دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

تاثیر محلول‌پاشی سلنیوم بر برخی خصوصیات کمی و کیفی ارقام کلزا در شرایط تنش دمایی آخر فصل

عبدالرضا داودی[۱]، حسین زینل‌زاده تبریزی[۲] و امیرحسین شیرانی‌راد[۳]

۱- دکترا، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تبریز، ایران
۲- استادیار، بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، سازمان تحقیقات، ترویج و آموزش کشاورزی، اردبیل (مغان)، ایران (نویسنده مسوول: h.zeinalzadeh@areeo.ac.ir)
۳- استاد، بخش تحقیقات دانه‌های روغنی، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، ترویج و آموزش کشاورزی، کرج، ایران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۶/۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۷/۲۳
صفحه: ۷۴ تا ۸۷

چکیده

عنصر سلنیوم نقش حفاظتی و تاثیر مثبتی روی خصوصیات کمی و کیفی گیاهان دارد. به‌منظور بررسی تاثیر محلول‌پاشی سلنیوم بر محتوای پرولین برگ و برخی خصوصیات کمی و کیفی ارقام کلزا در شرایط تنش دمایی آخر فصل، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به‌مدت دو سال زراعی (۹۴-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹۴) در کرج اجرا گردید. در این آزمایش عامل اول تاریخ کاشت، عامل دوم سلنیوم و عامل سوم ژنوتیپ بود که عامل اول و دوم به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های اصلی و عامل سوم به‌صورت اسپلیت پلات در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. نتایج نشان داد صفات کمی و کیفی کلزا در این آزمایش تحت‌تأثیر تاریخ کاشت قرار گرفت. تاخیر در کاشت باعث کاهش بقای زمستانه، عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه، قطر طوقه، محتوای نسبی آب برگ ژنوتیپ‌های کلزا گردید. از طرف دیگر تاخیر در کاشت باعث افزایش نسبی آب طوقه در مرحله روزت و پرولین برگ در مرحله روزت ژنوتیپ‌های کلزا گردید اما بر روی شاخص برداشت ژنوتیپ‌ها تاثیر معنی‌داری نداشت. محلول‌پاشی سلنیوم باعث بهبود بقای زمستانه، عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه، قطر طوقه و محتوای نسبی آب برگ ژنوتیپ‌های کلزا گشت. همچنین محلول‌پاشی سلنیوم میزان پرولین برگ در مرحله روزت را به‌طور معنی‌داری کاهش داد که عامل مهمی در تحمل ژنوتیپ‌ها به شرایط کشت تاخیری و تنش گرمای آخر فصل داشت. از نظر بقای زمستانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی، لاین L72 در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی بهترین پاسخ را به این صفات در کشت به‌هنگام نشان داد اما در شرایط کشت تاخیری رقم Opera بهتر از بقیه ژنوتیپ‌ها بود، اگرچه با لاین L72 تفاوت معنی‌داری نداشت.

واژه‌های کلیدی: تاریخ کاشت، پرولین، عملکرد، ژنوتیپ، سلنات سدیم

مقدمه

کلزا (*Brassica napus* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان تیره شب‌بو است که دانه آن حاوی بیش از ۴۰ درصد روغن و کنجاله آن نیز سرشار از پروتئین می‌باشد (۵۵). دانه‌های روغنی بعد از غلات دومین منبع مهم تأمین انرژی مورد نیاز جوامع انسانی به‌شمار می‌روند. روغن دانه کلزا، پس از سویا و نخل روغنی در جایگاه سوم تولید جهانی قرار دارد (۱۷). در حال حاضر بیش از ۸۵ درصد مصرف داخلی روغن خوراکی کشور از طریق واردات تامین می‌گردد (۴). بنابراین توجه به توسعه و کشت دانه‌های روغنی در راستای خودکفایی اقتصادی و تامین امنیت غذایی از اهمیت زیادی برخوردار است. طبق آمار فائو، سطح زیر کشت کلزا در ایران حدود ۷۰ هزار هکتار و متوسط عملکرد ۱۸۲۵ کیلوگرم در هکتار و میزان تولید آن ۱۲۸ هزار تن در سال ۲۰۱۷ بوده است (۱۷) و در این راستا، وزارت جهاد کشاورزی برنامه راهبردی برای افزایش سطح زیرکشت و تولید کلزا در دستور کار قرار داده است. از آنجا که تولید موفق کلزا در یک منطقه وابسته به استفاده بهینه از ویژگی‌های اقلیمی آن منطقه است، میزان انطباق روند رشد گیاه طی دوره رشد با شرایط اقلیمی، عامل تعیین کننده‌ای بوده و می‌تواند در توضیح و تفسیر تفاوت ارقام کمک نماید (۱۴). کلزا یکی از گیاهان زراعی است که به‌شدت وابسته به مدیریت مزرعه می‌باشد. تاریخ کشت مناسب، ابزار مدیریتی مهمی برای تعیین بهترین تطابق زمانی مراحل فنولوژیکی گیاه با عوامل محیطی مؤثر بر آنها می‌باشد به‌طوری‌که حداکثر عملکرد حاصل شود (۶۶). انتخاب تاریخ کشت مناسب علاوه بر جلوگیری از اثرات سوء یخبندان بر محصول، باعث عدم برخورد مراحل حساس گیاه با دماهای بالا در دوره‌های انتهایی رشد می‌شود (۲). بنابراین پوشش مناسب مزرعه و رشد مطلوب و افزایش تحمل به سرما، کلزا باید در تاریخ مناسب کشت گردد (۶۶). با شروع اولین یخبندان در مناطق سرد، تاریخ کاشت در مناطق با دوره رشد کوتاه، نقش مهمی را در تعیین عملکرد و کیفیت دانه بازی می‌کند (۶۶). اگر زمان کاشت کلزا متناسب با شرایط محیطی انتخاب گردد، گیاه به واسطه رشد رویشی مطلوب، آسیب‌پذیری کمتری در برابر شرایط نامساعد محیطی داشته و به این ترتیب عملکرد دانه و روغن کلزا افزایش می‌یابد (۶۵). رابرتسون و هلند (۵۶) گزارش نمودند تاخیر در کاشت کلزای پاییز در نتیجه افزایش دمای محیط سبب کاهش دوره گلدهی و در نتیجه برخورد گرمای انتهای فصل با دوره پر شدن دانه و موجب کاهش عملکرد دانه و روغن کلزا می‌شود. فرجی و همکاران (۱۹) نشان دادند کاشت دیر هنگام کلزا با محدود کردن دوره رشد، باعث ایجاد بوته‌هایی با سطح سبز کم و در نهایت کاهش عملکرد دانه می‌گردد. در یک آزمایش دیگر فرجی (۱۸) نشان‌داد که بین تاریخ کاشت مناسب در کلزا و آبیاری تکمیلی آن با توزیع ماده خشک

ارتباط مستقیمی وجود دارد که از آن می‌توان در مدل‌سازی گیاهی استفاده نمود.

طبق بررسی‌های به‌عمل آمده سلنیوم یک عنصر مغذی برای تمامی گونه‌های حیات بوده و مکمل یک اسید آمینه غیرمعمول به‌نام Selenocysteine می‌باشد. در بیشتر گیاهان زراعی از جمله غلات و گیاهان علوفه‌ای قدرت جذب سلنیوم حتی در خاک‌های غنی از سلنیوم ضعیف می‌باشد (۴۹). غلظت‌های پایین سلنیوم اثرات سودمندی بر متابولیسم سلول‌های گیاهی دارد و جذب برخی یون‌ها را تنظیم می‌کند. تیمار گیاهان با سلنیوم باعث افزایش میزان آنزیم‌های جاروب‌کننده H_2O_2 (به‌ویژه آسکوربات پراکسیداز و گلوتاتیون پراکسیداز) و ترکیبات آنتی‌اکسیدان (مانند اسکوربات، پرولین و گلوتاتیون) می‌شود (۲۸). برای وارد نمودن سلنیوم به رژیم غذایی انسان و دام و با توجه به هزینه‌ها و عوارض استفاده از مکمل‌های دارویی، غنی‌سازی محصولات کشاورزی اهمیت بیشتری دارد و در حال حاضر مطالعات زیادی در مورد غنی‌سازی فراورده‌های کشاورزی با این عنصر در سراسر دنیا انجام می‌گیرد (۶۱). بنابراین، صرف‌نظر از اثر مفید سلنیوم در تحمل تنش‌های محیطی در گیاهان، استفاده از این عنصر به‌عنوان کود می‌تواند موجب ورود آن به زنجیره غذایی دام و انسان شود (۷۸). طبق مطالعه سپانن و همکاران (۶۱) افزودن سلنیوم به محیط رشد گیاه کلزا می‌تواند موجب بهبود کیفیت تغذیه‌ای دانه آن برای دام شده و نیز تاثیر سلامتی قابل توجهی داشته باشد. همچنین گزارش شده است که گیاهانی که با سلنیوم تغذیه شده‌اند، تجمع نشاسته در کلروپلاست‌های آنها افزایش یافته است (۶۱). نقش تنظیم‌کنندگی سلنیوم در وضعیت آبی گیاه در شرایط تنش خشکی نیز توسط کوزنتسف و همکاران (۳۷) بررسی‌شده و اثر حفاظتی آن به اثبات رسیده است. سپانن و همکاران (۶۰) گزارش کردند که سلنیوم باعث جلوگیری از تخریب کلروفیل در شرایط بروز تنش‌های محیطی می‌شود. همچنین سلنیوم سبب افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانت در گیاهان تنش دیده می‌گردد (۱۲). از دیگر اثرات سودمند سلنیوم می‌توان به افزایش رشد، متابولیسم کربوهیدرات‌ها و افزایش مقاومت به تنش‌ها اشاره کرد (۷۹).

پرولین اسید آمینه محلول در آب است که تحت تنش‌های محیطی در گیاهان عالی انباشته می‌شود. در تنش‌های اکسیداتیو، پرولین نقش آنتی‌اکسیداتیو دارد زیرا رادیکال‌های هیدروکسیل را جاروب کرده و به‌عنوان سازگار کننده آبی پروتئین عمل می‌کند (۶۷). پرولین نقش‌های مختلفی در گیاه ایفاء می‌کند مانند تنظیم فشار اسمزی، حفظ یکپارچگی غشاء، تعادل بین آنزیم–پروتئین، برقراری نسبت مناسب $NADP^+$-NADPH و پاک‌سازی رادیکال‌های آزاد (۶). کاتابولیسم سریع پرولین بلافاصله پس از رفع عامل تنش‌زا، باعث تامین اکی‌والان‌های احیاءکننده می‌گردد که فسفریلاسیون اکسیداتیو میتوکندریایی را حمایت و باعث تولیدATP به‌منظور بهبودی از استرس شده، آسیب‌های ناشی از تنش را جبران می‌کند (۳). تجمع پرولین در شرایط تنش به‌میزان مقاومت گیاه بستگی دارد. زنده ماندن گیاهان در شرایط تنش بستگی به توانایی گیاه به درک محرک، تولید و انتقال سیگنال‌ها و ایجاد تغییرات بیوشیمیایی دارد که فرآیندهای متابولیک نیز در همین راستا تغییر می‌کنند. عوامل مختلفی مانند کلسیم، اتیلن، جاسمونیک اسید و سالیسیلیک اسید به‌عنوان سیگنال‌هایی در این‌باره معرفی شده است (۳۵).

