تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد چهارم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۴۰۱، ص ۳۶۹-۳۵۱

مقاله پژوهشی

تأثیر سلنیوم و روی بر صفات فیزیولوژیک و عملکرد ژنوتیپ‌های کلزا در تاریخ‌های کاشت مطلوب و تأخیری

امیر حسین شیرانی‌راد[۱]، علیرضا گوهریان[۲*]، حامد عینی نرگسه[۳]

۱- موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۲- سازمان فنی و حرفه‌ای، اداره کل آموزش فنی و حرفه‌ای استان البرز، ایران
۳- گروه علوم کشاورزی، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران

* مسئول مکاتبه: Arg.goharian@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۰۴ **DOI: 10.22034/CSRAR.2022.351327.1256**

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر محلول‌پاشی سلنیوم و روی بر صفات فیزیولوژیک، عملکرد دانه و محتوای روغن ژنوتیپ‌های کلزا در تاریخ‌های کاشت مختلف، آزمایشی (۱۳۹۵-۱۳۹۴) بصورت فاکتوریل-کرت خرد شده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در کرج اجرا شد. تاریخ کاشت در سه سطح شامل ۱۵ مهر، ۲۵ مهر و ۵ آبان و محلول‌پاشی در چهار سطح شامل آب خالص (شاهد)، سلنیوم (۱/۵ درصد)، روی (۱/۵ درصد) و سلنیوم+روی (۱/۵ درصد) بصورت فاکتوریل در کرت‌های اصلی و پنج ژنوتیپ کلزا شامل SW102، Ahmadi، GKH2624، GK-Gabriella و Okapi در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. بقای زمستانه، قطر طوقه، محتوای نسبی آب برگ، محتوای کلروفیل برگ با تأخیر در کاشت کاهش یافتند درصورتی‌که محتوای نسبی آب طوقه، محتوای پرولین و محتوای کربوهیدرات برگ افزایش نشان دادند. عملکرد دانه و محتوای روغن کلزا با کاشت در تاریخ ۲۵ مهر ۴۴ و ۶ درصد و در تاریخ کاشت ۵ آبان ۵۱ و ۱۴ درصد نسبت به تاریخ کاشت ۱۵ مهر کاهش یافتند. کاربرد سلنیوم+روی بیشترین تأثیر را بر کاهش محتوای نسبی آب طوقه و افزایش بقای زمستانه، قطر طوقه، محتوای نسبی آب برگ و محتوای کلروفیل داشت. عملکرد دانه و محتوای روغن کلزا در تیمار سلنیوم+روی به ترتیب ۲۳ و ۶ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافتند. یافته‌های این تحقیق پیشنهاد می‌کند که ژنوتیپ‌های GK-Gabriella (۱۵ مهر) و GKH2624 (۲۵ مهر و ۵ آبان) با استفاده از تیمار محلول‌پاشی سلنیوم+روی در دو مرحله روزت و ساقه‌دهی می‌توانند به‌دلیل بهبود در وضعیت رشدی بوته‌ها عملکرد دانه و روغن مطلوبی را تولید کنند.

واژه‌های کلیدی: تحمل به سرما، تغذیه گیاه، دانه‌های روغنی، عملکرد دانه، کشت به هنگام

مقدمه

دانه‌های روغنی نقش مهمی در تأمین امنیت غذایی جوامع بشری ایفا می‌کنند و همواره مورد توجه محققین بخش کشاورزی در داخل و خارج از کشور قرار می‌گیرند (Pashang *et al.*, 2021; Zaneti *et al.*, 2021; Mokhtassi *et al.*, 2022; Eyni-Nargeseh *et al.*, 2022). کلزا با نام علمی *Brassica napus* L. جزو محصولات مهم دانه روغنی به‌شمار می‌رود که سطح زیر کشت آن در طی سال‌های اخیر به دلیل محتوای روغن زیاد (۴۵-۴۰ درصد)، کیفیت مطلوب روغن آن (Beyzi *et al.*, 2019)، صفات زراعی مناسب مانند کارایی مصرف آب بالا و مقاومت به خشکی رو به افزایش است (Faraji *et al.*, 2009). بر اساس آخرین گزارش وزارت جهاد کشاورزی در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸، میزان سطح زیر کشت کلزا در کشور حدود ۱۸۳ هزار هکتار است که بیش از هر محصول دانه روغنی دیگر می‌باشد. میانگین عملکرد در واحد سطح و کل تولید کلزا در کشور نیز به ترتیب برابر ۱۷۷۴ کیلوگرم در هکتار و ۲۹۵ هزار تن می‌باشد.

علی‌رغم اهمیت بالای تأمین روغن با توجه به واردات بیش از ۹۰ درصدی از خارج کشور، سطح زیر کشت کلزا هم‌چنان در مقایسه با سایر محصولات راهبردی قابل توجه نیست. یکی از مشکلات مهم پیش روی کشاورزان برای توسعه سطح زیر کشت کلزا رعایت تاریخ کاشت مناسب به‌منظور کاهش ریسک سرمازدگی در ابتدای دوره رشد گیاه است. فعالیت‌های مدیریتی صحیح مانند رعایت تاریخ کاشت بهینه، انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به سرما و تغذیه مناسب می‌تواند موجب افزایش عملکرد دانه و روغن کلزا شده و در نهایت سطح زیر کشت آن افزایش

یابد (Shirani Rad *et al.*, 2021). در تعیین تاریخ کاشت مناسب رعایت این نکته ضروری است که شرایط محیطی باید در طول فصل رشد محصول در محدوده بهینه باشد و محصول مورد نظر تحت تأثیر تنش‌های سرمایی ابتدای فصل و تنش‌های گرما و خشکی در انتهای فصل رشد قرار نگیرد (Kirland and Johnson, 2000). البته این واقعیت که ژنوتیپ‌های مختلف پاسخ‌های متفاوتی را از نظر عملکرد نشان می‌دهند کاملا بدیهی و ثابت شده می‌باشد (Khayat *et al.*, 2018)؛ بنابراین ارزیابی پاسخ ژنوتیپ‌های مختلف یک گیاه در هر منطقه به تاریخ‌های کاشت مختلف و شناسایی ژنوتیپ‌های پرمحصول در هر تاریخ کاشت می‌تواند اثرات قابل توجهی بر بهبود عملکرد و توسعه سطح زیر کشت کلزا در کشور شود. به‌طور کلی زمانی‌که کلزا در تاریخ‌های دیرتر از زمان بهینه کشت می‌شود در مراحل انتهایی رشد که دماهای بالاتری را تجربه می‌کند و همین موضوع موجب افزایش مقدار تنفس در اندام‌های فتوسنتز می‌شود و در نهایت کاهش ذخیره مواد فتوسنتزی، کاهش وزن دانه و افت عملکرد دانه را به‌دنبال خواهد داشت (Coffelt and Adamsen, 2005). در همین راستا در یک تحقیق نشان داده شد که محتوای کلروفیل برگ و عملکرد دانه ژنوتیپ‌های کلزا با تأخیر در کاشت در منطقه کرج به‌طور معنی‌داری کاهش یافتند در حالی‌که غلظت کربوهیدرات‌های محلول در برگ با افزایش مواجه شدند (Nazeri *et al.*, 2019). در تحقیقی گزارش شد که تأخیر در کاشت کلزا با تأثیر بر قدرت ماندگاری بوته‌ها و رشد و اجزای عملکرد کلزا موجب کاهش عملکرد دانه نهایی می‌شود (Pasban Eslam, 2011).

تغذیه گیاهان زراعی با استفاده از عناصر ریزمغذی باعث بهبود در شرایط رشدی و عملکرد تحت تنش‌های محیطی می‌شود و در این بین، محلول‌پاشی به‌عنوان یک روش سریع و مؤثر مورد توجه کشاورزان و محققین قرار دارد (Movahhedy-Dehnavy *et al.*, 2009; Ibrahim and Ramadan, 2015). عنصر روی به عنوان یک ریزمغذی نقشی اساسی در مسیرهای مهم بیوشیمیایی مانند متابولیسم کربوهیدرات (به‌عنوان مثال فتوسنتز و تبدیل قندها به نشاسته)، متابولیسم اکسین، تشکیل گرده، حفظ یکپارچگی غشای سلولی و مقاومت در برابر عوامل بیماری‌زا ایفا می‌کند (Alloway, 2008). روی می‌تواند از طریق افزایش در بیوسنتز اکسین، محتوای کلروفیل، جذب نیتروژن و فسفر و کاهش در غلظت سدیم موجود در بافت‌های گیاهی منجر به افزایش عملکرد محصول شود (Moinuddin and Imas, 2008). علاوه بر این عنصر، سلنیوم نیز به عنوان یک ترکیب ریزمغذی اگرچه به‌طور مستقیم در متابولیسم گیاهان و تکمیل چرخه زندگی آن‌ها تأثیر ندارد، اما در شرایط تنش‌های محیطی و زیستی باعث بهبود رشد رویشی و زایشی گیاه می‌شود (Hajiboland, 2012). هم‌چنین در کنار اثرات مثبت در افزایش تحمل گیاه به تنش‌های محیطی، کاربرد آن موجب ورود این عنصر به زنجیره غذایی دام و انسان و بهبود کیفیت محصول می‌شود (Zhu *et al.*, 2009). در همین زمینه گزارش شد که شاخص سبزینگی، پایداری غشای سلول و عملکرد دانه در گندم تحت شرایط کاربرد عنصر روی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (Kamaei *et al.*, 2018b). در تحقیقی دیگر تأثیر محلول‌پاشی سلنیوم بر خصوصیات فیزیولوژیک و عملکرد دانه ژنوتیپ‌های کلزا بررسی و گزارش شد که میزان کلروفیل و عملکرد دانه به‌طور میانگین تا ۸ درصد در مقایسه با عدم کاربرد سلنیوم افزایش یافت (Hemmati *et al.*, 2019).

