Turan, M. A., Elkiram, A. H. A., Taban, N., and Tban, S. 2009. Effect of salt stress on growth, stomatal

resistance, proline and chlorophyll concentrations in maize plant. African Journal of Agricultural Research 4 (9): 893- 897.

53. Weimberg, R. 1987. Solute adjustments in leaves of two species of wheat at two different stages of growth in response to salinity. Physiologia Plantarum, 70:381-388.
54. Wright, P. R., Morgan, J. M., Jossop, R. S., and Cass, A. 1995. Comparative adaptation of canola (*Brassica napus* L.) and indian mustard (*Brassica Juncea*) to soil water deficit. Field Crops Research 42: 1-13.
55. Xue, T. L., Hartikainen, H., and Piironen, V. 2001. Antioxidative and growth-promoting effects of selenium on senescing lettuce. Plant and Soil 237: 55-61.
56. Zahedi, H., Noormohammadi, G., ShiraniRad, A. H., Habibi, D., and Mashhadi Akbar, B. 2009. The effects of zeolite and foliar applications of selenium on growth yield and yield components of three canola cultivars under drought stress. World Applied Sciences Journal 7: 255-262.
57. Zoyer, C., Dat, J. E., and Scott, I. M. 2005. Hydrogen peroxide in oilseed sunflower. Physiologia Plantarum 5: 241-254.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 14, No. 1, Spring. 2016, p. 154-170

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۴، شماره ۱ ، بهار ۱۳۹۵، ص. ۱۷۰-۱۵۴

Effect of Zeolite, Selenium and Silicon on Yield, Yield Components and Some Physiological Traits of Canola under Salt Stress Conditions

A. Bybordi[1*]

Received: 04-07-2014
Accepted: 02-09-2015

Introduction

Canola can be cultivated in large areas of the country due to its specific characteristics such as suitable composition of the fatty acids, its germination ability under low temperature, as well as its good compatibility with different climates. Canola is a high demanding crop in terms of fertilizers so that it uptakes considerable amount of nutrients from the soil during the growing season. Canola cultivation in poor soils or application of imbalanced fertilizers, especially nitrogen, can reduce qualitaty and quantity of final yield. On the other hand, salinity is known as one of the major limiting factors in canola production. Therefore, the aim of this study is the application of zeolite, selenium and silicon treatments to amend soil and increasing salinity tolerance in canola.

Materials and Methods

In order to study the effect of soil applied zeolite and foliar application of selenium and silicon on yield, yield components and some physiological traits of canola grown under salinity stress, a factorial experiment in randomized complete block design was conducted in Agriculture and Natural Resource Research Center in East Azerbaijan during 2011-2013 cropping seasons. Zeolite was applied at three levels (0, 5 and 10 ton ha^{-1}) and foliar selenium and silicon were applied at three levels as well (each one zero, 2 and 4 g l^{-1}). For this purpose, seedbed was prepared using plow and disk and then plot were designed. Canola seeds, cultivar Okapi, were sown in sandy loam soil with 4 $dS.m^{-1}$ salinity at the depth of 2-3 cm. Irrigation was performed using local well based on 60% field capacity using the closed irrigation system. Potassium selentae and potassium silicate were used for selenium and silicon treatments. Treatments at rosette and stem elongation stages were sprayed on plants using a calibrated pressurized backpack sprayer. At flowering stage, photosynthesis rate was recorded. Then leaf samples were randomly collected to assay chlorophyll, relative water content, catalase, peroxidase and superoxide dismutase activity, as well as malondialdehyde, sodium and potassium content in the leaves. The samples were immediately frozen in liquid nitrogen and kept in -80° C freezer. At the end of the growing season, agronomic traits such as silique number, seed number on silique, 1000- grain weight, grain yield, biological yield and harvest index were recorded. Total oil percentage and fatty acids (oleic, linolenic and linoleic) percentage were measured.

Results and Discussion

The combined analysis of variance indicated that the effect of year was significant on all studied traits, except for silique number, grain number in silique, linoleic acid, chlorophyll content and peroxidase activity. In addition, the results showed that the main effect of zeolite, selenium and silicon were significant on all canola studied traits. However, relative water content and peroxidase activity were not affected by silicon application. Comparison of means indicated that triple interaction was significant at 1000- grain weight, grain yield, biological yield, chlorophyll content, photosynthesis rate, relative water content and antioxidant enzyme activity. Some traits such as 1000- grain weight, grain yield, biological yield, harvest index, oil percentage, linolenic percentage and superoxide dismutase activity as well as sodium content in leaves were found to be higher in the second year compared with the first year. Zeolite significantly increased silique number and grain number in silique. Furthermore, harvest index increased with the increase of zeolite level. According to the results, selenium increased silique number, grain number in silique and harvest index in canola plants. Silicon foliar application also significantly increased silique number, grain number in silique and harvest index. The highest chlorophyll contents, photosynthesis rate and relative water content were registered when zeolite was applied at 10% w: w and silicon and selenium were applied at 4 g per litter. Similarly, the highest peroxidase and superoxide dismutase activity was observed in this treatment. Finally, the highest grain yield (3009.92 kg ha^{-1})

1- Assistant Professor, East Azarbaijan Research and Education Center for Agriculture and Natural Resources
(*- Corresponding Author Email: ahmad.bybordi@gmail.com)

and biological yield (108778 kg ha^{-1}) were obtained when 10% w: w zeolite was applied along with 4 g per liter selenium and 4 g per liter silicon In general, we concluded that application of zeolite, selenium and silicon could reduce adverse effects of salt stress and improve canola tolerance against salinity stress.

Conclusions

Among the applied treatments 10% w: w zeolite along with 4 g per liter selenium and 4 g per l liter silicon caused the best results in terms of canola grain yield.

Keywords: Amendment compounds, Canola, Tolerance, Zeolite