تاکنون پژوهش‌های متعددی از تاثیر سلنیوم بر خصوصیات کمی و کیفی گیاهان مختلفی مانند چای سبز (۳۱)، چچم (۲۷)، کاسنی (۲۳)، سویا (۷۴،۱۲)، ذرت (۵۸،۴۸)، گندم (۷۵،۱۰،۱۳،۴۷)، جو (۷۶،۲۴)، سورگوم (۱)، برنج (۳۰،۱۶)، نخودفرنگی (۶۴)، کاهو (۷۲)، سیب‌زمینی (۶۰،۵۳)، آفتابگردان (۵۷)، و کلزا (۷۷،۷۰،۶۳،۴۱،۲۹،۲۶،۲۲) مورد مطالعه محققان قرار گرفته است که گزارش‌های آنها مبنی بر تاثیر مثبت این عنصر روی گیاهان مورد مطالعه بوده است.

هدف از پژوهش حاضر تحقیق بر روی اثرات کاربرد محلول‌پاشی سلنیوم بر محتوای پرولین برگ و برخی خصوصیات کمی و کیفی ارقام و لاین‌های کلزا در شرایط تنش گرمای آخر فصل در تاریخ‌های مختلف کاشت بود.

مواد و روش‌ها

مشخصات محل اجرای آزمایش

محل اجرای آزمایش مزرعه ۴۰۰ هکتاری موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج در قسمت اراضی بخش تحقیقات دانه‌های روغنی، واقع در جاده ماهدشت بود. این محل از لحاظ جغرافیایی دارای طول و عرض جغرافیایی به‌ترتیب ۳۵ درجه و ۴۹ دقیقه شمالی، و ۵۱ درجه و ۶ دقیقه شرقی است. ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۲۱ متر می‌باشد. این منطقه براساس آمار آب و هوایی و منحنی آمبروترمیک به‌دلیل داشتن ۱۵۰ تا ۱۸۰ روز خشک و میانگین رطوبت نسبی ۵۳ درصد، جزء مناطق آب و هوایی مدیترانه‌ای گرم و خشک و با داشتن زمستان سرد و مرطوب و تابستان گرم و خشک، جزء رژیم رطوبتی خشک محسوب می‌شود (۳۲). براساس اطلاعات ۳۰ ساله هواشناسی کرج، متوسط بارندگی منطقه ۲۴۳ میلی‌متر در سال است. ریزش باران عمدتاً در اواخر پاییز و اوایل بهار رخ می‌دهد. میانگین حداکثر درجه حرارت سالانه در تیرماه، ۲۸ درجه سیلسیوس و میانگین حداقل درجه حرارت، یک درجه سلسیوس در دی‌ماه اتفاق می‌افتد. متوسط درجه حرارت منطقه در یک دوره ۳۰ ساله برابر ۱۳/۵ درجه سلسیوس و درجه حرارت خاک ۱۴/۵ درجه سلسیوس است که از نظر طبقه‌بندی رژیم حرارتی خاک، جزء مناطق ترمیک محسوب می‌شود. میانگین سالیانه جمع ساعات آفتابی ۲۸۹۹ ساعت به‌دست آمده است. اُفت دما در این شهرستان از آبان ماه شروع و در اکثر روزهای آذر، دی، بهمن و اسفند ماه مشاهده می‌گردد که البته این وضعیت ممکن است تا اواسط فروردین ماه ادامه یابد. وضعیت هواشناسی محل اجرای آزمایش در طی دوره آزمایش در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- میانگین دمای ماهانه و بارش ایستگاه سینوپتیک کرج در دوسال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹۴

Table 1. Average monthly temperature and precipitation of Karaj synoptic station during two crop years 2014-2015 and 2015-2016

ماه	مهر		آبان		آذر		دی		بهمن	
سال	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۳	۱۳۹۴
بارش (mm)	۱۳/۴	۳/۵	۱۳/۷	۷۷/۴	۳۱/۶	۲۸/۶	۶	۱۵/۶	۴۷/۸	۸/۷
میانگین دما (°C)	۱۸/۱	۱۹/۴	۱۸/۲	۱۰/۵	۶/۳	۴/۶	۵/۲	۵/۱	۷/۳	۴/۹
ماه	اسفند		فروردین		اردیبهشت		خرداد		تیر	
سال	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۴	۱۳۹۴	۱۳۹۵
بارش (mm)	۲۱/۳	۱۷/۸	۷۵/۵	۴۵/۴	۱۳	۲/۲	۰	۶/۶	۰	۰
میانگین دما (°C)	۶/۷	۱۱/۸	۱۱/۷	۱۳/۸	۱۹/۹	۲۰	۲۴/۲	۲۶//۴	۳۰/۹	۲۸/۹

مشخصات آزمایش

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به‌مدت دو سال (۹۴-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹۴) در منطقه کرج اجرا شد. در این آزمایش عامل اول تاریخ کاشت، در سه سطح شامل کاشت در تاریخ ۱۵ مهرماه (کاشت بهنگام)، ۲۵ مهر ماه (کاشت نسبتاً تاخیری) و ۵ آبان‌ماه (کاشت تاخیری)، عامل دوم سلنیوم، در دو سطح شامل عدم کاربرد و کاربرد ۳۰ گرم در لیتر در هکتار سلنیوم و عامل سوم ژنوتیپ، شامل یک رقم تجاری، دو لاین امیدبخش و سه هیبرید تجاری خارجی (جدول ۲) که عامل اول و دوم به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های اصلی و عامل سوم به‌صورت اسپلیت پلات در کرت‌های فرعی قرار گرفتند.

جدول ۲- مشخصات ژنوتیپ‌های مورد آزمایش

Table 2. Characteristics of the genotypes used

ردیف	ژنوتیپ	تیپ رشد	نوع	منشاء
۱	Opera	بینابین	رقم تجاری	سوئد
۲	L72	زمستانه	لاین امید بخش	ایران
۳	KR1	زمستانه	لاین امید بخش	ایران
۴	GKH3705	زمستانه	هیبرید	مجارستان
۵	GKH0224	زمستانه	هیبرید	مجارستان
۶	Neptune	زمستانه	هیبرید	فرانسه

به‌منظور اعمال تیمار کاربرد سلنیوم، ۳۰ گرم در لیتر در هکتار سلنات سدیم، در دو مرحله، ۱۵ گرم در لیتر در هکتار قبل از مرحله روزت (اوایل آذر ماه) و ۱۵ گرم در لیتر در هکتار در مرحله ساقه‌دهی (نیمه دوم اسفندماه) به‌صورت محلول‌پاشی و محلول‌پاشی با آب خالص جهت اعمال تیمار عدم کاربرد سلنیوم، انجام پذیرفت.

عملیات زراعی و آماده‌سازی زمین

مساحت کل مزرعه آزمایشی حدود ۱۲۵۰مترمربع در نظر گرفته شد. سپس اقدام به نمونه‌گیری از خاک مزرعه در دو عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری گردید و بر اساس نتایج آزمون خاک (جدول ۳)، توصیه کودی بر مبنای حدود ۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص و حدود ۷۰ کیلوگرم در هکتار P_2O_5 خالص از دو منبع کودی اوره و فسفات آمونیوم و مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار K_2O به‌صورت کود سولفات پتاسیم به‌همراه ۲/۵ لیتر در هکتار علف‌کش ترفلان (تری فلورالین)[1] به خاک داده شده و با دو دیسک عمود بر هم و سبک، با خاک مخلوط گردید.

سپس کرت‌های آزمایش که در مجموع ۱۰۸ کرت بودند، به‌صورت شش خط ۶ متری با فاصله خطوط ۳۰ سانتی‌متر و فاصله بوته روی خط ۴ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. دو خط کناری به‌عنوان حاشیه و چهار خط میانی آن برای نمونه‌برداری و بررسی صفات مختلف، مورد استفاده قرار گرفت. آرایش کاشت به‌صورت دو ردیفه در بالای پشته به این صورت که بذور دو طرف هر پشته و با فاصله از یکدیگر و به‌صورت خطی کاشته شدند. به‌منظور رسیدن به تراکم بوته مناسب در مرحله ۲ تا ۶ برگی اقدام به تنک و همچنین حذف علف‌های هرز گردید. آبیاری براساس نیاز گیاه و با سیفون انجام شد. به‌دلیل تفاوت در نمو ارقام و به‌منظور به حداقل رساندن ریزش دانه، از تاریخ هفدهم تا بیست و ششم خرداد، برداشت به موقع کرت‌ها، با کمباین مخصوص آزمایشات (وینتر اشتایگر)[2] انجام شد.

نمونه‌برداری و اندازه‌گیری صفات کمی

دو ردیف کناری و نیم‌متر از ابتدا و انتهای کرت به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته شد. سپس چهار خط میانی هر کرت (به فواصل زمانی حدوداً ۱۵ روز) و از مرحله روزت با کف بر نمودن ۱۰ بوته (به‌صورت تصادفی) از هر کرت اقدام به نمونه‌برداری گردید. نمونه‌ها سریعاً به آزمایشگاه انتقال داده شد و سپس به‌صورت جداگانه به اجزاء برگ و سایر اندام‌های گیاه تفکیک گردید.

برای به‌دست آوردن قطر طوقه از کولیس استفاده گردید. به‌منظور تعیین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک، در مساحت ۳/۶ مترمربع از منطقه برداشت نهایی هر کرت آزمایشی به‌طور جداگانه کف‌بُر شده و جهت خشک شدن نهایی و رسیدن به رطوبت ۱۲درصد، به‌مدت یک هفته در هوای آزاد قرار داده شدند.

1- Trifluralin

2- Wintersteiger

جدول ۳- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

Table 3. Physical and chemical properties of the soil of experimental farm

عمق نمونه‌برداری (cm)	بافت خاک	نیتروژن کل (%)	پتاسیم قابل جذب (mg/Kg)	فسفر قابل جذب (Mg/Kg)	کربن آلی (%)	واکنش خاک (pH)	هدایت الکتریکی (ds/m)	رطوبت گل اشباع (%)
۰-۳۰	رسی لومی	۰/۰۹	۱۹۷	۱۴/۷	۰/۹۱	۷/۹	۱/۴۵	۳۶
۳۰-۶۰	رسی لومی	۰/۰۷	۱۵۵	۱۵/۸	۰/۹۹	۷/۲	۱/۲۴	۳۸

قبل از جداکردن دانه از خورجین، وزن کل بوته‌ها (برگ، ساقه، خورجین و دانه) تعیین شد و عملکرد بیولوژیکی برحسب کیلوگرم در هکتار تعیین گردید. سپس بوسیله کمباین، دانه‌ها از خورجین جدا شدند و وزن دانه‌ها با ترازوی دقیق آزمایشگاهی با دقت یک هزارم گرم توزین و عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار محاسبه گردید.