با توجه به اهمیت کشت دانه‌های روغنی و از جمله کلزا، لازم است با بکارگیری راهکارهای مدیریتی مناسب سطح زیر کشت و تولید با کیفیت کلزا را افزایش داد. بر همین اساس، تحقیق حاضر با هدف بررسی پاسخ فیزیولوژیک و عملکرد دانه ژنوتیپ‌های کلزا به محلول‌پاشی سلنیوم و روی در تاریخ‌های کاشت مختلف انجام شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به‌صورت یک آزمایش در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج اجرا گردید. محل اجرای تحقیق (شهرستان کرج) در ارتفاع ۱۳۲۱ متری از سطح دریا و مختصات جغرافیایی °۳۵ و ´۵۹ عرض شمالی و °۵۰ و ´۷۵ طول شرقی قرار دارد و با توجه به آمار بلند مدت (۳۰ سال)، میانگین بارندگی سالانه آن معادل ۲۴۳ میلی‌متر می‌باشد که عمدتاً در اواخر پاییز و اوایل بهار این بارش‌ها رخ می‌دهند. اطلاعات آب و هوایی محل اجرای تحقیق در دوره رشد کلزا در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- بارش و میانگین دمای هوای ماهانه در دوره رشد کلزا (۱۳۹۵-۱۳۹۴) در کرج

Table 1- Monthly rainfall and mean temperature during the rapeseed growing period (2015-2016) in Karaj

ماه Month	میانگین دما Mean temperature (°C)	بارش Rainfall (mm)
مهر-آبان October	14.42	5.01
آبان-آذر November	7.99	31.41
آذر-دی December	6.03	22.8
دی-بهمن January	5.22	2.9
بهمن-اسفند February	6.50	24.72
اسفند-فروردین March	9.42	30.14
فروردین-اردیبهشت April	16.15	14.2
اردیبهشت-خرداد May	21.64	9.34
خرداد-تیر June	27.77	0.21

این تحقیق به‌صورت فاکتوریل-کرت خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار به انجام رسید. عامل اول تاریخ کاشت در سه سطح شامل ۱۵ مهر (رایج منطقه)، ۲۵ مهر (نسبتاً تأخیری) و ۵ آبان (تأخیری)، عامل دوم چهار سطح محلول‌پاشی شامل تیمار شاهد (عدم کاربرد یا محلول‌پاشی با آب خالص)، روی با غلظت ۱/۵ درصد، سلنیوم با غلظت ۱/۵ درصد و سلنیوم+روی با غلظت ۱/۵ درصد و عامل سوم نیز ۵ ژنوتیپ کلزا شامل SW102 (لاین)، Ahmadi (رقم)، GKH2624 (رقم)، GK-Gabriella (رقم) و Okapi (رقم) بود. در این مطالعه عوامل تاریخ کشت و محلول‌پاشی به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های اصلی و عامل ژنوتیپ در کرت‌های فرعی به‌صورت تصادفی قرار گرفتند. از سلنات سدیم و کلات روی در دو مرحله قبل از روزت (۴ برگی) و ساقه‌دهی برای محلول‌پاشی سلنیوم و روی استفاده شد و برای افزایش مدت ماندگاری این عناصر بعد از محلول‌پاشی روی بوته‌ها از ماده‌ای چسبنده با نام توین-۲۰ با نسبت ۰/۵ درصد حجمی استفاده شد.

در این پژوهش شش خط ۶ متری با فاصله بین ردیف ۳۰ سانتی‌متر و روی ردیف ۵ سانتی‌متر برای هر کرت آزمایشی در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که در هر کرت آزمایشی دو خط کناری به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته شد و فواصل ۷ و ۲/۴ متری بین بلوک‌ها و کرت‌های اصلی رعایت شد. نمونه‌های خاک از دو عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متر به‌صورت تصادفی برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک گرفته شد و بر اساس نتایج تجزیه خاک (جدول ۲) و توصیه کودی، عملیات کوددهی انجام شد. بر همین اساس، به ترتیب ۵۰ و ۷۰ و ۱۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن (از منبع اوره)، فسفر (از منبع فسفات آمونیوم) و پتاسیم (از منبع سولفات پتاسیم) قبل از کاشت، ۴۶ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص در مرحله ساقه‌دهی استفاده شد. مبارزه با علف‌های هرز با استفاده از ۲/۵ لیتر تریفلورالین پیش از کاشت و وجین دستی در سراسر دوره رشد گیاه صورت پذیرفت. در نهایت بذرهای کلزا در تاریخ‌های کشت مذکور به‌صورت دستی در مزرعه کاشته شد. آبیاری مزرعه در طول دوره رشد کلزا بر اساس ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A انجام شد.

درصد بقای بوته‌ها در مزرعه پس از زمستان، به عنوان معیاری جهت ارزیابی تحمل ژنوتیپ‌های کلزا نسبت به شرایط سخت زمستان مورد استفاده قرار گرفت. به این منظور، ابتدا یک قاب چهارگوش به ابعاد یک مترمربع در هرکرت بصورت تصادفی در نظر گرفته شد. تعداد بوته‌های سالم داخل هر قاب 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 تیمار از نسبت تعداد بوته‌های زنده پس از زمستان به تعداد بوته‌های قبل از زمستان محاسبه شد. برای بدست آوردن قطر طوقه در مرحله روزت از کولیس استفاده گردید؛ به این ترتیب که قطر سومین گره در ۱۰ بوته اندازه‌گیری و از میانگین آن ۱۰ بوته قطر طوقه (بر حسب میلی‌متر) محاسبه شد. محتوای نسبی آب برگ و طوقه در مرحله روزت با استفاده از رابطه ۱ بدست آمد (Ferrat and Loval, 1999).

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه های خاک مزرعه مورد مطالعه

Table 2- Physico-chemical characteristics of soil samples from study field

عمق Depth (cm)	شوری EC ($ds\ m^{-1}$)	اسیدیته pH	کربن آلی OC (%)	نیتروژن کل Total N (%)	فسفر قابل جذب Available P ($mg\ kg^{-1}$)	پتاسیم قابل جذب Available K ($mg\ kg^{-1}$)	بافت خاک Soil texture
0-30	1.51	8.0	0.89	0.09	14.5	200	**لومی رسی** Clay loam
30-60	1.25	7.1	0.98	0.07	16.1	152	**لومی رسی** Clay loam

به منظور اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ از هرکرت آزمایشی، جوان‌ترین برگ‌های بالغ (سومین برگ از راس بوته‌ها) انتخاب و پس از جداکردن از ساقه، برگ‌ها داخل فویل آلومینیومی پیچیده شده و بلافاصله داخل فلاسک یخ به آزمایشگاه منتقل شدند. سپس نمونه‌های برگ تهیه شده به مدت ۲۴ ساعت در دمای آزمایشگاه و محیط کم نور داخل ظرف پتری دیش حاوی آب مقطر قرار گرفتند. سپس آب سطحی روی برش‌های برگ با کاغذ صافی خشک و با ترازوی حساس، وزن آماس آن‌ها تعیین گردید. دیسک‌های برگی به مدت ۲۴ ساعت در آون الکتریکی در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری و سپس وزن خشک آن‌ها با ترازوی حساس تعیین گردید. به منظور اندازه‌گیری محتوی نسبی آب طوقه نمونه‌های تصادفی طوقه که بوسیله تیغ جراحی جدا شده بودند داخل فویل آلومینیومی پیچیده شده و بلافاصله داخل فلاسک یخ به آزمایشگاه منتقل شدند و وزن تر آن‌ها یادداشت گردید. سپس این طوقه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای آزمایشگاه و محیط کم نور داخل ظرف پتری دیش حاوی آب مقطر قرار گرفتند. سپس آب سطحی روی برش‌های طوقه با کاغذ صافی خشک و با ترازوی حساس، وزن آماس آن‌ها تعیین گردید. سپس به داخل آون الکتریکی با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند و بعد از ۴۸ ساعت، وزن خشک آن‌ها با ترازوی حساس تعیین گردید. در نهایت محتوای آب نسبی برگ و طوقه، از رابطه زیر محاسبه شد.

$$RWC\ (\%) = [(FW-DW)/\ (TW-DW)] \times 100 \qquad (۱)$$

در این رابطه FW: وزن تر، DW: وزن خشک و TW: وزن آماس می‌باشد.

مقدار کلروفیل بر اساس روش آرنون (Arnon, 1949)، مقدار پرولین بر اساس روش بیتس و همکاران (Bates *et al.*, 1973) و کربوهیدرات‌های محلول برگ با استفاده از روش شلیگل (Sheligl, 1956) در مرحله روزت تعیین شدند.

در پایان با رعایت اثر حاشیه و برداشت یک سطح ۳/۶ متر مربع از هر کرت، عملکرد دانه با استفاده از ترازوی دیجیتال دقیق تعیین شد. شایان ذکر است با توجه به تفاوت در دوره رسیدگی هر ژنوتیپ و هم‌چنین تاریخ‌های متفاوت کاشت، مرحله برداشت آن‌ها نیز بر اساس تغییر رنگ خورجین‌ها (رطوبت ۱۴ درصد بذرها) صورت گرفت. هم‌چنین با استفاده از ۵۰ گرم از دانه‌های هر کرت آزمایشی، محتوای روغن بذرها توسط دستگاه NMR مدل mq20 تعیین شد.

در نهایت داده‌های حاصل از تحقیق پس از اطمینان از مفروضات آزمایشی و با استفاده از نرم‌افزار SAS تجزیه و تحلیل شدند. میانگین‌های تیمارها نیز با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند. همبستگی بین صفات با رویه PROC CORR در SAS انجام شد.