درصد بقای بوته‌ها در مزرعه پس از زمستان، به‌عنوان معیاری جهت ارزیابی تحمل ارقام کلزا نسبت به شرایط سخت زمستان مورد استفاده قرار گرفت. به این منظور، ابتدا یک چهارگوش به ابعاد یک مترمربع در هر کرت به‌صورت تصادفی در نظر گرفته شد. تعداد بوته‌های سالم داخل هر چهارگوش پس از سبز شدن و رسیدن به تراکم مطلوب و قبل از شروع سرمای زمستان شمارش و ثبت گردید. سپس بعد از زمستان نیز تعداد بوته‌های سالم باقیمانده یادداشت شد. درصد بقای زمستانه هر رقم از نسبت تعداد بوته‌های زنده پس از زمستان به تعداد بوته‌های قبل از زمستان محاسبه شد.

اندازه‌گیری صفات کیفی

تعیین محتوای نسبی آب برگ

به‌منظور اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ از روش لازانکو-فرات و لووات (۳۹) استفاده گردید. محتوای نسبی آب برگ، از رابطه زیر محاسبه شد:

$$RWC\ (\%) = \left[\frac{(FW - DW)}{(TW - DW)}\right] \times 100$$

FW: وزن تر برگ، DW: وزن خشک برگ، TW: وزن برگ در آماس

تعیین محتوای نسبی آب طوقه در مرحله روزت

به‌منظور اندازه‌گیری محتوای نسبی آب طوقه در مرحله روزت، همانند صفت محتوای نسبی آب برگ، از رابطه قبل محاسبه شد.

تعیین مقدار پرولین برگ در مرحله روزت

مقدار پرولین برگ به‌روش بیتز و همکاران (۸) استخراج گردید. پس از تهیه محلول‌های استاندارد و اندازه‌گیری جذب نور، منحنی استاندارد برای هر مرحله نمونه‌برداری به‌طور جداگانه ترسیم و معادله خط محاسبه شد. سپس غلظت پرولین در نمونه‌ها بر اساس میکرومول در گرم وزن تر برگ محاسبه گردید.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

قبل از تجزیه داده‌ها، برای شناسایی داده‌های پرت از آزمون گراب (۲۵) استفاده شد. پس از تست نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو-ویلک (۶۲) و تایید برقراری مفروضات تجزیه واریانس، به‌منظور آزمون همگنی واریانس دو سال آزمایش از آزمون بارتلت (۷) استفاده شد و سپس، تجزیه واریانس مرکب داده‌ها بر اساس مدل آماری فاکتوریل اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و با استفاده از امید ریاضی میانگین مربعات منابع تغییر به‌دلیل تصادفی بودن اثر سال انجام شد. مقایسه میانگین‌ها نیز به روش آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد و اثر متقابل تیمارها به‌روش برش‌دهی انجام گردید. از نرم‌افزار آماری SAS (۵۹) نسخه ۹/۱ برای تجزیه آماری استفاده شد.

نتایج و بحث

درصد بقای زمستانه

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر سال، تاریخ کاشت، سلنیوم و ژنوتیپ همچنین اثر متقابل سال × تاریخ کاشت، تاریخ کاشت × ژنوتیپ و سال × تاریخ کاشت × سلنیوم × ژنوتیپ بر بقای زمستانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود. سایر اثرات متقابل نیز معنی‌دار نگردید (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین برای سال نشان داد که درصد بقای زمستانه بوته‌ها در سال دوم (۸۱/۵۵ درصد) به‌طور معنی‌داری بهتر بوده است که نشان‌دهنده برخورداری از شرایط بهتر آزمایش در سال دوم حکایت دارد (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین‌ها برای تاریخ کاشت نشان داد، میانگین بقای زمستانه در تاریخ کاشت ۱۵ مهرماه، ۲۵ مهرماه و ۵ آبان‌ماه به‌ترتیب ۹۰/۵۶، ۷۷/۲۷ و ۶۷/۰۵ درصد بود و بیشترین درصد بقای زمستانه در تاریخ کاشت ۱۵ مهرماه و کمترین آن در تاریخ کاشت ۵ آبان ماه مشاهده شد (جدول ۴). این نتایج نشان می‌دهند که تاریخ کاشت مناسب یک عامل با اهمیت در جهت دستیابی به بیشترین بقای زمستانه در گیاهان بوده به‌طوری‌که با تاخیر در کاشت ۲۳/۵۱ درصد از بوته‌های زنده مانده در آخر فصل زمستان کاهش یافت. نتایج مقایسه میانگین‌های صفت بقای زمستانه در تیمار سلنیوم نشان داد که کمترین و بیشترین میزان صفت مذکور به‌ترتیب در شرایط عدم کاربرد (۷۶/۷۶ درصد) و در شرایط کاربرد آن (۷۹/۸۳ درصد) مشاهده گردید (شکل ۱). ژنوتیپ نیز بر اساس نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس مرکب دارای اثر معنی‌داری در سطح یک درصد بر بقای زمستانه بودند. به‌طوری که مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین درصد بقای زمستانه متعلق به لاین L72 با ۸۱/۶۳ درصد و کمترین آن متعلق به هیبرید GKH3705 با ۷۴/۳۲ درصد بود (جدول ۴).

عملکرد بیولوژیکی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر سال، تاریخ کاشت، سلنیوم و ژنوتیپ و همچنین اثر متقابل تاریخ کاشت × ژنوتیپ، سلنیوم × ژنوتیپ و سال × تاریخ کاشت × سلنیوم × ژنوتیپ بر عملکرد بیولوژیکی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود اما سایر اثرات متقابل معنی‌دار نشدند (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد میانگین عملکرد بیولوژیکی در تاریخ کاشت ۱۵ مهرماه، ۲۵ مهرماه و ۵ آبان‌ماه به‌ترتیب ۱۹۰۷۳، ۱۴۵۷۸ و ۱۰۶۱۱ کیلوگرم در هکتار بود و بیشترین عملکرد بیولوژیکی در تاریخ کاشت ۱۵ مهرماه و کمترین آن در تاریخ کاشت ۵ آبان ماه مشاهده شد (جدول ۴). این نتایج نشان می‌دهند که تاریخ کاشت مناسب یک عامل با اهمیت در جهت دست‌یابی به بیشترین عملکرد بیولوژیکی در کلزا بوده به‌طوری که با تاخیر در کاشت عملکرد بیولوژیکی به‌طور چشمگیری کاهش یافت. نتایج مقایسه میانگین‌های صفت عملکرد بیولوژیکی در سطوح مختلف سلنیوم نشان‌داد که کمترین و بیشترین میزان صفت مذکور به‌ترتیب در شرایط عدم کاربرد (۱۴۱۷۵ کیلوگرم در هکتار) و در شرایط کاربرد آن (۱۵۳۳۳ کیلوگرم در هکتار) مشاهده گردید (شکل ۱). ژنوتیپ‌ها نیز بر اساس نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس مرکب دارای اثر معنی‌داری در سطح یک درصد بر عملکرد بیولوژیکی بود. به‌طوری که مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیکی متعلق به لاین امید بخش L72 با میانگین ۱۶۰۳۱ و کمترین آن متعلق به هیبرید GKH3705 با ۱۳۶۳۳ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۴).

عملکرد دانه

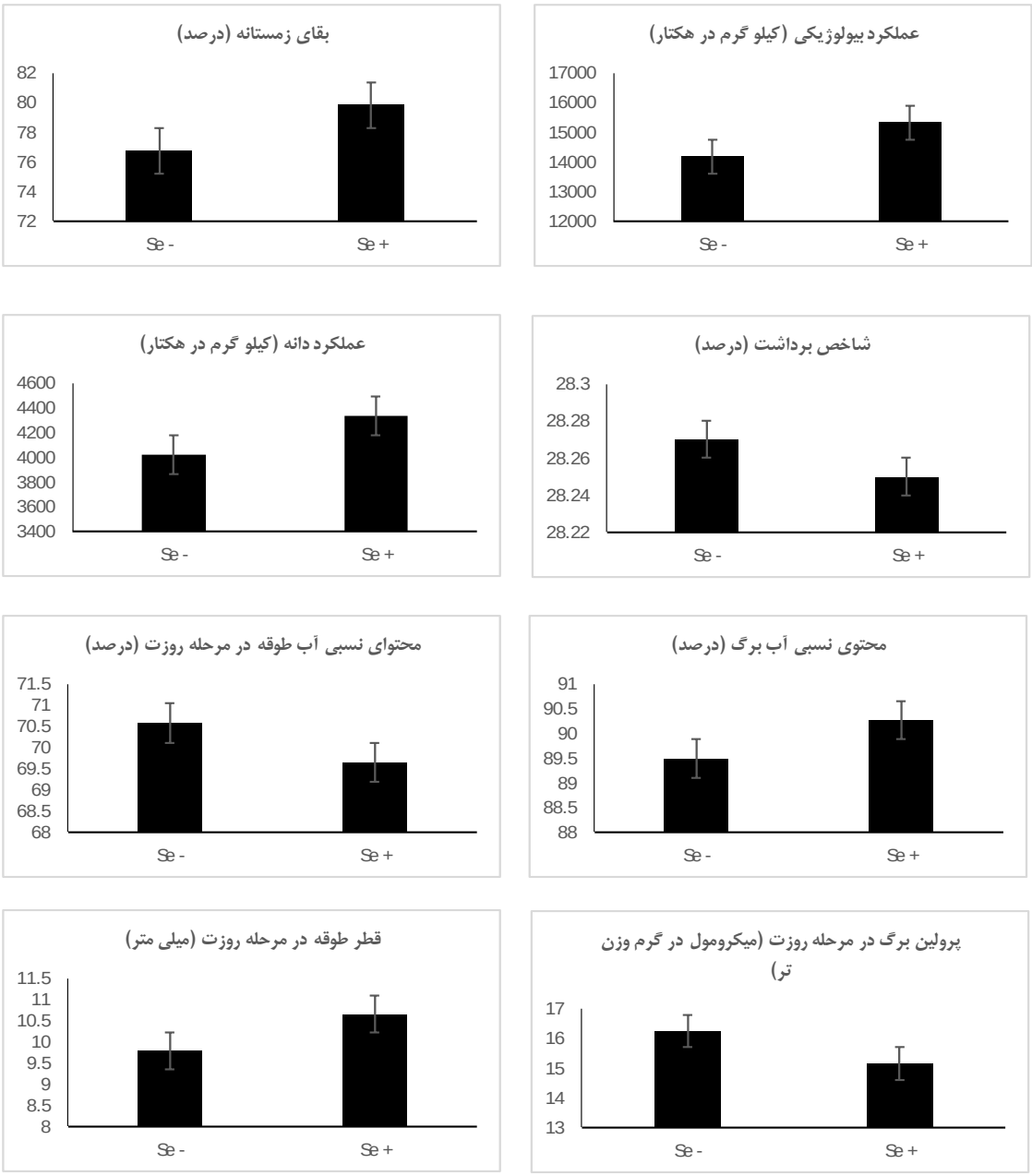
نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر سال، تاریخ کاشت، سلنیوم و ژنوتیپ بر عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل تاریخ کاشت × ژنوتیپ و سال × تاریخ کاشت × سلنیوم × ژنوتیپ نیز معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد میانگین عملکرد دانه در تاریخ کاشت ۱۵ مهرماه، ۲۵ مهرماه و ۵ آبان‌ماه به‌ترتیب ۵۴۱۰، ۴۱۹۹ و ۲۹۱۶ کیلوگرم در هکتار بود و بیشترین عملکرد دانه در تاریخ کاشت ۵ مهرماه و کمترین آن در تاریخ کاشت ۵ آبان‌ماه مشاهده شد (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین‌های صفت عملکرد دانه در سطوح مختلف سلنیوم نشان داد که کمترین و بیشترین میزان صفت مذکور به‌ترتیب در شرایط عدم کاربرد (۴۰۱۸ کیلوگرم در هکتار) و در شرایط کاربرد آن (۴۳۳۲ کیلوگرم در هکتار) مشاهده گردید (شکل ۱). ژتوتیپ نیز بر اساس نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس مرکب دارای اثر معنی‌داری در سطح یک درصد بر عملکرد دانه بود. به‌طوری که مقایسه میانگین در سطح ۵ درصد نشان داد که بیشترین عملکرد دانه متعلق به لاین امیدبخش L72 با ۴۴۹۴ و کمترین آن متعلق به هیبرید GKH3705 با ۳۸۵۵ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش دوجانبه تاریخ کاشت و ژتوتیپ به‌روش برش‌دهی، نشان داد در تاریخ کاشت ۱۵ مهرماه و لاین امید بخش L72 بیشترین عملکرد دانه (۵۸۵۳ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد. به این ترتیب کمترین عملکرد دانه در تاریخ کاشت ۵ آبان و در هیبرید GKH0224 با میانگین ۲۴۹۲ کیلوگرم در هکتار مشاهده گردید (جدول ۵).

جدول ۴- تجزیه واریانس و مقایسه میانگین اثرات اصلی در ارقام و لاین‌های کلزا

Table 4. Analysis of variance and comparison of means of main effects on rapeseed cultivars and lines

منابع تغییر	درجه آزادی		بقای زمستانه (درصد)	عملکرد بیولوژیکی (کیلو گرم در هکتار)	عملکرد دانه (کیلو گرم در هکتار)	شاخص برداشت (درصد)	محتوای نسبی آب طوقه در مرحله روزت (درصد)	قطر طوقه در مرحله روزت (میلی متر)	محتوای نسبی آب برگ (درصد)	پرولین برگ در مرحله روزت (میکرومول در گرم وزن تر)
			**	**	**	ns	**	ns	ns	**
سال	۱	سال اول	۷۵/۰۴^{b}	۱۳۷۱۷^{b}	۳۸۱۱^{b}	۲۷/۸۵^{a}	۶۹/۳۸^{b}	۱۰/۲۱^{a}	۹۰/۰۶^{a}	۱۷/۹۶^{a}
		سال دوم	۸۱/۵۵^{a}	۱۵۷۹۱a	۴۵۳۹^{a}	۲۸/۶۷^{a}	۷۰/۸۶^{a}	۱۰/۲۵^{a}	۸۹/۷۱^{a}	۱۳/۴۴^{b}
تاریخ کاشت			**	**	**	ns	**	**	**	**
	۲	۱۵ مهرماه	۹۰/۵۶^{a}	۱۹۰۷۳^{a}	۵۴۱۰^{a}	۲۸/۴۲^{a}	۶۶/۳۰^{c}	۱۳/۷۰^{a}	۹۲/۹۹^{a}	۱۱/۳۴^{c}
		۲۵ مهرماه	۷۷/۲۷^{b}	۱۴۵۷۸^{b}	۴۱۹۹^{b}	۲۸/۸۴^{a}	۶۹/۷۳^{b}	۱۰/۳۰^{b}	۸۹/۵۳^{b}	۱۵/۵۵^{b}
		۵ آبان ماه	۶۷/۰۵^{b}	۱۰۶۱۱^{c}	۲۹۱۶^{c}	۲۷/۵۲^{a}	۷۴/۳۳^{a}	۶/۹۵^{c}	۸۷/۱۳^{c}	۲۰/۲۱^{a}
ژنوتیپ			**	**	**	ns	**	**	*	**
	۵	Opera	۷۹/۲۷^{a}	۱۵۰۷۷^{D}	۴۳۳۲^{a}	۴۲/۳۰^{a}	۶۹/۴۴^{DC}	۱۰/۶۰^{D}	۸۹/۹۸ ^{ab}	۱۵/۰۱^{D}
		L72	۸۱/۶۳^{a}	۱۶۰۳۱^{a}	۴۴۹۴^{a}	۴۲/۴۹^{a}	۶۹/۱۹^{c}	۱۱/۱۴^{a}	۹۰/۷۱^{a}	۱۴/۶۳^{b}
		KR1	۷۵/۹۴^{b}	۱۳۹۱۰^{c}	۳۹۵۴^{b}	۴۱/۸۶^{b}	۷۰/۷۰^{ab}	۹/۵۴^{c}	۸۹/۳۶^{b}	۱۶/۵۰^{a}
		GKH3705	۷۶/۳۱^{b}	۱۴۰۳۶^{c}	۳۹۵۴^{b}	۴۱/۸۵^{b}	۷۰/۸۲^{ab}	۹/۶۴^{c}	۸۹/۴۳^{b}	۱۶/۵۱^{a}
		GKH0224	۷۴/۳۲^{b}	۱۳۶۳۳^{c}	۳۸۵۵^{b}	۴۱/۷۴^{b}	۷۱/۲۰^{a}	۹/۳۸^{c}	۸۹/۲۲^{b}	۱۶/۸۴^{a}
		Neptune	۸۱/۲۵^{a}	۱۵۸۳۶^{a}	۴۴۵۸^{a}	۴۲/۴۳^{a}	۶۹/۳۶^{DC}	۱۱/۰۴^{a}	۹۰/۶۱^{a}	۱۴/۷۲^{b}
سال × تاریخ کاشت	۲		**	ns	ns	ns	ns	*	ns	**
سلنیوم	۱		**	**	**	ns	*	**	*	*
سال × سلنیوم	۱		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
تاریخ کاشت × سلنیوم	۲		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
سال × تاریخ کاشت × سلنیوم	۲		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*
سال × ژنوتیپ	۵		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
تاریخ کاشت × ژنوتیپ	۱۰		**	**	**	ns	ns	**	ns	**
سلنیوم × ژنوتیپ	۵		ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns
سال × تاریخ کاشت × ژنوتیپ	۱۰		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*
سال × سلنیوم × ژنوتیپ	۵		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
تاریخ کاشت × سلنیوم × ژنوتیپ	۱۰		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
سال × تاریخ کاشت × سلنیوم × ژنوتیپ	۱۰		**	**	**	ns	**	ns	ns	**
ضریب تغییرات (درصد)			۶/۹۸	۶/۲۷	۱۱/۷۹	۱۴/۲۴	۴/۱۸	۸/۴۷	۲/۴۸	۵/۶۸

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد



شکل ۱- تاثیر عدم کاربرد (Se^-) و کاربرد (Se^+) محلول‌پاشی سلنیوم بر خصوصیات کمی و کیفی ارقام کلزا در شرایط تنش گرمایی آخر فصل. میله‌ها نشان‌دهنده خطای استاندارد هستند

Figure 1. The effect of non-application (Se^-) and application (Se^+) of selenium foliar application on quantitative and qualitative characteristics of rapeseed cultivars in late-season heat stress conditions. Bars show standard errors

محتوای نسبی آب طوقه در مرحله روزت

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر سال، تاریخ کاشت، سلنیوم و ژنوتیپ بر محتوای نسبی آب طوقه در مرحله روزت در سطح یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل سال × تاریخ کاشت × سلنیوم × ژنوتیپ نیز معنی‌دار بود (جدول ۴). در این بررسی نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد میانگین محتوای نسبی آب طوقه در مرحله روزت در تاریخ کاشت ۱۵ مهرماه، ۲۵ مهرماه و ۵ آبان‌ماه به‌ترتیب ۶۶/۳۰، ۶۹/۷۳ و ۷۴/۳۳ درصد بود و کمترین میانگین محتوای نسبی آب طوقه در مرحله روزت در تاریخ کاشت ۵ مهرماه و بیشترین آن در تاریخ کاشت ۵ آبان‌ماه مشاهده شد (جدول ۴). نتایج نشان داد تاخیر در کاشت منجر به افزایش محتوای نسبی آب طوقه در مرحله روزت شده است. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد سطوح مختلف سلنیوم اثر معنی‌داری بر محتوای نسبی آب طوقه در مرحله روزت نداشت (شکل ۱). در ادامه مقایسه میانگین‌ها به‌روش برش‌دهی در

سطح ۵ درصد نشان داد که بیشترین میانگین محتوای نسبی آب طوقه در مرحله روزت در ژنوتیپ GKH3705 با ۷۰/۸۲ و کمترین آن متعلق به ژنوتیپ L72 با ۶۹/۱۹ درصد مشاهده گردید. مشخص شد کاربرد سلنیوم باعث کاهش محتوای نسبی آب طوقه در مرحله روزت گردید (جدول ۴).

قطر طوقه در مرحله روزت

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر تاریخ کاشت، سلنیوم و ژنوتیپ همچنین برهم‌کنش دوجانبه تاریخ کاشت و ژنوتیپ و سال × تاریخ کاشت بر قطر طوقه در مرحله روزت در سطح یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۴). در این بررسی نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد میانگین قطر طوقه در مرحله روزت در تاریخ کاشت ۱۵ مهرماه، ۲۵ مهرماه و ۵ آبان‌ماه به‌ترتیب ۱۳/۷۰، ۱۰/۳۰و ۶/۹۵ میلی‌متر بود و بیشترین قطر طوقه در مرحله روزت در تاریخ کاشت ۵ مهرماه و کمترین آن در تاریخ کاشت ۵ آبان‌ماه مشاهده شد (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین‌های صفت قطر طوقه در مرحله روزت در سطوح مختلف سلنیوم نشان داد که کمترین و بیشترین میزان صفت مذکور به‌ترتیب در شرایط عدم کاربرد (۹/۷۹ میلی‌متر) و در شرایط کاربرد آن (۱۰/۶۶ میلی‌متر) مشاهده گردید (شکل ۱). ژنوتیپ‌ها نیز بر اساس نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس مرکب دارای اثر معنی‌داری در سطح یک درصد بر قطر طوقه در مرحله روزت بود. به‌طوری که مقایسه میانگین‌ها در سطح ۵ درصد نشان داد که بیشترین قطر طوقه در مرحله روزت در لاین L72 با ۱۱/۱۴ و کمترین آن در هیبرید GKH0224 با ۹/۳۸ میلی‌متر مشاهده گردید (جدول ۴). همچنین در نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش دوجانبه تیمارهای تاریخ کاشت و ژنوتیپ به روش برش‌دهی، نشان داد که بیشترین قطر طوقه در مرحله روزت در لاین L72 با میانگین ۱۵/۰۷ میلی‌متر در تاریخ کاشت ۱۵ مهرماه و کمترین آن از هیبرید GKH0224 با میانگین ۶/۰۰ میلی‌متر در تاریخ کاشت ۵ آبان‌ماه مشاهده شد (جدول ۵).