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی کلزا تحت تأثیر تاریخ کاشت، محلول‌پاشی و ژنوتیپ در سال ۱۳۹۵-۱۳۹۴

Table 3- Analysis of variance of studied traits of rapeseed as affected by sowing date, foliar application, and genotype in 2015-2016

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	بقا زمستانه Winter survival	قطر طوقه Collar diameter	محتوای نسبی آب طوقه Collar water content	محتوای نسبی آب Relative water content	محتوای پرولین Proline content	محتوای کربوهیدرات Carbohydrate content	محتوای کلروفیل Chlorophyll content	عملکرد دانه Seed yield	محتوای روغن Oil content
تکرار Replication (R)	2	28.65^{ns}	5.49**	0.93^{ns}	9.17^{ns}	7.58**	55.8**	0.003**	1761902**	0.80**
تاریخ کاشت Sowing date (S)	2	9941.2**	903**	1436.48**	2554.1**	946.5**	7393.6**	13.66**	131384913**	542.6**
محلول پاشی Foliar application (F)	3	1289.7**	18.34**	491.4**	387.9**	30.4**	193.4**	0.19**	4561428**	60.60**
تاریخ کاشت×محلول پاشی S×F	6	35.63**	0.59^{ns}	25.34**	19.25**	2.89**	19.93**	0.009**	74621^{ns}	6.78**
تکرار (تاریخ کاشت×محلول پاشی) R(S×F)	22	6.07	0.32	5.91	1.95	0.14	4.75	0.0004	154266	0.02
ژنوتیپ Genotype (G)	4	132.5**	20.25**	27.41*	9.4^{ns}	57.6**	208.6**	0.22**	2559425**	4.53**
تاریخ کاشت×ژنوتیپ S×G	8	83.5**	6.75**	6.32^{ns}	5.3^{ns}	12.3**	51.0**	0.06**	718567**	0.94**
محلول پاشی×ژنوتیپ F×G	12	18.1^{ns}	0.16^{ns}	4.36^{ns}	3.03^{ns}	0.06^{ns}	0.33^{ns}	0.0003^{ns}	87289^{ns}	0.04^{ns}
تاریخ کاشت×محلول پاشی×ژنوتیپ S×F×G	24	2.03^{ns}	0.05^{ns}	3.19^{ns}	1.6^{ns}	0.05^{ns}	0.49^{ns}	0.001**	20006^{ns}	0.03^{ns}
ضریب تغییرات CV (%)	-	4.30	9.16	4.09	2.39	2.99	2.98	1.57	10.30	0.82

ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشد.

ns, * and ** are not significant, significant at the 5% probability level and significant at the 1% probability level, respectively.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس داده‌های آزمایش حاکی از معنی‌داری اثر اصلی محلول‌پاشی بر صفات قطر طوقه و عملکرد دانه و اثر اصلی ژنوتیپ بر محتوای نسبی آب طوقه کلزا بود. علاوه بر این، اثر متقابل تاریخ کاشت × محلول‌پاشی بر صفات بقای زمستانه، محتوای نسبی آب برگ، محتوای نسبی آب طوقه، پرولین، کربوهیدرات، کلروفیل و محتوای روغن معنی‌دار بود. هم‌چنین اثر متقابل تاریخ کاشت × ژنوتیپ بر بقای زمستانه، قطر طوقه، پرولین، کربوهیدرات، کلروفیل، عملکرد دانه و محتوای روغن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. برهمکنش سه‌گانه تاریخ کاشت × محلول‌پاشی × ژنوتیپ فقط بر محتوای کلروفیل معنی‌دار بود (جدول ۳).

بقای زمستانه

نتایج این تحقیق نشان داد بقای زمستانه کلزا با تأخیر در کاشت به‌طور معنی‌داری کاهش یافت اما با محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی (سلنیوم و روی) درصد زنده ماندن بوته‌ها افزایش یافت. مقایسه میانگین برهمکنش تاریخ کاشت×محلول‌پاشی حاکی از کاهش ۱۷ و ۳۰ درصدی (میانگین تیمارهای محلول‌پاشی) بقای زمستانه کلزا در تاریخ‌های کاشت ۲۵ مهر و ۵ آبان در مقایسه با تاریخ کاشت ۱۵ مهر بود. در بین تیمارهای محلول‌پاشی نیز بیشترین تأثیر مثبت در تیمار سلنیوم+روی مشاهده شد که به‌ترتیب باعث افزایش ۱۷، ۲۳ و ۱۹ درصدی بقای زمستانه کلزا در تاریخ‌های کاشت ۱۵ مهر، ۲۵ و ۵ آبان در مقایسه با عدم محلول‌پاشی (شاهد) شد (جدول ۴).

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت × محلول‌پاشی برای صفات اندازه گیری شده کلزا

Table 4- Mean comparison of interaction of sowing date × foliar application for measured traits of rapeseed

تاریخ کاشت Sowing date	محلول پاشی Foliar application	بقا زمستانه Winter survival (%)	محتوای نسبی آب برگ Relative water content (%)	محتوای نسبی آب طوقه Collar water content (%)	محتوای پرولین Proline content (µM/g FW)	محتوای کربوهیدرات Carbohydrate content (mg/g FW)	محتوای روغن Oil content (%)
۱۵ مهر 7-Oct	شاهد Control	79.22d	86.19d	66.88a	9.29b	24.00b	41.22d
	سلنیوم Selenium	84.32c	88.04c	64.09b	8.70d	21.93d	41.73c
	روی Zn	87.23b	89.86b	61.77c	9.69a	25.04a	42.52b
	سلنیوم+روی Selenium+Zn	92.85a	91.78a	59.19d	9.07c	22.89c	43.05a
۲۵ مهر 17-Oct	شاهد Control	63.63c	81.18d	71.90a	17.04b	45.09b	38.75d
	سلنیوم Selenium	71.36b	83.09c	69.31b	15.64d	42.26c	39.28c
	روی Zn	70.07b	84.63b	68.86b	17.77a	47.05a	39.97b
	سلنیوم+روی Selenium+Zn	78.58a	86.62a	66.38c	16.31c	44.10b	40.52a
۵ آبان 27—Oct	شاهد Control	55.04d	71.68d	77.59a	15.02b	38.72c	34.26d
	سلنیوم Selenium	61.74b	73.36c	75.18b	13.79c	36.29d	34.73c
	روی Zn	58.62c	78.59b	69.99c	16.67a	43.62a	37.53b
	سلنیوم+روی Selenium+Zn	65.75a	80.43a	67.86d	15.30b	40.88b	38.04a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر تیمار از نظر آماری در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means followed by similar letters for each treatment in columns are not significantly different at 5% probability level.

مقایسه میانگین حاصل از برهمکنش دوگانه تاریخ کاشت×ژنوتیپ نیز نشان داد که بقای زمستانه تمامی ژنوتیپ‌های مورد بررسی به‌طور معنی‌داری با تأخیر در کاشت کاهش می‌یابد و در این بین بیشترین بقای زمستانه در تاریخ‌های کاشت ۱۵ مهر، ۲۵ مهر و ۵ آبان به ترتیب متعلق به ژنوتیپ‌های GK-Gabriella و Okapi، GKH2624 و GK-Gabriella، و GKH2624 و GK-Gabriella بود (جدول ۵).

کاشت در تاریخ بهینه برای ژنوتیپ‌های زمستانه و رسیدن به یک روزت ۶ تا ۸ برگی بقای گیاه را در فصل زمستان تا حدی تأمین می‌کند (Toryama and Hinata, 1984). بدیهی است زمانی‌که گیاه در تاریخ‌های دیرتر از شرایط مطلوب کاشته می‌شود بوته‌ها به سبب عدم ذخیره مواد غذایی کافی کوچک مانده و موجب افزایش ریسک سرمازدگی در فصل زمستان و کاهش میزان بقای آن‌ها می‌شود (Javidfar *et al.*, 2011). تغذیه بوته‌ها در این شرایط می‌تواند موجب افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های محیطی مانند سرما شود (Keshavarz *et al.*, 2011; Eskandari Zanjani *et al.*, 2021). در تحقیقی پاسخ‌های فیزیولوژیک ژنوتیپ‌های کلزا به کاربرد هیومیک اسید بررسی و گزارش شد که بقای زمستانه ژنوتیپ‌های در تاریخ کاشت ۱۵ مهر برابر ۸۴ درصد بود و تأخیر در کاشت موجب کاهش ۱۵ و ۲۶ درصدی آن در تاریخ‌های ۲۵ مهر و ۵ آبان گردید (Barkati *et al.*, 2020).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت × ژنوتیپ برای صفات اندازه گیری شده کلزا

Table 5- Mean comparison of interaction of sowing date × genotype for measured traits of rapeseed

تاریخ کاشت Sowing date	ژنوتیپ Genotype	بقا زمستانه Winter survival (%)	قطر طوقه Collar diameter (mm)	محتوای پرولین Proline content (µM/g FW)	محتوای کربوهیدرات Carbohydrate content (mg/g FW)	عملکرد دانه Seed yield (kg ha^{-1})	محتوای روغن Oil content (%)
۱۵ مهر 7-Oct	Ahmadi	85.35b	12.94b	9.35b	23.88b	5272b	41.95b
	SW102	83.56b	12.60b	9.53b	24.60b	5194bc	41.86bc
	Okapi	89.70a	14.37a	8.62c	21.72c	5623a	42.51a
	GKH2624	80.50c	11.84c	9.97a	26.12a	4964c	41.67c
	GK-Gabriella	90.41a	14.75a	8.47c	21.01c	5705a	42.66a
۲۵ مهر 17-Oct	Ahmadi	68.73c	6.17b	18.40b	47.69b	2654b	39.26c
	SW102	69.18c	5.92b	19.01a	48.93a	2559b	39.08c
	Okapi	70.47c	7.32a	15.78c	42.95c	3163a	39.82b
	GKH2624	73.17a	7.81a	14.92e	41.12d	3381a	40.06a
	GK-Gabriella	73.00ab	7.54a	15.34d	42.42c	3231a	39.95ab
۵ آبان 27—Oct	Ahmadi	58.42c	5.56b	16.75b	42.61b	2320b	35.80c
	SW102	58.52c	5.33b	17.31a	43.72a	2238b	35.64c
	Okapi	59.90bc	6.59a	14.37c	38.38c	2766a	36.31b
	GKH2624	62.22a	7.03a	13.59e	36.75d	2956a	36.53a
	GK-Gabriella	62.07ab	6.79a	13.96d	37.91c	2825a	36.43ab

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر تیمار از نظر آماری در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means followed by similar letters for each treatment in columns are not significantly different at 5% probability level.

قطر طوقه

همان‌گونه که در جدول ۶ مشاهده می‌شود کمترین مقدار قطر طوقه در تیمارهای محلول‌پاشی متعلق به شاهد (عدم محلول‌پاشی) بود (۸/۱۲ میلی‌متر) و بیشترین مقدار در تیمار محلول‌پاشی سلنیوم+روی (۹/۵۸ میلی‌متر) به ثبت رسید و ۱۸ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود. قطر طوقه ژنوتیپ‌های مورد تحقیق با تأخیر در کاشت کاهش معنی‌داری نشان داد و بیشترین میزان این صفت در تاریخ‌های ۱۵ مهر، ۲۵ مهر و ۵ آبان به‌ترتیب در ژنوتیپ‌های GK-Gabriella (۱۴/۷۵ میلی‌متر)، GKH2624 (۷/۸۱ میلی‌متر) و GKH2624 (۷/۰۳ میلی‌متر) مشاهده شد (جدول ۵).

جدول ۶- مقایسه میانگین اثرات اصلی تاریخ کاشت و محلول‌پاشی برای قطر طوقه و عملکرد دانه کلزا

Table 6- Mean comparison of main effects of sowing date and foliar application for collar diameter and seed yield of rapeseed

تیمار Treatment	قطر طوقه Collar diameter (mm)	عملکرد دانه Seed yield (kg ha^{-1})
تاریخ کاشت **Sowing date**		
۱۵ مهر **7-Oct**	13.30a	5353a
۲۵ مهر **17-Oct**	6.95b	2998b
۵ آبان **27—Oct**	6.26c	2621c
محلول پاشی **Foliar application**		
شاهد **Control**	8.12d	3289d
سلنیوم **Selenium**	9.10b	3741b
روی **Zn**	8.55c	3552c
سلنیوم+روی **Selenium+Zn**	9.58a	4041a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر تیمار از نظر آماری در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

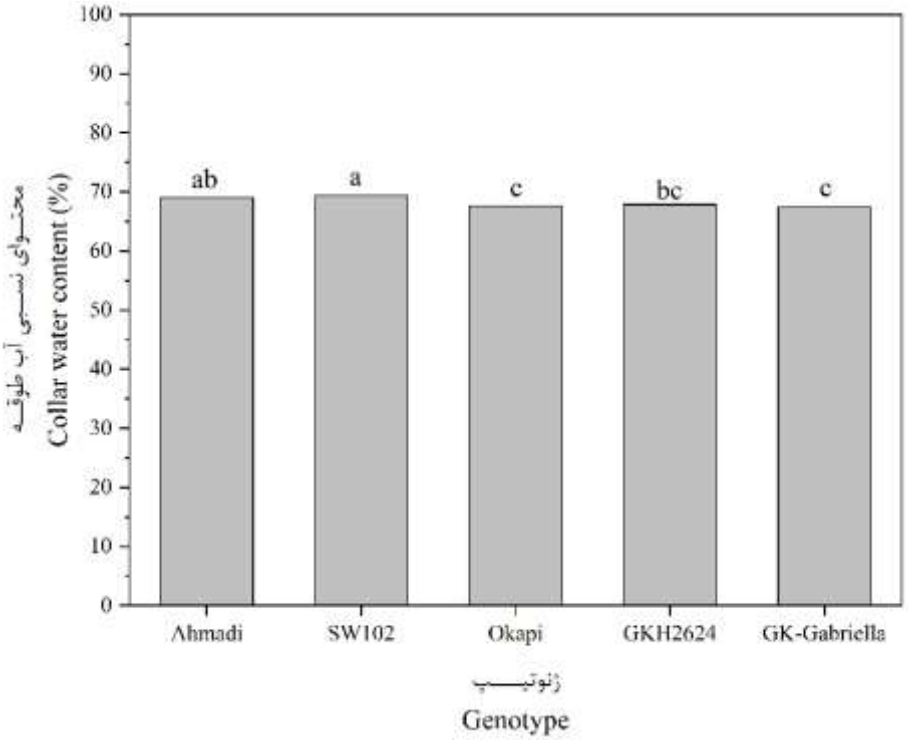
Means followed by similar letters for each treatment in columns are not significantly different at 5% probability level.

همان‌گونه که ذکر شد تأخیر در کاشت بوته‌های کلزا باعث کاهش قطر طوقه در آن‌ها شد. تنش سرما درصورتی‌که در محدوده فراتر از تحمل کلزا باشد باعث یخزدگی اندام‌های مختلف مانند طوقه و ریشه می‌شود و در نهایت به مرگ گیاه می‌انجامد (Larcher and Neuner, 1989) اما کاهش تدریجی و آهسته دما در ابتدای فصل رشد با القای مقاوت به گیاه، تحمل به سرما را افزایش می‌دهد (Gusta and Flower, 1997). قطر طوقه یکی از صفات مهم در کلزا است که در تحمل به سرمای آن نقش اساسی دارد و رابطه مستقیمی با زنده ماندن بوته‌ها پس از رفع سرما و عملکرد دانه نهایی دارد (Pasban Eslam, 2011) و در صورتی‌که بوته‌ها قبل از مرحله روزت و فرا رسیدن سرما به قطر طوقه حدود ۸ میلی‌متر و تعداد برگ ۶ تا ۸ عدد رسیده باشند مقاومت خوبی در برابر سرما خواهند داشت (Alyari *et al.*, 2000). به‌همین دلیل لازم است گیاه تا قبل از رسیدن به مرحله سرمای ابتدای فصل در هر منطقه فرصت کافی برای رشد مطلوب را در اختیار داشته باشد تا قطر طوقه و تعداد بوته‌های آن به اندازه مطلوب برسد. در همین راستا در تحقیقی کاهش معنی‌دار قطر طوقه ژنوتیپ‌های کلزا در منطقه کرج در نتیجه کاشت در تاریخ‌های ۲۵ مهر و ۵ آبان در مقایسه با ۱۵ مهر گزارش شد (Barkati *et al.*, 2020). کاربرد عناصر ریزمغذی با بهبود شرایط رشدی بوته‌های کلزا قبل از روزت موجب افزایش قطر طوقه در بوته‌ها شد. در تحقیقی تأثیر کاربرد سلنات سدیم بر ژنوتیپ‌های مختلف کلزا در سه تاریخ کاشت ۱۵ مهر، ۲۵ مهر و ۵ آبان مورد بررسی قرار گرفت و گزارش شد که قطر طوقه بوته‌های کلزا در نتیجه کاربرد سلنات سدیم از ۹/۷۹ میلی‌متر به ۱۰/۶۶ میلی‌متر رسید که نشان‌دهنده تأثیر مثبت این تیمار بود (Davoudi *et al.*, 2020).

محتوای نسبی آب طوقه

نتایج مقایسه میانگین نشان داد محتوای نسبی آب طوقه در تاریخ کاشت ۱۵ مهر کمتر از دو تاریخ کاشت دیگر بود به‌طوری‌که مقدار آن در ۱۵ مهر برابر ۶۲/۹۸ درصد بود در حالی‌که در تاریخ‌های کاشت ۲۵ مهر و ۵ آبان افزایش‌های ۱۰ و ۱۵ درصدی در میزان محتوای نسبی آب طوقه به ثبت رسید (جدول ۴). محلول‌پاشی عناصر سلنیوم و روی کاهش محتوای نسبی آب را در پی داشت و در این بین، بیشترین کاهش در

تاریخ‌های کاشت ۱۵ مهر، ۲۵ مهر و ۵ آبان با میانگین‌های ۱۲، ۸ و ۱۳ درصد متعلق به تیمار سلنیوم+روی بود (جدول ۴). بیشترین و کمترین محتوای نسبی آب طوقه در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی متعلق به SW102 (۶۹/۳۵ درصد) و GK-Gabriella (۶۷/۴ درصد) بود (شکل ۱).



شکل ۱- مقایسه میانگین اثرات اصلی ژنوتیپ برای محتوای نسبی آب طوقه کلزا

Figure 1- Mean comparison of main effects of genotype for collar water content of rapeseed

بدیهی است زمانی‌که بوته‌های کلزا دیرتر از زمان بهینه کاشته می‌شوند، گیاهان هنوز در مراحل ابتدایی رشد و نمو خود قرار دارند و طوقه به اندازه کافی توسعه نیافته است و حالت ترد و آبدار دارد. افزایش محتوای نسبی آب طوقه در تاریخ‌های ۵ آبان و ۲۵ مهر نسبت به ۱۵ مهر مؤید همین موضوع است. زمانی‌که گیاه در طی دوره عادت‌دهی به سرما قرار می‌گیرد میزان آب موجود در بافت‌ها کاهش یافته و با افزایش غلظت شیره سلولی، تحمل به سرما و یخزدگی افزایش می‌یابد (Prášil *et al.*, 2001). در تحقیقی نشان داده شد که تأخیر در کاشت به‌طور معنی‌داری باعث افزایش در میزان آب طوقه در مرحله روزت کلزا می‌گردد (Davoudi *et al.*, 2020). کاهش میزان محتوای آب طوقه کلزا در تیمارهای محلول‌پاشی نیز می‌تواند به افزایش غلظت شیره سلولی به‌منظور افزایش مقاومت به سرما نسبت داده شود.

محتوای نسبی آب برگ

برش‌دهی اثرات متقابل تاریخ کاشت×محلول‌پاشی نشان داد میزان محتوای نسبی آب برگ کلزا در تاریخ‌های کاشت تأخیری نسبت به تاریخ کشت بهینه روند کاهشی داشت به‌طوری‌که بیشترین میزان این صفت در ۱۵ مهر با میانگین ۸۸/۹۶ درصد (میانگین تیمارهای محلول‌پاشی) مشاهده شد در حالی‌که مقدار آن در تاریخ‌های کاشت ۲۵ مهر و ۵ آبان به‌ترتیب ۸۳/۸۸ و ۷۶/۰۵ درصد بود (جدول ۴). در هر تاریخ کاشت با کاربرد عناصر ریز مغذی میزان محتوای نسبی آب برگ بهبود یافت. بیشترین درصد افزایش نیز متعلق به تیمار محلول‌پاشی سلنیوم+روی با افزایش‌های ۶، ۷ و ۱۲ درصدی در تاریخ‌های کاشت ۱۵ مهر، ۲۵ مهر و ۵ آبان نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد عناصر ریزمغذی) بود.