محتوای نسبی آب برگ

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر تاریخ کاشت بر محتوای نسبی آب برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود اما تیمار سلنیوم و ژنوتیپ در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد. همچنین اثرات متقابل تیمارها معنی‌دار نگردید (جدول ۴). در این بررسی نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد میانگین محتوای نسبی آب برگ در تاریخ کاشت ۱۵ مهرماه، ۲۵مهرماه و ۵ آبان‌ماه به‌ترتیب ۹۲/۹۹، ۸۹/۵۳ و ۸۷/۱۳ درصد بود و بیشترین میانگین محتوای نسبی آب برگ در تاریخ کاشت ۱۵ مهرماه و کمترین این مقدار در تاریخ کاشت ۵ آبان‌ماه مشاهده شد (جدول ۴). نتایج نشان داد تاخیر در کاشت منجر به کاهش محتوای نسبی آب برگ شده است. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد سطوح مختلف سلنیوم اثر معنی‌داری در سطح ۵ درصد بر محتوای نسبی آب برگ داشت به‌طوری که در شرایط کاربرد سلنیوم با ۹۰/۲۷ درصد بیشترین و در شرایط عدم کاربرد سلنیوم با ۸۹/۴۹ درصد کمترین محتوای نسبی آب برگ مشاهده گردید (شکل ۱). در ادامه مقایسه میانگین سطوح مختلف ژنوتیپ به‌روش برش‌دهی در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد که بیشترین درصد محتوای نسبی آب برگ در ژنوتیپ L72 با ۹۰/۷۱ و کمترین آن در ژنوتیپ GKH0224 با ۸۹/۲۲ درصد مشاهده گردید (جدول ۴).

میزان پرولین برگ در مرحله روزت

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر سال، تاریخ کاشت، سلنیوم و ژنوتیپ و همچنین برهم‌کنش سال × تاریخ کاشت و برهم‌کنش دوجانبه تاریخ کاشت × سلنیوم و تاریخ کاشت × ژنوتیپ به‌همراه سال × تاریخ کاشت × سلنیوم و سال × تاریخ کاشت × سلنیوم × ژنوتیپ معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد میزان پرولین برگ در مرحله روزت در تاریخ کاشت ۱۵ مهرماه، ۲۵ مهرماه و ۵ آبان‌ماه به‌ترتیب ۱۱/۳۴، ۱۵/۵۵ و ۲۰/۲۱ میکرومول در گرم وزن تر بود و بیشترین میانگین پرولین برگ در مرحله روزت در تاریخ کاشت ۵ آبان‌ماه و کمترین آن در تاریخ کاشت ۵ مهرماه مشاهده شد. نتایج نشان داد تاخیر در کاشت منجر به افزایش پرولین برگ در مرحله روزت شده است (جدول ۴). میانگین پرولین برگ در مرحله روزت در سطوح مختلف سلنیوم، به‌ترتیب در شرایط عدم کاربرد ۱۶/۲۵ میکرومول در گرم وزن تر و در شرایط کاربرد آن ۱۵/۱۵ میکرومول در گرم وزن تر بود و بیشترین میزان پرولین برگ در مرحله روزت از اثر تیمار عدم کاربرد سلنیوم مشاهده شد (شکل ۱). در ادامه مقایسه میانگین‌ها مشخص شد که بیشترین میزان پرولین برگ در مرحله روزت در ژنوتیپ GKH3705 با ۱۶/۸۴ و کمترین آن در ژنوتیپ L72 با ۱۴/۶۳ میکرومول در گرم وزن تر مشاهده گردید (جدول ۴). همچنین در نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش دوگانه تاریخ کاشت و ژنوتیپ به روش برش‌دهی، نشان داد که کمترین میزان پرولین برگ در مرحله روزت در ژنوتیپ L72 با میانگین ۱۰/۰۵، در تاریخ کاشت ۱۵ مهرماه مشاهده و بیشترین آن در ژنوتیپ GKH0224 با میانگین ۲۱/۸۹ میکرومول در گرم وزن تر، در تاریخ کاشت ۵ آبان‌ماه مشاهده شد (جدول ۵).

جدول ۵- برهمکنش دوجانبه تاریخ کاشت × ژنوتیپ بر خصوصیات کمی و کیفی ارقام کلزا در شرایط تنش گرمایی آخر فصل

Table 5. Interaction of planting date×genotype on quantitative and qualitative characteristics of rapeseed cultivars under end-season heat stress

تاریخ کاشت	ژنوتیپ	بقای زمستانه (درصد)		عملکرد بیولوژیکی (کیلو گرم در هکتار)		عملکرد دانه (کیلو گرم در هکتار)		قطر طوقه در مرحله روزت (میلی متر)		پرولین برگ در مرحله روزت (میکرومول در گرم وزن تر)	
۱۵مهرماه	Opera	۸۶/۰۲	c	۱۷۴۲۰/۸	c	۵۰۴۹/۵	c	۱۲/۶۲	d	۱۲/۳۹	a
	L72	۹۵/۵۷	a	۲۱۲۴۵/۰	a	۵۸۵۳/۵	a	۱۵/۰۷	a	۱۰/۰۵	c
	KR1	۸۷/۲۵	bc	۱۷۸۹۶/۰	bc	۵۱۶۳/۸	c	۱۲/۹۲	cd	۱۲/۱۱	a
	GKH3705	۹۰/۴۵	b	۱۸۸۱۲/۸	b	۵۳۵۲/۵	bc	۱۳/۵۷	b	۱۱/۴۷	abc
	GKH0224	۸۹/۰۷	bc	۱۸۳۲۸/۳	bc	۵۲۸۰/۸	c	۱۳/۲۵	bc	۱۱/۷۰	ab
	Neptune	۹۴/۷۵	a	۲۰۷۳۸/۰	a	۵۷۶۲/۸	ab	۱۴/۷۷	a	۱۰/۳۳	bc
۲۵ مهرماه	Opera	۸۰/۷۰	a	۱۵۸۸۸/۸	a	۴۵۹۳/۳	a	۱۱/۲۵	a	۱۴/۱۱	b
	L72	۷۹/۰۲	abc	۱۵۳۱۷/۰	a	۴۴۲۱/۰	ab	۱۰/۶۵	a	۱۴/۸۵	ab
	KR1	۷۵/۶۲	bcd	۱۳۸۸۶/۸	b	۳۹۹۴/۳	bc	۹/۳۵	b	۱۶/۳۷	ab
	GKH3705	۷۴/۶۲	cd	۱۳۵۸۸/۸	b	۳۹۰۷/۸	c	۹/۱۰	b	۱۶/۶۰	ab
	GKH0224	۷۴/۰۷	d	۱۳۲۰۸/۳	c	۳۷۹۲/۵	c	۸/۹۰	b	۱۶/۹۲	a
	Neptune	۷۹/۶۰	ab	۱۵۵۷۸/۳	a	۴۴۸۳/۵	ab	۱۰/۹۵	a	۱۴/۴۷	ab
۵ آبان ماه	Opera	۷۱/۱۰	a	۱۱۹۲۳/۳	a	۳۳۵۳/۰	a	۷/۹۵	a	۱۸/۵۴	d
	L72	۷۰/۴۵	ab	۱۱۵۳۱/۸	a	۳۲۰۹/۸	a	۷/۷۰	a	۱۸/۹۸	cd
	KR1	۶۴/۶۷	ab	۹۹۴۷/۵	b	۲۷۰۶/۵	bc	۶/۴۲	b	۲۱/۰۱	abc
	GKH3705	۶۳/۸۷	ab	۹۷۰۹/۰	b	۲۶۰۸/۳	c	۶/۲۵	b	۲۱/۴۶	ab
	GKH0224	۶۲/۸۲	b	۹۳۶۴/۳	b	۲۴۹۲/۸	c	۶/۰۰	b	۲۱/۸۹	a
	Neptune	۶۹/۴۲	ab	۱۱۱۹۲/۸	a	۳۱۳۰/۳	ab	۷/۴۰	a	۱۹/۳۶	bcd

درصد بقای زمستانه بوته‌ها در مزرعه، به‌عنوان معیاری جهت ارزیابی تحمل ارقام زمستانه کلزا نسبت به شرایط سرمای زمستان مورد استفاده قرار گرفت. پاسبان اسلام (۵۱) در بررسی خود روی کشت تاخیری کلزا نشان داد با توجه به همبستگی‌های معنی‌دار بین تعداد برگ در بوته، قطر طوقه و درصد سرمازدگی بوته‌ها با همدیگر و با عملکرد دانه استنباط می‌گردد بوته‌هایی که قبل از ظهور سرمای زمستان از تعداد برگ لازم (حدود ۵ برگ) و قطر طوقه مناسب (حدود ۶ میلی‌متر) برخوردار بودند، کمتر دچار سرمازدگی شدند و با رشد و نمو به‌موقع و مناسب در بهار عملکردهای مطلوبی داشتند. آسیب‌های تنش سرما و یخبندان بر روی کلزا در طول فصول سرد به‌صورت دماهای زیر صفر خارج از دامنه تحمل بوته‌ها باعث یخزدگی قسمت‌های مختلف گیاه همچون طوقه و ریشه شده و در نهایت به مرگ بوته‌ها می‌انجامد (۳۸). فرجی و همکاران (۱۹) گزارش دادند که کاشت دیر هنگام کلزا با محدود کردن دوره رشد، باعث ایجاد بوته‌هایی با سطح سبز کم و در نهایت کاهش عملکرد دانه می‌شود. ناجی (۴۶) با مطالعه ژنوتیپ‌های بهاره و زمستانه کلزا به این نتیجه رسید که بین ارقام مطالعه شده اختلاف معنی‌داری از نظر تحمل به سرما وجود دارد و اثر تاریخ کاشت بر بقای زمستانی بوته‌ها معنی‌دار بود وی همچنین اختلاف معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های مقاوم و حساس از نظر درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر مشاهده کرد. نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد سلنیوم توانسته گیاهانی با بیشترین بقای زمستانه را تولید نماید. همچنین در شرایط کاربرد سلنیوم در تاریخ کاشت مناسب، به‌دلیل افزایش مقاومت به شرایط تنش سرما و فراهم نمودن منبع قوی تولید مواد فتوسنتزی، از درصد بقای زمستانه بیشتری برخوردار بودند. گرم و همکاران (۲۳) نتیجه گرفتند که محلول‌پاشی سلنیوم باعث افزایش پتانسیل تنفسی در برگ‌های جوان گیاه کاسنی (*Cichorium intybus* L) می‌شود اما روی برگ‌های پیر در زمان نزدیکی برداشت تاثیر معنی‌داری نداشت. در آزمایش حاجی بلند و همکاران (۲۶) روی کلزا سلنیوم موجب افزایش اندک در درجه گشودگی روزنه‌ها و تعرق تحت هر دو رژیم آبیاری شد ولی تأثیر آن در افزایش سرعت تثبیت دی‌اکسیدکربن (فتوسنتز) چشمگیرتر بود. با وجود اینکه تأثیر سلنیوم در افزایش سرعت فتوسنتز در درون هر کدام از دو گروه با رژیم آبیاری متفاوت، معنی‌دار نبود ولی کمترین مقدار فتوسنتز در گیاهان آبیاری شده و بدون تیمار سلنیوم و بیشترین مقدار آن در گیاهان تحت تیمار همزمان خشکی و سلنیوم مشاهده شد.