محتوای نسبی آب برگ به‌عنوان یک عامل برای تعیین سطح آب گیاه شناخته می‌شود و به‌نوعی فعالیت‌های متابولیکی

در بافت‌های گیاه را منعکس می‌کند و کاهش در مقدار آن موجب کاهش آب مورد نیاز برای انجام فرآیندهای رشد و نمو گیاه مانند طویل شدن سلول، باز و بسته شدن روزنه‌ها و فتوسنتز می‌شود (Farkhondeh *et al.*, 2012). اما در این تحقیق با تأخیر در کاشت محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت که می‌توان علت آن را عدم فرصت کافی برای رشد و نمو مناسب قبل از مرحله روزت دانست که همین محتوای نسبی آب کمتر در نهایت تأثیر منفی بر عملکرد نهایی بوته‌های کاشته شده در تاریخ‌های کاشت تأخیری داشت. در یک مطالعه تأثیر تاریخ کاشت و تراکم بوته بر عملکرد و اجزای عملکرد خردل سیاه در شرایط آب و هوایی ابرکوه مورد بررسی قرار گرفت و گزارش شد که محتوای نسبی آب برگ در تاریخ ۳۰ بهمن ۶/۱ درصد کمتر از تاریخ ۱۰ بهمن به‌دست آمد (Asgarnejad *et al.*, 2015). کاربرد عناصر ریزمغذی می‌تواند با بهبود در روابط آبی گیاه (Thalooth *et al.*, 1990; Raza *et al.*, 2013)، حفظ تعادل یونی و ساختار غشایی سلول و کاهش نشت یونی (Karamollachaab and Gharineh, 2013) موجب افزایش محتوای نسبی آب برگ گردد. در همین زمینه در یک مطالعه با بررسی اثر محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی (پتاسیم، روی و بور) بر ارقام گندم در تاریخ‌های کاشت مطلوب و تأخیری در شرایط آب و هوایی رامهرمز بیان شد که محتوای نسبی آب برگ در هر دو تاریخ کاشت با محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (Kamaei *et al.*, 2018a).

پرولین

محتوای پرولین تحت تأثیر برهمکنش دوگانه تاریخ کاشت×محلول‌پاشی و تاریخ کاشت×ژنوتیپ قرار گرفت و نتایج مقایسه میانگین نشان‌دهنده افزایش معنی‌دار مقدار آن در تاریخ‌های کاشت تأخیری در مقایسه با تاریخ کاشت مطلوب بود، اما تیمارهای محلول‌پاشی اثرات متفاوتی را بر میزان پرولین در سه تاریخ کاشت مورد بررسی داشتند. کاشت کلزا در تاریخ‌های ۲۵ مهر و ۵ آبان موجب افزایش ۸۲ و ۶۳ درصدی (میانگین تیمارهای محلول‌پاشی) محتوای پرولین در مقایسه با تاریخ کاشت ۱۵ مهر شد (جدول ۴). همان‌گونه که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، به‌طورکلی کاربرد سلنیوم و سلنیوم+روی باعث کاهش میزان پرولین برگ نسبت به تیمار شاهد شد اما محلول‌پاشی عنصر روی باعث افزایش جزئی در میزان پرولین در هر سه تاریخ کاشت شد. در تاریخ کاشت ۱۵ مهر ژنوتیپ GKH2624 بیشترین میزان پرولین (۹/۹۷ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) را داشت در حالی‌که در تاریخ‌های کاشت ۲۵ مهر و ۵ آبان این ژنوتیپ کمترین میزان پرولین (۱۴/۹۲ و ۱۳/۵۹ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) را در بین ژنوتیپ‌ها به خود اختصاص داد (جدول ۵).

پرولین یکی از اسیدهای آمینه مهم است که وجود آن موجب افزایش سازگاری گیاهان بخصوص در شرایط تنش می‌شود و برای متابولیسم پایه گیاه نیز ضروری است (Szabados and Savoure, 2010). البته لازم به ذکر است مقدار زیاد یا کم پرولین در ژنوتیپ‌های مختلف یک گیاه نمی‌تواند معیار مناسبی برای مقاومت و برتری بین ژنوتیپ‌ها باشد (Ebrahimiyan *et al.*, 2012). افزایش محتوای پرولین در پاسخ به تأخیر در کاشت ژنوتیپ‌های کلزا نیز نشانگر بروز تنش (سرمای ابتدای فصل) در مزرعه بوده است. در همین زمینه در تحقیقی نشان داده شد که میزان پرولین بوته‌های کلزا در مرحله روزت با تأخیر در کاشت به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (Davoudi *et al.*, 2020). پاسخ گیاهان به تنش‌های محیطی متفاوت است و توانایی هر گیاهی برای سازگاری با شرایط تنش به نوع، شدت و مدت آن و هم‌چنین گونه گیاهی و مرحله وقوع تنش بستگی دارد. در تحقیق حاضر مشاهده شد که با کاربرد سلنیوم و سلنیوم+روی محتوای پرولین برگ کلزا نسبت به شاهد (عدم کاربرد) کاهش یافت اما با کاربرد عنصر روی مقدار آن افزایش نشان داد. عنصر روی به دلیل ایفای نقش در فعال‌سازی آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین و تبدیل آن‌ها به پرولین می‌تواند باعث افزایش محتوای پرولین برگ شود (Karamollachaab and Gharineh, 2013). افزایش میزان پرولین برگ در گندم تحت شرایط کاربرد روی در دو تاریخ کاشت بهینه و تأخیری توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است (Kamaei *et al.*, 2018a). کاهش محتوای پرولین برگ در ژنوتیپ‌های کلزا در نتیجه کاربرد سلنیوم نیز گزارش شده است (Davoudi *et al.*, 2020).

کربوهیدرات

مقایسه میانگین اثرات متقابل تاریخ کاشت×محلول‌پاشی و تاریخ کاشت×ژنوتیپ بیانگر افزایش محتوای کربوهیدرات برگ در

ژنوتیپ‌های کلزا در نتیجه تأخیر در کاشت و کاهش نسبی آن در تیمارهای محلول‌پاشی نسبت به تیمار شاهد بود. جدول ۴ نشان می‌دهد محتوای کربوهیدرات (میانگین تیمارهای محلول‌پاشی) در تاریخ کاشت ۱۵ مهر برابر ۲۳/۴۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ بود و با کاشت در تاریخ‌های ۲۵ مهر و ۵ آبان به‌ترتیب ۹۰ و ۷۰ درصد افزایش نشان داد. علاوه بر این، محلول‌پاشی سلنیوم و سلنیوم+روی باعث کاهش مقدار کربوهیدرات برگ کلزا در هر سه تاریخ کاشت شد اما کاربرد روی مقدار آن را افزایش داد (جدول ۴). در تاریخ کاشت ۱۵ مهر ژنوتیپ GKH2624 بیشترین میزان کربوهیدرات (۲۶/۱۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) را داشت در حالی‌که در تاریخ‌های کاشت ۲۵ مهر و ۵ آبان این ژنوتیپ کمترین میزان پرولین (۴۱/۱۲ و ۳۶/۷۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) را در بین ژنوتیپ‌ها به خود اختصاص داد (جدول ۵).

به‌طورکلی محققین معتقدند افزایش میزان قندها به‌عنوان یکی از مکانیسم‌های مقاومت در گیاهان عمل می‌کند (Bai *et al.*, 2013). زمانی‌که کلزا در معرض تنش دمای پایین و سرما قرار می‌گیرد این موضوع به غشای سلولی خسارت وارد می‌کند و باعث اختلال در انتقال مولکول‌ها و یون‌ها از راه کانال‌ها و پمپ‌های موجود در غشاء می‌شود و همین امر می‌تواند یکی از دلایل عدم توانایی ژنوتیپ‌ها در انتقال قندها از برگ به سایر بخش‌های بوته شود و در نهایت میزان قند برگ‌ها افزایش می‌یابد (Nazeri *et al.*, 2019). همان‌گونه که نتایج این تحقیق نیز نشان می‌دهد، تأخیر در کاشت ژنوتیپ‌ها افزایش محتوای کربوهیدرات‌های برگ را در پی داشت که نشان‌دهنده استفاده از این مکانیسم برای افزایش تحمل گیاه در برابر سرمای ابتدای فصل است. تغذیه گیاهان با توجه به نوع عنصر و ترکیب استفاده شده، میزان و مرحله استفاده می‌تواند اثرات متفاوتی را بر میزان کربوهیدرات محلول در برگ بر جای گذارد. در یک تحقیق برخی خصوصیات فیزیولوژیک کلزا در پاسخ به کاربرد هیومیک اسید در تاریخ‌های کاشت رایج و تأخیری بررسی و گزارش شد که کاربرد هیومیک اسید از طریق فراهم کردن جذب عناصر مورد نیاز گیاه و افزایش ذخیره مواد غذایی در مرحله روزت باعث القای مقاومت به سرما در گیاهان شده و میزان کربوهیدرات کاهش می‌یابد (Barkati *et al.*, 2020). به‌نظر می‌رسد با توجه به نقش سلنیوم در تنش‌های محیطی، حفظ متابولیسم و حفظ شرایط مطلوب گیاه کاربرد این عنصر از افزایش کربوهیدرات جلوگیری کرده است. در طرف مقابل کاربرد روی به‌عنوان یک عنصر مؤثر در افزایش فتوسنتز، موجب تولید آسیمیلات‌های بیشتر شده و در نهایت میزان قندهای محلول بیشتری در مقایسه با تیمارهای دیگر تولید شده است.

کلروفیل

مقایسه میانگین برهمکنش تاریخ کاشت × محلول‌پاشی × ژنوتیپ نشان داد که غلظت کلروفیل برگ ژنوتیپ‌های کلزا در تاریخ کاشت مطلوب (۱۵ مهر) بیشترین مقدار را دارا بود و با تأخیر در کاشت غلظت آن کاهش معنی‌داری یافت. محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی در تمامی سطوح باعث افزایش معنی‌دار غلظت کلروفیل ژنوتیپ‌های کلزا در هر سه تاریخ کاشت مورد بررسی شد. همان‌گونه که در جدول ۷ ملاحظه می‌شود، غلظت کلروفیل در تاریخ کاشت ۱۵ مهر برابر ۱/۷۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ (میانگین تیمارهای محلول‌پاشی و ژنوتیپ‌ها) بود و با کاشت کلزا در تاریخ‌های ۲۵ مهر و ۵ آبان مقدار آن به‌ترتیب ۴۴ و ۵۰ درصد کاهش یافت. در هر سه تاریخ کاشت ۱۵ مهر، ۲۵ مهر و ۵ آبان بیشترین تأثیر مثبت در افزایش غلظت کلروفیل در تیمار محلول‌پاشی سلنیوم+روی به ثبت رسید به‌طوری‌که به‌ترتیب افزایش‌های ۱۰، ۱۳ و ۲۴ درصدی در محلول‌پاشی سلنیوم+روی نسبت به عدم محلول‌پاشی (شاهد) مشاهده شد و درصد افزایش آن از سایر سطوح محلول‌پاشی (روی و سلنیوم) بیشتر بود (جدول ۷). واکنش ژنوتیپ‌ها در تاریخ‌های کاشت از نظر محتوای کلروفیل متفاوت بود به‌طوری‌که بیشترین میزان کلروفیل در تاریخ کاشت ۱۵ مهر مربوط به ژنوتیپ GK-Gabriella (۱/۹۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) تحت تیمار محلول‌پاشی سلنیوم+روی بود در حالی‌که ژنوتیپ GKH2624 بیشترین میزان کلروفیل را در تاریخ‌های ۲۵ مهر (۱/۱۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) و ۵ آبان (۱/۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) و محلول‌پاشی سلنیوم+روی داشت (جدول ۷).

جدول ۷- مقایسه میانگین برهمکنش سه‌گانه تاریخ کاشت×محلول‌پاشی×ژنوتیپ برای محتوای کلروفیل کلزا

Table 7- Mean comparison of three-way interaction of sowing date × foliar application × genotype for rapeseed chlorophyll content

تاریخ کاشت Sowing date	محلول پاشی Foliar application	ژنوتیپ Genotype				
		Ahmadi	SW102	Okapi	GKH2624	GK-Gabriella
۱۵ مهر 7-Oct	شاهد Control	1.65c	1.62d	1.79b	1.56e	1.82a
	سلنیوم Selenium	1.77b	1.75b	1.84a	1.68c	1.87a
	روی Zn	1.71c	1.68d	1.86b	1.63e	1.89a
	سلنیوم+روی Selenium+Zn	1.84b	1.82b	1.92a	1.74c	1.95a
۲۵ مهر 17-Oct	شاهد Control	0.86c	0.84d	0.98b	1.04a	1.00b
	سلنیوم Selenium	0.91c	0.89c	1.08b	1.14a	1.11b
	روی Zn	0.90c	0.87d	1.02b	1.09a	1.04b
	سلنیوم+روی Selenium+Zn	0.95c	0.93c	1.12b	1.18a	1.15ab
۵ آبان 27—Oct	شاهد Control	0.73c	0.71d	0.83b	0.88a	0.85b
	سلنیوم Selenium	0.77c	0.75c	0.91b	0.96a	0.94ab
	روی Zn	0.83c	0.81d	0.95b	1.01a	0.97b
	سلنیوم+روی Selenium+Zn	0.88c	0.86c	1.04b	1.10a	1.07ab

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ردیف از نظر آماری در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means followed by similar letters for each treatment in rows are not significantly different at 5% probability level.

تأخیر در کاشت باعث می‌شود گیاه به اندازه کافی فرصت برای تولید رنگیزه‌های فتوسنتزی در اختیار نداشته باشد و به همین دلیل زمانی‌که گیاه در تاریخ مطلوب کاشته می‌شود با در اختیار داشتن زمان کافی، رنگیزه‌های فتوسنتزی بیشتری تولید می‌کند (Barkati *et al.*, 2020). کاهش میزان کلروفیل برگ کلزا در تاریخ‌های کاشت تأخیری در مقایسه با تاریخ کاشت مناسب توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است (Nazeri *et al.*, 2019). افزایش محتوای کلروفیل برگ در نتیجه کاربرد عناصر ریزمغذی می‌تواند به نقش آن‌ها در بیوسنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی، کاهش سمیت انواع اکسیژن فعال، افزایش غلظت آنتی‌اکسیدان‌ها نسبت داده شود (Waraich *et al.*, 2012; Sheykhi Sanandaji and Pirzad, 2019). در تحقیقی گزارش شد کاربرد سلنات سدیم به‌طور معنی‌داری غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، b و کل) را در مقایسه با تیمار عدم کاربرد افزایش داد (Hemmati *et al.*, 2019). در پژوهشی دیگر نیز گزارش شد که کاربرد عناصر ریزمغذی (پتاسیم، روی و بور) در تاریخ‌های کاشت مطلوب و تأخیری باعث بهبود در میزان رنگیزه‌های فتونسنتزی ارقام مختلف گندم می‌شود (Kamaei *et al.*, 2018a).

عملکرد دانه

مقایسه میانگین اثر اصلی تاریخ کاشت نشان داد بیشترین عملکرد دانه کلزا در تاریخ کاشت بهینه (۱۵ مهر) با میانگین عملکرد ۵۳۵۳ کیلوگرم در هکتار تولید شد و عملکرد دانه

بوته‌های کاشته شده در تاریخ‌های ۲۵ مهر و ۵ آبان به‌ترتیب ۴۴ و ۵۱ درصد کاهش یافت (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی محلول‌پاشی نشان داد در بین تیمارهای محلول‌پاشی کمترین مقدار عملکرد دانه متعلق به تیمار شاهد با میانگین عملکرد ۳۲۸۹ کیلوگرم در هکتار بود و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی باعث افزایش عملکرد دانه شد اما بیشترین افزایش عملکرد دانه در مقایسه با تیمار شاهد (عدم محلول‌پاشی) متعلق با تیمار محلول‌پاشی سلنیوم+روی با افزایش ۲۳ درصدی بود (جدول ۶). مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت×ژنوتیپ نشان می‌دهد پاسخ ژنوتیپ‌های مورد آزمون در تاریخ‌های کاشت مختلف از نظر عملکرد دانه متفاوت است. ژنوتیپ GK-Gabriella بیشترین مقدار عملکرد دانه (۵۷۰۵ کیلوگرم در هکتار) را در تاریخ کاشت ۱۵ مهر تولید کرد درحالی‌که در تاریخ‌های کاشت ۲۵ مهر و ۵ آبان ژنوتیپ GKH2624 بالاترین عملکرد دانه (به‌ترتیب ۳۳۸۱ و ۲۹۵۶ کیلوگرم در هکتار) را داشت (جدول ۵).

تأخیر در کاشت کلزا افت عملکرد محسوس ژنوتیپ‌ها را به‌دنبال داشت که از جمله دلایل این کاهش عملکرد می‌توان به کاهش قطر طوقه، کاهش محتوای نسبی آب برگ، کاهش میزان کلروفیل و فتوسنتز برگ، افزایش محتوای نسبی آب طوقه و کاهش تعداد بوته‌های زنده مانده پس از رفع سرمای زمستان اشاره کرد. نتایج تجزیه همبستگی نیز نشان می‌دهد که عملکرد دانه کلزا رابطه مثبت و معنی‌داری با بقای زمستانه ($r=+0.87$, p value<0.01)، قطر طوقه ($r=+0.95$, p value<0.01)، محتوای نسبی آب برگ ($r=+0.79$, p value<0.01) و میزان کلروفیل ($r=+0.96$, p value<0.01) و رابطه منفی و معنی‌داری با محتوای نسبی آب طوقه ($r=-0.79$, p value<0.01) دارد (جدول ۸). البته شایان ذکر است که تمامی این پاسخ‌های فیزیولوژیک تحت تأثیر ژنوتیپ قرار داشت، به‌طوری‌که خصوصیات رشدی و عملکرد دانه برخی از ژنوتیپ‌ها برتر از سایرین بود. بوته‌هایی که در تاریخ مطلوب کاشته شدند با بهره‌مندی از دوره رشد کافی قبل از روزت، از درصد بقای بیشتری برخوردار بودند و در ادامه با دوره رشد کافی و فتوسنتز بالا توانستند بیشترین عملکرد را تولید کنند. گزارش شده است که تأخیر در کاشت باعث کاهش تعداد روز از سبز شدن تا گل‌دهی و رسیدگی، و هم‌چنین طول دوره گل‌دهی و پر شدن دانه کلزا می‌شود و باعث کاهش عملکرد دانه خواهد شد (Faraji *et al.*, 2009). محلول‌پاشی عناصر سلنیوم و روی از طریق تأثیر مثبت بر صفات اندازه‌گیری شده و بهبود در شرایط رشد بوته‌های کلزا موجب افزایش عملکرد نهایی دانه شد. در همین زمینه افزایش چشم‌گیر عملکرد دانه برنج تحت شرایط محلول‌پاشی سلنیوم، روی و آهن توسط محققین دیگر گزارش شده است (Fang *et al.*, 2008). در پژوهشی دیگر نیز گزارش شد که با محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی (پتاسیم، روی و بور) در تاریخ‌های کاشت رایج و تأخیری عملکرد دانه ارقام گندم افزایش معنی‌داری نشان داد (Kamaei *et al.*, 2018a).

جدول ۸- آنالیز همبستگی بین صفات مختلف کلزا

Table 8- Correlation analysis between different rapeseed traits

	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8
Y2	0.87**							
Y3	0.89**	0.81**						
Y4	-0.81**	-0.79**	-0.83**					
Y5	0.87**	0.95**	0.79**	-0.75**				
Y6	0.87**	0.79**	0.95**	-0.82**	0.76**			
Y7	-0.70**	-0.87**	-0.56**	0.58**	-0.88**	-0.50**		
Y8	-0.70**	-0.87**	-0.55**	0.56**	-0.89**	-0.50**	0.98**	
Y9	0.88**	0.96**	0.83**	-0.77**	0.97**	0.78**	-0.90**	-0.90**

** معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد را نشان می‌دهد. Y1: بقای زمستانه، Y2: عملکرد دانه، Y3: محتوای روغن، Y4: محتوای نسبی آب طوقه، Y5: قطر طوقه، Y6: محتوای نسبی آب برگ، Y7: محتوای پرولین، Y8: محتوای کربوهیدرات، Y9: محتوای کلروفیل.