تاخیر در کاشت منجر به کاهش و افت عملکرد در گیاهان شده به‌طوری‌که نتایج این پژوهش نشان داد که تاریخ کاشت مناسب در دست‌یابی به بیشترین عملکرد در گیاهان تاثیرگذار بوده و کاهش در عملکرد دانه در تاریخ کاشت‌های دیرهنگام را به‌علت کاهش تعداد غلاف در گیاه و کاهش شاخص برداشت دانسته‌اند (۵۰). اثر تأخیر در تاریخ کاشت بر روی افت عملکرد دانه و روغن (۱۴،۱۵،۶۹) و اجزای عملکرد کلزا (۴۴،۲۱) توسط پژوهشگران مختلف بررسی شده‌است.

رابرتسون و هلند (۵۶) نیز در مطالعات خود نشان دادند تاخیر در کاشت کلزا باعث کوتاهی دوره رسیدگی و دوره کاشت، تا ۵۰ درصد گلدهی و عمکرد دانه و روغن می‌شود. به‌نظر می‌رسد گیاه کلزا در تاریخ کاشت ۱۵ مهرماه (کشت بهنگام) با بهره‌گیری از شرایط مساعد اوایل فصل رشد، توانست عملکرد دانه بیشتری نسبت به کاشت در تاریخ ۲۵ مهر و ۵ آبان‌ماه (کشت تاخیری) داشته باشد. نتایج

پژوهش‌های مختلف نشان می‌دهد افزایش عملکرد دانه بر اثر کاربرد سلنیوم، به‌دلیل افزایش روند ساخت پرولین، کاهش روند تخریب کلروفیل‌های a,b (۶۰)، ممانعت از کاهش محتوی نسبی آب برگ (RWC) و تاثیر مثبت سلنیوم بر شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد (RGR,CGR,LAI,TDW) می‌باشد (۷۰).

با توجه به اینکه شاخص برداشت معیاری از کارایی انتقال مواد فتوسنتزی تولید شده در گیاه به دانه و نسبتی از عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیکی می‌باشد به‌نظر می‌رسد در سطوح مختلف تیماری تغییرات عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی متناسب بوده است و اختلافی بین شاخص برداشت در سطوح مختلف آماری مشاهده نگردید. فرجی و همکاران (۱۹) نیز گزارش کردند آبیاری تاثیر معنی‌داری بر شاخص برداشت دو رقم کلزای بهاره نداشته است.

طبق لیمین و فاولر (۴۰) محتوای آب بافت و اندازه سلول همبستگی زیادی با مقاومت به سرما دارند. محققان درصد آب کم و وزن خشک بیشتر بافت‌ها را به‌عنوان ویژگی‌های وابسته به مقاومت به سرما مطرح کرده‌اند. پراسیل و همکاران (۵۴) اظهار داشتند که میزان آب بافت در طی دوره عادت‌دهی به سرما کاهش می‌یابد و این کاهش سبب افزایش تحمل یخ زدگی می شود. آنها نتیجه گرفتند که افزایش وزن خشک گیاهچه در طی دوره عادت‌دهی به سرما برای القای تحمل یخزدگی در جو حایز اهمیت است. دانه لویی‌پور (۱۱) بین درصد بقای زمستانی و مقدار آب بافت همبستگی منفی و متوسط (۰/۵۳-) به‌دست آورد و نشان داد هرچه میزان آب بافت بیشتر باشد بقای زمستانی و تحمل به یخزدگی کمتر خواهد بود.

با توجه به نتایج این پژوهش مشخص شد در کشت‌های دیر هنگام پاییزه در اثر افت دمای محیط و به‌دنبال آن عدم تامین دماهای مناسب برای فعالیت‌های آنزیمی مرتبط با قابل استفاده‌نمودن ذخایر بذر، برای قسمت‌های مریستمی، سرعت استقرار گیاهچه‌های کلزا کاهش می‌یابند و در نتیجه کاهش قطر طوقه در کشت‌های دیرهنگام مشاهده می‌گردد به‌نظر می‌رسد سلنیوم، از طریق بهبود شرایط فیزیولوژیک گیاه می‌تواند موجب بهبود شرایط رشد گیاه و حصول قطر طوقه بیشتر شود.

محتوای آبی برگ‌ها به‌عنوان عاملی برای تعیین سطح آب گیاه شناخته شده است که منعکس کننده فعالیت‌های متابولیکی در بافت‌هاست. کاهش در محتوای نسبی آب برگ نشانگر یک کاهش تورگر می‌باشد که سبب کاهش آب مورد نیاز برای فرایندهای مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی از قبیل طویل شدن سلولی، باز شدن روزنه‌ها و فرایندهای وابسته به فتوسنتز است (۲۰). محتوای نسبی آب برگ یکی از ویژگی‌های موثر در ادامه رشد کلزا تحت شرایط کم آبی می‌باشد که در مرحله زایشی نسبت به مرحله رویشی کاهش یافته و با ادامه تنش، میزان نسبی آب برگ در طول فصل رشد به‌طور مداوم کاهش می‌یابد (۳۶). خان و همکاران (۳۴) در ارزیابی ژنوتیپ‌های با پتانسیل عملکرد بالا در شرایط کم آبی با استفاده از شاخص‌های فیزیولوژی نشان‌دادند که تیمارهای کم آبیاری در مراحل گلدهی و خورجین‌دهی سبب کاهش چشم‌گیر محتوای نسبی آب برگ ارقام کلزا گردید. جیانگ و هوانگ (۳۳) گزارش نمودند که بالا بودن محتوای نسبی آب برگ در ژنوتیپ‌های متحمل به کم آبی می‌تواند به‌دلیل وجود برخی عوامل کم کننده تلفات آب، از طریق بستن روزنه‌ها و یا به واسطه جذب بیشتر آب از طریق گسترش و توسعه ریشه باشد. در بررسی فیزیولوژی تحمل به تنش کم آبی، یاداو و بهوشان (۷۳) نتیجه گرفتند که در زمان وقوع تنش کم آبی محتوای نسبی آب برگ کاهش یافته که به‌طور مستقیم با فشار توگر و پتانسیل آبی گیاه در ارتباط است و بدین‌ترتیب ارتباط نزدیکی بین کاهش آب درون سلول، محتوای نسبی آب برگ و عمکلرد وجود دارد. با توجه به‌وجود همبستگی بالا بین توان جذب آب و محتوای نسبی آب برگ در کلزا، به‌دنبال بروز خشکی و کاهش توان جذب آب، محتوای نسبی آب برگ کاهش می‌یابد (۵۲). در شرایط خشکی، محتوای نسبی آب برگ با هدایت روزنه‌ای همبستگی داشته و کاهش مقدار آن در شرایط کمبود آب، منجر به کاهش هدایت روزنه‌ای و جذب دی‌اکسیدکربن شده و در نهایت سبب افت فتوسنتز می گردد (۴۳). بدیهی است که گیاهان با محتوای نسبی آب برگ بیشتر، از توان حفظ آب بالاتری برخوردار خواهند بود و بنابراین به فتوسنتز ادامه خواهند داد و در نتیجه با افزایش عملکرد روبرو خواهیم بود.

اسید آمینه پرولین یکی از مهم‌ترین مواد محلول سازگار است که به‌طور استثنایی سبب افزایش سازگاری گیاهان شده و وجود آن برای متابولیسم پایه گیاه ضروری است (۶۸). پرولین سبب استواری ساختار سه بعدی پروتئین‌ها و محافظت از سیستم فتوسنتزی و غشاء سلولی (۷۱)، تنظیم اسمزی سلول و جاروب‌گری گونه‌های فعال اکسیژن (۶) در واکنش به تنش‌های غیرزیستی می‌گردد. همچنین این اسید آمینه به‌عنوان مخزن انرژی برای تنظیم پتانسیل احیاء و حفظ تعادل ردوکس در گیاه مشارکت کرده، در توسعه رشد دخالت داشته و به‌عنوان یکی از اجراء شبکه‌های پیام‌رسانی در گیاه، وظایف میتوکندریایی را کنترل کرده و از این رو سبب افزایش تحمل به تنش در گیاهان می‌شود (۶۸). پاسخ گیاهان به تنش‌های محیطی متفاوت بوده و توانایی گیاهان برای سازش به نوع، شدت و مدت تنش و همچنین، گونه گیاهی و مرحله وقوع تنش بستگی دارد (۴۵). آرامجو و همکاران (۵) گزارش نمودند که با بالا رفتن سطح تنش خشکی تا ۵۰ درصد ظرفیت زراعی مزرعه در گیاه بابونه، بر میزان تجمع دو تنظیم‌کننده اسمزی (کربوهیدارت‌ها و پرولین) افزوده شد. بی هاردواج یاداو (۹) نیز در این رابطه بیان داشتند تجمع پرولین در ارقام متحمل به خشکی بسیار چشمگیرتر از ارقام حساس به خشکی است و این امر با افزایش تحمل به تنش خشکی و سازگاری گیاه با شرایط خشک ارتباط نزدیکی خواهد داشت. اشرف و فولاد (۶) گزارش دادند که دمای پایین باعث القاء تغییرات در ترکیبات پروتیینی، پرولین و کربوهیدرات‌ها می‌شود مولکول‌های پیک که در سیستم‌های انتقال سیگنال نقش دارند، آنزیم‌های ویژه‌ای را برای فعال‌کردن مسیر تولید پرولین ایجاد می‌کنند تا باعث تشکیل یا تنظیم فعالیت

ترکیبات دفاعی مانند پرولین شود. همچنین پرولین در تنظیم فشار اسمزی، حفظ یکپارچگی غشا، تعادل بین آنزیم‌ها و پاک‌سازی رادیکال‌های آزاد نقش دارد. مجیدی و همکاران (۴۲) نتیجه گرفتند محتوای پرولین در شرایط تنش خشکی با عملکرد دانه همبستگی معنی‌دار دارد و احتمالا می‌تواند به‌عنوان شاخص انتخاب غیر مستقیم برای مقاومت به خشکی در کلزا استفاده شود.

با توجه به‌نتایج بررسی این آزمایش مشاهده گردید با تاخیر در کاشت، به‌دلیل برخورد گیاه با تنش‌های مختلف محیطی میزان تولید پرولین برگ در مرحله روزت افزایش یافته است و این موضوع در رابطه با کاربرد یا عدم کاربرد سلنیوم متفاوت است به‌طوری که مشاهده شد در تیمار عدم کاربرد سلنیوم میزان پرولین برگ در مرحله روزت افزایش یافت و این موضوع با یافته‌های مطالعات مختلف مطابقت دارد.