** shows significant at the 1% probability level. Y1: Winter survival, Y2: Seed yield, Y3: Oil content, Y4: Collar water content, Y5: Collar diameter, Y6: Relative water content, Y7: Proline content, Y8: Carbohydrate content, Y9: Chlorophyll content.

محتوای روغن

نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تاریخ کاشت×محلول‌پاشی و تاریخ کاشت×ژنوتیپ نشان داد که تأخیر در کاشت باعث کاهش محتوای روغن کلزا شد، درحالی‌که محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی موجب افزایش میزان روغن در هر سه تاریخ کاشت شد. بیشترین محتوای روغن کلزا با میانگین ۴۲/۱۳ درصد (میانگین تیمارهای محلول‌پاشی) در تاریخ کاشت ۱۵ مهر مشاهده شد و کاشت کلزا در تاریخ‌های کاشت ۲۵ مهر و ۵ آبان به‌ترتیب منجر به کاهش‌های ۶ و ۱۴ درصدی در میزان محتوای روغن کلزا شد (جدول ۴). در بین تیمارهای تاریخ کاشت، کمترین میزان درصد روغن در تیمار شاهد به ثبت رسید و بیشترین درصد افزایش محتوای روغن در تاریخ‌های کاشت ۱۵ مهر، ۲۵ مهر و ۵ آبان با افزایش‌های ۴، ۵ و ۱۱ درصدی مربوط به سلنیوم+روی بود (جدول ۴). بیشترین محتوای روغن در بین ژنوتیپ‌ها در تاریخ کاشت ۱۵ مهر مربوط به Gk-Gabriella بود درحالی‌که ژنوتیپ GKH2624 در تاریخ‌های ۲۵ مهر و ۵ آبان از نظر تولید روغن برتر از سایر ژنوتیپ‌ها بود (جدول ۵).

در تاریخ‌های کاشت دیرهنگام دوره رشد گیاه بخصوص دوره پر شدن دانه با گرمای انتهای فصل مواجه می‌شود و همین موضوع اثرات منفی بر تشکیل روغن خواهد گذاشت. علاوه بر این تاریخ‌های کاشت تأخیری باعث کاهش اندازه دانه‌ها و در نهایت عملکرد روغن خواهند شد (Shirani Rad *et al.*, 2021). کاهش محتوای روغن توسط محققین دیگر برای ژنوتیپ‌های کلزا در نتیجه تأخیر در کاشت گزارش شده است (Beheshti Monfared *et al.*, 2020). عناصر ریز مغذی در این تحقیق محتوای روغن ژنوتیپ‌های کلزا را بهبود بخشیدند. عنصر روی محتوای روغن دانه را به دلیل افزایش در بیوسنتز اکسین، محتوای کلروفیل و جذب بیشتر نیتروژن و فسفر و هم‌چنین کاهش در میزان سدیم موجود در بافت‌ها افزایش می‌دهد (Moinuddin and Imas, 2008). در تحقیقی با بررسی پاسخ ژنوتیپ‌های کلزا به کاربرد عنصر روی در تاریخ‌های کاشت مختلف گزارش شد که محتوای روغن با کاربرد روی به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد (Shirani Rad *et al.*, 2021). هم‌چنین گزارش شده است که کاربرد سلنیوم باعث افزایش ۵/۸ درصدی محتوای روغن کلزا می‌شود (Zaman Fashami *et al.*, 2018).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این مطالعه نشان داد که بقای زمستانه ژنوتیپ‌ها، قطر طوقه، محتوای نسبی آب برگ و میزان کلروفیل برگ‌های کلزا در مرحله روزت به دلیل تأخیر در کاشت کاهش یافتند ولی محتوای نسبی آب طوقه، پرولین و کربوهیدرات برگ‌ها در این مرحله افزایش یافت. کاربرد عناصر ریزمغذی باعث بهبود شرایط رشدی بوته‌های کلزا شد به‌طوری‌که بالاترین درصد بقای زمستانه، قطر طوقه، محتوای نسبی آب برگ و میزان کلروفیل از تیمار سلنیوم+روی در هر سه تاریخ کاشت به‌دست آمد. عملکرد دانه و محتوای روغن نیز با تأخیر در کاشت ژنوتیپ‌ها کاهش یافتند، حال آن‌که کاربرد سلنیوم+روی به‌دلیل بهبود در شرایط رشدی ژنوتیپ‌های کلزا موجب دست‌یابی به عملکرد و محتوای روغن بیشتری شد. به عنوان نتیجه نهایی نیز می‌توان بیان کرد که در تاریخ کاشت رایج (۱۵ مهر) ژنوتیپ Gk-Gabriella بیشترین عملکرد دانه و روغن را داشت اما در تاریخ‌های کاشت ۲۵ مهر و ۵ آبان (نسبتاً تأخیری و تأخیری) ژنوتیپ GKH2624 بیشترین عملکرد دانه و روغن را به خود اختصاص داد و برای این منطقه قابل توصیه هستند.

سپاس‌گزاری

بدین‌وسیله نویسندگان از حمایت‌های ارائه شده توسط موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تشکر و قدردانی می‌کنند.

تعارض منافع

نویسندگان اظهار می‌نمایند که هیچ‌گونه تعارض منافعی در رابطه با نشر این مقاله وجود ندارد.

References

Alloway, B.J. 2008. Zinc in soils and crop nutrition, Second edn. IZA and IFA Publication, Brussels, Belgium and Paris, France.

Alyari, H., Shekari, F. and Sekari, F.R. 2000. Oilseeds: Agronomy and Physiology. Amidi Publication. Tabriz. Iran. 182 pp. (In Persian).

Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts: Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24: 1-15.

Asgarnejad, M.R., Zarei, Gh.R. and Zare Zadeh, A. 2015. Effects of planting date and plant density on yield and yield components of *Brassica nigra* under Abarkooh climatic conditions. *Crop Production*, 8(3): 183-198. (In Persian).

Bai, J., Liu, J., Zhang, N., Sa, R. and Jiang, L. 2013. Effect of salt stress on antioxidant enzymes, soluble sugar and yield of oat. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 5(3): 303-309.

Barekati, F., Majidi Heravan, E., Shirani Rad, A.H. and Noormohamadi, G. 2020. Physiological responses of rapeseed genotypes to delayed planting and foliar application of humic acid. *Scientific Journal of Crop Physiology*, 44: 59-76. (In Persian).

Bates, L.S., Waldren, R.P. and Teare, L.D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39: 205-207.

Beheshti Monfared, B., Noormohamadi, G., Shirani Rad, A.H. and Majidi Heravan, E. 2020. Effects of sowing date and chitosan on some characters of canola (*Brassica napus* L.) genotypes. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 23: 65-71.

Beyzi, E., Gunes, A., Beyzi, S.B. and Konca, Y. 2019. Changes in fatty acid and mineral composition of rapeseed (*Brassica napus* spp. *oleifera* L.) oil with seed sizes. *Industrial Crops and Products*, 129: 10-14.

Coffelt, T.A. and Adamsen, F.J. 2005. Planting date effects on flowering seed yield, and oil content of rape and crambe cultivars. CAB Abstracts. *Industrial Crops and Products*, 2(3): 293-307.

Davoudi, A., Zeinalzadeh-Tabrizi, H. and Shirani Rad, A.H. 2020. Effect of selenium foliar application on some quantitative and qualitative characteristics of rapeseed cultivars under end-season thermal stress. *Journal of Crop Breeding*, 32: 74-87. (In Persian).

Eskandari Zanjani, K., Goldani, M., Nezami, A., Shirani Rad, A.H. and Shekari, F. 2021. The Effect of salicylic acid application on reducing the effect of cold stress due to delayed planting in rapeseed genotypes (*Brassica napus* L.). *Journal of Crop Production and Processing*, 11(3): 139-156. (In Persian).

Eyni-Nargeseh, H., Shirani Rad, A.H. and Shiranirad, S. 2022. Does potassium silicate improve physiological and agronomic traits and oil compositions of rapeseed genotypes under well-watered and water-limited conditions?. *Gesunde Pflanzen*.

Fang, Y., Wang, L., Xin, Z., Zhao, L., An, X. and Hu Q. 2008. Effect of foliar application of zinc, selenium, and iron fertilizers on nutrients concentration and yield of rice grain in China. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 56: 2079-2084.

Faraji, A., Lattifi, N., Soltani, A. and Shirani-rad, A.H. 2009. Seed yield and water use efficiency of canola. (B*rassica napus* l.) as affected by high temperature stress and supplemental irrigation. *Agricultural Water Management*, 96: 132-140.

Farkhondeh, R., Nabizadeh, E. and Jalilnezhad, N. 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.

Ferrat, I.L. and Loval, C.J. 1999. Relation between relative water content, nitrogen pools, and growth of *p. vulgaris* and *P. acutifolius* during water deficit. *Crop Science*, 39: 467-474.

Gusta, L.V. and Flower, D.B. 1997. Factors affecting the cold survival of winter cereals. *Canadian Journal of Plant Science*, 57: 213-219.

Hajiboland, R. 2012. Effects of micronutrient deficiencies on plants stress responses. In: A. Parvaiz, M.N.V. Prasad, (Eds.) Abiotic stress responses in plants: metabolism, productivity and sustainability. Springer Verlag, pp. 282-326.

Hemmati, H., Delkhosh, B., Shirani Rad, A.H. and Noor Mohammadi, Gh. 2019. Effect of sodium selenate spraying on seed selenium content and some physiological indices of rapeseed genotypes (*Brassica napus* L.). *Scientific Journal of Crop Physiology*, 11(43): 69-84. (In Persian).

Ibrahim, E.A. and Ramadan, W.A. 2015. Effect of zinc foliar spray alone and combined with humic acid or/and chitosan on growth, nutrient elements content and yield of dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants sown at different dates. *Scientia Horticulturae*, 184: 101-105.

Javidfar, F., Reipley, F., Zeinaly, H., Abdmishani, S., Shah Nejat Boushehri, A.A., Tavakol Afshari, R., Alizadeh, B. and Jafarieh, E. 2011. Heritability of fatty acids composition in spring oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Journal of Agriculture and Science*, 17(3): 57-64.

Kamaei, H., Eisvand, H.R., Daneshvar, M. and Nazarian Firuzabadi, F. 2018a. The study effect of potassium, zinc and boron foliar application on canopy temperature, physiological traits and yield of two bread wheat cultivars under optimum and late planting dates. *Crop Production*, 10(4): 187-203. (In Persian).

Kamaei, H., Eisvand, H.R. and Nazarian Firuzabadi, F. 2018b. Effects of planting date, bio-fertilizer containing p solubilizing bacteria and elements foliar application of zinc and boron on physiological and agronomic traits of bread wheat (Aflak cultivar). *Field Crops Research*, 16(1): 165-179. (In Persian).

Karmollachaab, A. and Gharineh, M.H. 2013. Effect of zinc element on growth, yield components and some physiological characteristics of maize under NaCl salinity stress. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 11: 446-453. (In Persian).

Keshavarz, H., Modares Sanavi, S.A.M., Zarinkamar, F., Dolatabadian, A., Panahi, M. and Sadatasilan, K. 2011. Evaluation of salicylic acid effect on some biochemical traits of two rapeseed varieties in chilling stress condition. *Iranian Journal of Field Crop Science,* 42(4): 723-734. (In Persian).

Khayat, M., Rahnama, A., Lorzadeh, S. and Lack, S. 2018. Physiological indices, phenological characteristics and trait evaluation of canola genotypes. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, 88: 153-163.

Kirland, K.G. and Johnson, E.N. 2000. Alternative seeding dates (fall and April) affect canola (*Brassica napus*) yield and quality. *Canadian Journal of Plant Science*, 80: 715-719.

Larcher, W. and Neuner, G. 1989. Sensitive marker for chilling susceptibility. *Plant Physiology*, 89: 740-742.

Moinuddin, P. and Imas, P. 2008. Effect of zinc nutrition on growth, yield, and quality of forage sorghum in respect with increasing potassium application rates. *Journal of Plant Nutrition*, 33: 2062-2081.

Mokhtassi-Bidgoli, A., AghaAlikhani, M. and Eyni-Nargeseh, H. 2022. Effects of nitrogen and water on nutrient uptake, oil productivity, and composition of *Descurainia sophia*. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22: 59-70.

Movahhedy-Dehnavy, M., Modarres-Sanavy, S.A.M. and Mokhtassi-Bidgoli, A. 2009. Foliar application of zinc and manganese improves seed yield and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) grown under water deficit stress. *Industrial Crops and Products*, 30: 82-92.

Nazer, P., Shirani Rad, A.H., Valad Abadi, S.A., Mirakhori, M. and Hadidi Masoule, E. 2019. The Effect of planting date and late season drought stress on ecophysiological characteristics of the new varieties of canola (*Brassica napus* L.). *Journal of Agroecology*, 11(1): 261-276. (In Persian).

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).

Pashang, D., Weisany, W. and Ghajar, F.G.K. 2021. Changes in the fatty acid and morphophysiological traits of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars as response to auxin under water-deficit stress. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21: 2164-2177.

Prášil, I., Kadlecová-Faltusová, Z. and Faltus, M. 2001. Water and ABA content in fully expanded leaves of cold-hardened barleys. *Icelandic Agricultural Sciences*, 14: 49-53.

Raza, M.A.S., Saleem, M.F., Shah, G.M., Jamil, M. and Khan, I.H. 2013. Potassium applied under drought improves physiological and nutrient uptake performances of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 13(1): 175-185.

Sheligl, H.Q. 1956. The utilization of organic acids by chlorella light. *Planta*, 47: 510-515.

Sheykhi Sanandaji, T. and Pirzad, A. 2019. Evaluation of zinc and silicon micronutrients spraying on the agronomic, physiological and biochemical characteristic of *Lallemantia iberica* under rainfed and supplemental irrigation. *Iranian Journal od Dryland Agriculture*, 8(1): 21-42. (In Persian).

Shirani Rad, A.H., Ganj-Abadi, F., Jalili, E.O. Eyni-Nargeseh, H. and Safavi Fard, N. 2021. Zn foliar spray as a management strategy boosts oil qualitative and quantitative traits of spring rapeseed genotypes at winter sowing dates. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21: 1610-1620.

Starner, D.E., Hamama, A.A. and Bhardwaj, L. 1999. Canola oil yield and quality as affected by production practices in virginia. In: Perspectives on new crops and new uses, ed. J. Janick, 254–256. Alexandria (VA), ASHS Press.

Szabados, L. and Savoure, A. 2010. Proline: a multifunctional amino acid. *Trends in Plant Science*, 15(2): 89-97.

Thalooth, A.T., El-Zeiny, H.A. and Saad, A.O.M. 1990. Application of potassium fertilizer for increasing salt tolerance of broad bean (*Vicia faba*). *Bulletin of Egypt Society for Physiological Sciences*, 10: 181-193.

Toriyama, K. and Hinata, K. 1984. Anther respiratory activity and chilling resistance in rice. *Plant and Cell Physiology*, 25(7): 1215-1221.

Waraich, E.A., Ahmad, R., Halim, A. and Aziz, T. 2012. Alleviation of temperature stress by nutrient management in crop plants: a review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 12(2): 221-244.

Zaman Fashami, M., Dadashi, M.R., Shirani Rad, A.H. and Khorgami, A. 2018. Analysis of the effect of plant density and use of selenium on oil quality and quantity in winter-planted canola varieties. *Applied Ecology and Environmental Research*, 16: 6903-6916.

Zanetti, F., Alberghini, B., Marjanovi´c Jeromela, A., Grahovac, N., Rajkovi´c, D., Kiprovski, B. and Monti, A. 2021. Camelina, an ancient oilseed crop actively contributing to the rural renaissance in Europe. A review, *Agronomy for Sustainable Development*, 41: 2.

Zhu, L., Wang, P., Zhang, W., Hui, F. and Chen, X. 2009. Effects of selenium application on nutrient uptake and nutritional quality of *Codonopsis lanceolata*. *Scientia Horticulturae*, 225: 574-580.

Effect of selenium and zinc on the physiological traits and yield of rapeseed genotypes at optimal and delayed sowing dates

Amir Hossein Shirani Rad[1], Alireza Goharian[2*], Hamed Eyni-Nargeseh[3]

[1] Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
[2] Technical and Vocational Organization, General Directorate of Technical and Vocational Education, Alborz, Iran
[3] Department of Agricultural Science, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran

[*]Corresponding Author: Arg.goharian@yahoo.com

Received: 11 July 2022 Accepted: 26 August 2022 **DOI: 10.22034/CSRAR.2022.351327.1256**

Abstract

Introduction: Oilseed crops play a vital role in ensuring the food security of human societies and are the constant focus of agricultural sector researchers. Due to its favorable agronomic characteristics and high oil quality, rapeseed (*Brassica napus* L.) is one of the most important crops in the agricultural sector. Given that successful crop production depends on the climatic conditions of a given region, the degree to which plant growth stages adapt to the climatic conditions is a determining factor in achieving acceptable yields. In order to determine the optimal sowing date in each region, it is essential to keep in mind that during the crop's growing season, environmental conditions should be optimal and the crop should be unaffected by environmental stresses. The addition of micronutrients could enhance plant growth and development under various environmental conditions. In light of the importance of cultivating oilseeds, including rapeseed, it is necessary to increase the cultivated area and quality of rapeseed through the use of appropriate management strategies. Consequently, the purpose of the present study was to determine the response of rapeseed genotypes to foliar application of zinc and selenium at various sowing dates.
Materials and Methods: An experiment during the 2015-2016 growing season was performed at the Research Field of the Seed and Plant Improvement Institute (SPII), in Karaj, Iran. The experiment was conducted as a factorial-split plot in a randomized complete block design (RCBD) with three replicates. Three sowing dates of 7 (well-timed sowing), 17, and 27 October (delayed sowing dates) and four levels of foliar application with pure water (control), selenium (1.5%), zinc (1.5%), and selenium+zinc (1.5%) were factorial in the main plots and five genotypes of SW102, GKH2624, Okapi, Ahmadi, and GK-Gabriella were randomized in the subplots. Notably, sodium selenate (as a source of selenium) and chelated zinc (as a source of zinc) were applied in two stages of (i) 4-leaf (ii) and stem elongation for each sowing date and genotype, respectively. In this study winter survival, collar diameter, leaf relative water content, relative collar water content, proline content, carbohydrate content, chlorophyll content, seed yield, and oil content were measured.
Results and Discussion: The delayed sowing dates decreased winter survival, collar diameter, leaf relative water content, and chlorophyll content compared with the optimal sowing date, whereas relative collar water content, proline content, and leaf carbohydrate content increased under these conditions. When compared with the 7-Oct sowing date, the seed yield and oil content of rapeseed genotypes decreased by 44 and 6% on 17-Oct and by 51 and 14% on 27-Oct. The foliar application of selenium+zinc had the greatest effect on reducing the relative collar water content and increasing winter survival, collar diameter, leaf relative water content, and chlorophyll content. The selenium+zinc treatment increased rapeseed seed yield by 23% and oil content by 6% compared to the control treatment. The reduction in yield of genotypes sown on delayed planting dates can be attributed to a reduction in collar diameter, leaf relative water content, chlorophyll content, and the number of surviving plants, as well as an increase in relative collar water content. Correlation analysis also revealed a significant positive relationship between rapeseed seed yield and winter

survival (r=+0.87, *p* value<0.01), collar diameter (r=+0.95, *p* value<0.01), leaf relative water content (r=+0.79, *p* value<0.01), and chlorophyll content (r=+0.96, *p* value<0.01), and a significant negative relationship with collar relative water content (r=-0.79, *p* value<0.01).

Conclusion: The Gk-Gabriella genotype produced the highest seed and oil yield on the optimal sowing date (7-Oct), while the GKH2624 genotype had the highest seed and oil yield on the delayed sowing dates (17 and 27-Oct). These genotypes are recommended for arid and semiarid regions. Our findings indicate that foliar application of selenium+zinc during the rosette and stem elongation stages increases seed yield and oil content in rapeseed genotypes sown at optimal and delayed sowing dates.

Keywords: Cold tolerance, Oilseed crops, Plant nutrition, Seed yield, Timely cultivation