حاجی بلند و همکاران (۲۶) نشان دادند که اثر سلنیوم در افزایش تحمل خشکی و بهبود روابط آبی در گیاه کلزا مربوط به افزایش جذب آب به‌دلیل توسعه ریشه، افزایش فتوسنتز و تشکیل قندهای محلول بوده است. سلنیوم باعث افزایش مقاومت گیاهان به تشعشع پرتو فرابنفش، کاهش تنش‌های اکسیداتیو و به تاخیر انداختن پیری می‌گردد (۷۹). در آزمایشی که روی گیاه ذرت در شرایط تنش رطوبتی در مرحله گلدهی انجام شد نیز مشاهده شد که محلول‌پاشی سلنیوم در شرایط تنش، صفات عملکرد دانه، شاخص برداشت و کارایی مصرف آب را بهبود بخشید و همچنین موجب افزایش تعداد دانه در بلال وزن هزار دانه و عملکرد دانه ذرت گردید (۴۸). همچنین در مطالعه‌ای تاثیر کاربرد زئولیت و سلنیوم به تحمل به تنش خشکی طی مرحله گلدهی در چهار رقم کلزا مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده گردید که کاربرد زئولیت به‌میزان ده تن در هکتار به‌همراه محلول پاشی سلنیوم به‌میزان ۳۰ گرم در لیتر با کاهش اثرات نامطلوب تنش، تاثیر مثبتی بر شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد (TDW ،LAI ،RGR, CGR) کلزا داشت (۷۰). عباس (۱) گزارش کرد کاربرد سلنیوم (غلظت‌های ۳ و ۶ میلی‌گرم در لیتر) بر روی گندم به‌طور معنی‌داری درصد نشت الکترولیت را در مقایسه با گیاهان تیمار نشده کاهش داد ولی غلظت‌های بالای سلنیوم (۱۲ میلی‌گرم در لیتر) باعث افزایش درصد نشت الکترولیت گردید.

صفات کمی و کیفی کلزا در این آزمایش تحت‌تأثیر تاریخ کاشت قرار گرفت. تاخیر در کاشت باعث کاهش بقای زمستانه، عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه، قطر طوقه، محتوای نسبی آب برگ ژنوتیپ‌های کلزا گردید. از طرف دیگر تاخیر در کاشت باعث افزایش نسبی آب طوقه در مرحله روزت و پرولین برگ در مرحله روزت ژنوتیپ‌های کلزا گردید اما بر روی شاخص برداشت ژنوتیپ‌ها تاثیر معنی‌داری نداشت. محلول‌پاشی سلنیوم اگرچه دارای اثرمتقابل با تاریخ کاشت و ژنوتیپ نبود اما کاربرد آن باعث بهبود بقای زمستانه، عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه، قطر طوقه و محتوای نسبی آب برگ ژنوتیپ‌های کلزا گشت. همچنین محلول‌پاشی سلنیوم میزان پرولین برگ در مرحله روزت را به‌طور معنی‌داری کاهش داد که عامل مهمی در تحمل ژنوتیپ‌ها به شرایط کشت تاخیری و تنش گرمای آخر فصل داشت. از نظر بقای زمستانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی، لاین L72 در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی بهترین پاسخ را به این صفات در کشت نرمال نشان‌داد اما در شرایط کشت تاخیری رقم Opera بهتر از بقیه ژنوتیپ‌ها بود، اگرچه با لاین L72 تفاوت معنی‌داری نداشت.

تشکر و قدردانی

از بخش تحقیقات دانه‌های روغنی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج که امکانات اجرای این تحقیق را فراهم کردند و همچنین دکتر حمید جباری عضو هیات علمی این بخش تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

1. Abbas, S.M. 2012. Effects of low temperature and selenium application on growth and the physiological changes in sorghum seedlings. Journal of Stress Physiology and Biochemistry, 8(1): 268-286.
2. Adamsen, F. and T. Coffelt. 2005. Planting date effects on flowering, seed yield, and oil content of rape and crambe cultivars. Industrial Crops and Products, 21(3): 293-307.
3. Alia Saradhi, P. and P. Mohanty. 1993. Proline in relation to free radical production in seedlings of *Brassica juncea* raised under sodium chloride stress. Plant and Soil, 155(156): 497-500.
4. Anonymous. 2012. Annual Report. Iranian Vegtable Oil Industry Association.
5. Arazmjo, E., M. Heidari and A. Ghanbari. 2010. Effect of water stress and type of fertilizer on yield and quality of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). Iranian Journal of Crop Sciences, 12(2): 100-111 (In Persian).
6. Ashraf, M. and M. Foolad. 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environmental and Experimental Botany, 59(2): 206-216.
7. Bartlett, M. 1937. A test for homogeneity of variances. A test for homogeneity of variances. Proceedings of the Royal Society of London, 160: 268-282.
8. Bates, L., R. Waldren and I. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil, 39(1): 205-207.
9. Bhardwaj, J. and S.K. Yadav. 2012 .Comparative study on biochemical parameters and antioxidant enzymes in a drought tolerant and a sensitive variety of Horsegram (*Macrotyloma uniflorum*) under drought stress. American Journal of Plant Physiology, 7: 17-29.

10. Broadley, M.R., J. Alcock, J. Alford, P. Cartwright, I. Foot, S.J. Fairweather-Tait, D.J. Hart, R. Hurst, P. Knott and S.P. Mcgrath. 2010. Selenium biofortification of high-yielding winter wheat (*Triticum aestivum* L.) by liquid or granular Se fertilisation. Plant and Soil, 332(2-1): 5-18.
11. Danehlouipour, N. 2001. Investigation on cold resistance in rapeseed using quantitative characters and molecular markers. MSc. Thesis, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
12. Djanaguiraman, M., D.D. Devi, A.K. Shanker, J.A. Sheeba and U. Bangarusamy. 2005. Selenium-an antioxidative protectant in soybean during senescence. Plant and Soil, 272(1-2): 77-86.
13. Ducsay, L. and O. Lozek. 2006. Effect of selenium foliar application on its content in winter wheat grain. Plant, Soil and Environment, 52(2):78.
14. Ehteshami, S., A.A. Tehrani and B. Samadi. 2016. Effect of planting date on some phenological and morphological characteristics, yield and yield components of five rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. Agronomy Journal, 108: 111-120 (In Persian).
15. Fallah-Haki, M.H., A. Yadavi, M. Movahhedi-Dehnavi, H. Balouchi and H. Faraji. 2012. The effect of planting date on phonological stages and quantity traits of four winter rapeseed cultivars in Yasouj. Journal of Plant Productions (Agronomy, Breeding and Horticulture), 35(2): 99-113 (In Persian).
16. Fang, Y., L. Wang, Z. Xin, L. Zhao, X. An and Q. Hu. 2008. Effect of foliar application of zinc, selenium, and iron fertilizers on nutrients concentration and yield of rice grain in China. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 56(6): 2079-2084.
17. FAOSTAT. 2017. Agriculture organization of the united Nations statistics division (2019). Available in: http://www.fao.org/faostat/en/#data.
18. Faraji, A. 2009. Estimating of planting and supplemental irrigation on dry matter distribution in canola cultivars (*Brassica napus* L.). Journal of Crop Breeding, 1(1): 29-42 (In Persian).
19. Faraji, A., N. Latifi, A. Soltani and A.H. Shirani-Rad. 2009. Seed yield and water use efficiency of canola (*Brassica napus* L.) as affected by high temperature stress and supplemental irrigation. Agricultural Water Management, 96(1): 132-140 (In Persian).
20. Farkhondeh, R., E. Nabizadeh and N. Jalilnezhad. 2012. Effect of salinity stress on proline content, membrane stability and water relations in two sugar beet cultivars. International Journal of AgriScience, 2(5): 385-392.
21. Fathi, G., S. Siadat and S. Hemaiaty. 2003. Effect of sowing date on yield and yield components of three oilseed rape varieties. Acta Agronomica Hungarica, 51(3): 249-255.
22. Filek, M., R. Keskinen, H. Hartikainen, I. Szarejko, A. Janiak, Z. Miszalski and A. Golda. 2008. The protective role of selenium in rape seedlings subjected to cadmium stress. Journal of Plant Physiology, 165(8): 833-844.
23. Germ, M., V. Stibilj, J. Osvald and I. Kreft. 2007. Effect of selenium foliar application on chicory (*Cichorium intybus* L.). Journal of Agricultural and Food Chemistry, 55(3): 795-798.
24. Gissel-Nielsen, G. 1981. Foliar application of selenite to barley plants low in selenium. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 12(6): 631-642.
25. Grubbs, F.E. 1969. Procedures for detecting outlying observations in samples. Technometrics, 11(1): 1-21.
26. Hajiboland, R., N. Keyvanfar, A .Joudmand, H. Rezae and M. Yousefnejad. 2015. Effect of selenium treatment on drought tolerance of canola plants. Journal of Plant Researches, 27(4):557-568 (In Persian).
27. Hartikainen, H., T. Xue and V. Piironen. 2000. Selenium as an anti-oxidant and pro-oxidant in ryegrass. Plant and Soil, 225(1-2): 193-200.
28. Hasanuzzaman, M., M.A. Hossain and M. Fujita. 2010. Selenium in higher plants: physiological role, antioxidant metabolism and abiotic stress tolerance. Journal of Plant Sciences, 5(4): 354-375.
29. Hashem, H.A ,.R.A. Hassanein, M.A. Bekheta and F.A. El-Kady. 2013. Protective role of selenium in canola (*Brassica napus* L.) plant subjected to salt stress. The Egyptian Journal of Experimental Biology (Botany), 9(2): 199-211.
30. Hu, Q., L. Chen, J. Xu, Y. Zhang and G. Pan. 2002. Determination of selenium concentration in rice and the effect of foliar application of Se-enriched fertiliser or sodium selenite on the selenium content of rice. Journal of the Science of Food and Agriculture, 82(8): 869-872.
31. Hu, Q., J. Xu and G. Pang. 2003. Effect of selenium on the yield and quality of green tea leaves harvested in early spring. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 51(11): 3379-3381.
32. IRIMO. 2016. Iranian Meteorological Office Data Processing Center. Islamic Republic of Iran Meteorological Office.
33. Jiang, Y. and B. Huang. 2001. Effects of calcium on antioxidant activities and water relations associated with heat tolerance in two cool-season grasses. Journal of Experimental Botany, 52(355): 341-349.
34. Khan, M.A., M. Ashraf, S. Mujtaba, M. Shirazi, M. Khan, A. Shereen, S. Mumtaz, M.A. Siddiqui and G.M. Kaleri. 2010. Evaluation of high yielding canola type *Brassica* genotypes/mutants for drought tolerance using physiological indices as screening tool. Pakistan Journal of Botany, 42(6): 3807-3816.
35. Klessig, D.F. and J. Malamy. 1994. The salicylic acid signal in plants. Plant Molecular Biology, 26(5): 1439-1458.
36. Kumar, A. and D. Singh. 1998. Use of physiological indices as a screening technique for drought tolerance in oilseed *Brassica* species. Annals of Botany, 81(3): 413-420.
37. Kuznetsov, V.V., V. Kholodova, V.V. Kuznetsov and B. Yagodin. 2003. Selenium regulates the water status of plants exposed to drought. Doklady Biological Sciences, 390(1): 266-268.

38. Larcher, W. and G. Neuner. 1989. Cold-induced sudden reversible lowering of in vivo chlorophyll fluorescence after saturating light pulses: a sensitive marker for chilling susceptibility. Plant Physiology, 89(3): 740-742.
39. Lazcano-Ferrat, I. and C.J. Lovatt. 1999. Relationship between relative water content, nitrogen pools, and growth of *Phaseolus vulgaris* L. and *P. acutifolius* A. Gray during water deficit. Crop Science, 39(2): 467-475.
40. Limin, A. and D. Fowler. 2000. Morphological and cytological characters associated with low-temperature tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L. em Thell.). Canadian Journal of Plant Science, 80(4): 687-692.
41. Lyons, G.H., Y. Genc, K. Soole, J. Stangoulis, F. Liu and R. Graham. 2009. Selenium increases seed production in *Brassica*. Plant and Soil, 318(1-2): 73-80.
42. Majidi, M.M., M. Jafarzadeh Ghahdarijani, F. Rashidi and A. Mirlohi. 2016. Relationship of different traits in rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars under normal and drought conditions. Journal of Crop Breeding, 8(17): 55-65 (In Persian).
43. Miller, P.R., B.G. Mcconkey, G.W. Clayton, S.A. Brandt, J.A. Staricka, A.M. Johnston, G.P. Lafond, B.G. Schatz, D.D. Baltensperger and K.E. Neill. 2002. Pulse crop adaptation in the northern Great Plains. Agronomy Journal, 94(2): 261-272.
44. Mostafavi-Rad, M. and A. Mirabdolhaq. 2010. Evaluation of delayed sowing dates on quantitative and qualitative traits and dry matter remobilization in three winter rapeseed cultivars in Markazi Province. Plant Production, 33(1): 49-66 (In Persian).
45. Munns, R. and M. Tester. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology, 59: 651-681.
46. Naji, A.M. 2001. Evaluation of cold resistance in oilseed rape genotypes. M.Sc. Thesis ,Tabriz Univeisity, 117 pp (In Persian).
47. Nawaz, F., R. Ahmad, M. Ashraf, E. Waraich and S. Khan. 2015. Effect of selenium foliar spray on physiological and biochemical processes and chemical constituents of wheat under drought stress. Ecotoxicology and Environmental Safety, 113: 191-200.
48. Nejat, F., M. Dadniya, M. Shirzadi and S .Lak. 2009. Effects of drought stress and selenium application on yield and yield components of two maize cultivars. Plant Ecophysiology, 2: 95-102 (In Persian).
49. Nowak, J., K. Kaklewski and M. Ligocki. 2004. Influence of selenium on oxidoreductive enzymes activity in soil and in plants. Soil Biology and Biochemistry, 36(10): 1553-1558.
50. Ozer, H. 2003. Sowing date and nitrogen rate effects on growth, yield and yield components of two summer rapeseed cultivars. European Journal of Agronomy, 19(3): 453-463.
51. Pasban-Eslam, B. 2011. Study of possibility of delayed planting of oilseed rape (*Brassica napus* L.) in East Azarbaijan in Iran. Seed and Plant Production, 27(3): 269-284 (In Persian).
52. Pasban-Eslam, B., M. Shakiba, M. Neyshabouri, M. Moghadam and M. Ahmadi. 2000. Evaluation of physiological indices as a screening technique for drought resistance in oilseed rape. Pakistan Academy of Sciences Journal, 37: 143-152.
53. Poggi, V., A. Arcioni, P. Filippini and P.G. Pifferi. 2000. Foliar application of selenite and selenate to potato (*Solanum tuberosum*): Effect of a ligand agent on selenium content of tubers. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 48(10): 4749-4751.
54. Prášil, I., Z. Kadlecová-Faltusová and M. Faltus .2001. Water and ABA content in fully expanded leaves of cold-hardened barleys. Icelandic Agricultural Sciences, 14: 49-53.
55. Raymer, P. 2002. Canola: an emerging oilseed crop. Trends in New Crops, 1: 122-126.
56. Robertson, M. and J. Holland. 2004. Production risk of canola in the semi-arid subtropics of Australia. Australian Journal of Agricultural Research, 55(5): 525-538.
57. Saidi, I., Y. Chtourou and W. Djebali. 2014. Selenium alleviates cadmium toxicity by preventing oxidative stress in sunflower (*Helianthus annuus*) seedlings. Journal of Plant Physiology, 171(5): 85-91.
58. Sajedi, N.A., M.R. Ardakani, H. Madani, A. Naderi and M. Miransari. 2011. The effects of selenium and other micronutrients on the antioxidant activities and yield of corn (*Zea mays* L.) under drought stress. Physiology and Molecular Biology of Plants, 17(3): 215-222.
59. SAS. 2008. SAS/STAT User's Guide Version 9.1: SAS Institute, Cary, NC.
60. Seppänen, M., M. Turakainen and H. Hartikainen. 2003. Selenium effects on oxidative stress in potato. Plant Science, 165(2): 311-319.
61. Seppänen, M.M., J. Kontturi, I.L. Heras, Y. Madrid, C. Cámara and H. Hartikainen. 2010. Agronomic biofortification of Brassica with selenium-enrichment of SeMet and its identification in *Brassica* seeds and meal. Plant and Soil, 337(1-2): 273-283.
62. Shapiro, S.S. and M.B. Wilk. 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). Biometrika, 52(3/4): 591-611.
63. Sharma, S., A. Bansal, S.K. Dhillon and K.S. Dhillon. 2010. Comparative effects of selenate and selenite on growth and biochemical composition of rapeseed (*Brassica napus* L.). Plant and Soil, 329(1-2): 339-348.
64. Shedeed, S.I., Z.F. Fawzy and A.E.M. Mahmoud. 2018. Nano and mineral selenium foliar application effect on pea plants (*Pisum sativum* L.). Bioscience Research, 15(2): 645-654.

65. Shirani-Rad, A., Z. Bitarafan, F. Rahmani, T. Taherkhani, A. Moradi-Aghdam and S. Nasr-Esfahani. 2014. Evaluation of spring rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars for different planting dates and irrigation regimes. Journal of Animal and Plant Sciences, 24(4): 1166-1172.
66. Shirani-Rad, A., N .Shahsavari, H. Jais, A. Dadrasnia, A. Askari and M. Saltughi. 2015. Fall cultivar of rapeseed (*Brassica napus*) for reduction of damage due to late season drought. Indian Journal of Agricultural Sciences, 85(1): 50-54.
67. Smoleńska, G. and P.J. Kuiper. 1977. Effect of low temperature upon lipid and fatty acid composition of roots and leaves of winter rape plants. Physiologia Plantarum, 41(1): 29-35.
68. Szabados, L. and A. Savoure. 2010. Proline: a multifunctional amino acid. Trends in Plant Science, 15(2): 89-97.
69. Uzun, B. and S. Furat. 2009. Sowing date effects on growth, flowering, oil content and seed yield of canola cultivars. Asian Journal of Chemistry, 21(3): 1957-1965.
70. Valadabadi, S.A., A.H. Shirani-Rad and H.A. Farahani. 2010. Ecophysiological influences of zeolite and selenium on water deficit stress tolerance in different rapeseed cultivars. Journal of Ecology and the Natural Environment, 2(8): 154-159.
71. Verbruggen, N. and C. Hermans. 2008. Proline accumulation in plants: a review. Amino Acids, 35(4): 753-759.
72. Xue, T., H. Hartikainen and V. Piironen. 2001. Antioxidative and growth-promoting effect of selenium on senescing lettuce. Plant and Soil, 23(7): 55-61.
73. Yadav, R. and C. Bhushan. 2001. Effect of moisture stress on growth and yield in rice genotypes. Indian Journal of Agricultural Research, 35(2): 104-107.
74. Yang, F., L. Chen, Q. Hu and G. Pan. 2003. Effect of the application of selenium on selenium content of soybean and its products. Biological Trace Element Research, 93(1-3): 249-256.
75. Yao, X., C. Jianzhou, H. Xueli, L. Binbin, L. Jingmin and Y. Zhaowei. 2013. Effects of selenium on agronomical characters of winter wheat exposed to enhanced ultraviolet-B. Ecotoxicology and Environmental Safety, 92: 320-326.
76. Ylaranta, T. 1983. Effect of applied selenite and selenate on the selenium content of barley (*Hordeum vulgare*). Annales Agriculturae Fenniae, 22: 164-174.
77. Zahedi, H., A.H. Shirani-Rad and H.R. Tohidi-Moghadam. 2018. Effect of zeolite and selenium foliar application on growth, production and some physiological attributes of three canola (*Brassica napus* L.) cultivars subjected to drought stress. Revista Científica UDO Agrícola, 12(1): 135-142.
78. Zhu, Y.G., Y. Huang, Y. Hu, Y. Liu and P. Christie. 2004. Interactions between selenium and iodine uptake by spinach (*Spinacia oleracea* L.) in solution culture. Plant and Soil Biology, 261(1-2): 99-105.
79. Zhu, Y.G., E.A. Pilon-Smits, F.J. Zhao, P.N. Williams and A. Meharg. 2009. Selenium in higher plants: understanding mechanisms for biofortification and phytoremediation. Trends in Plant Science, 14(8): 436-442.

Effect of Selenium Foliar Application on Some Quantitative and Qualitative Characteristics of Rapeseed Cultivars under End-Season Thermal Stress

Abdoreza Davoudi[1], Hossein Zeinalzadeh-Tabrizi[2] and Amirhossein Shirani-Rad[3]

1- PhD, Department of Agronomy and Plant Breeding, Islamic Azad University, Tabriz Branch, Tabriz, Iran
2- Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Iran
(Corresponding author: h.zeinalzadeh@areeo.ac.ir)
3- Professor, Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
Received: August 27, 2019 Accepted: October 15, 2019

Abstract

Selenium has a protective and positive effect on the quantitative and qualitative characteristics of the plants. In order to investigate the effect of selenium foliar application on leaf proline content and some quantitative and qualitative characteristics of rapeseed cultivars under end-season thermal stress, a factorial split plot experiment was conducted in a randomized complete block design with three replications for two years (2014-2016) in Karaj, Iran. In this experiment, the first factor was planting date on October 15 (timed planting), October 25 (relatively late planting) and November 5 (delayed planting), the second factor was selenium in two levels, including non-application and application of 30 grams per liter of sodium selenate and third factor was genotype, including a commercial cultivar, two promising lines and three foreign commercial hybrids, so that the first and second factor were factorially in the main plots and the third factor was split plot as in sub plot. The results showed that quantitative and qualitative characteristics of rapeseed in this experiment were affected by planting date. Delay in planting reduced winter survival, biological yield, seed yield, crown diameter, relative water content of leaves of rapeseed genotypes. Furthermore, the delay in planting caused a significant increase in the crown water and leaf proline content in the rosette stage, but did not have a significant effect on the harvest index of the genotypes. Selenium foliar application improved the winter survival, biological yield, seed yield, crown diameter and relative water content of leaves of rapeseed genotypes. Selenium foliar application also significantly reduced leaf proline content in the rosette stage, which was an important factor in tolerance of genotypes to delayed planting and end-season thermal stress. In terms of winter survival, seed and biological yield, the L72 line showed the best response to these traits in timed planting, but in terms of delayed planting, Opera was better than the other genotypes, although there was no significant difference with the L72 line.

Keywords: End-Season Thermal Stress, Planting Date, Proline, Rapeseed, Sodium Selenate