نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد شانزدهم، شماره ۳(۶۳)، پاییز ۱۴۰۱، صفحه ۳۵۶-۳۳۹

مقاله پژوهشی DOI: 10.30495/JCEP.2022.1899432.1687

تاثیر تنش گرمای انتهای فصل بر خصوصیات زراعی و عملکرد دانه ژنوتیپ‌های کلزا (*Brassica napus* L.) در رامهرمز

سحر کلاه‌کج [۱] و مهرو مجتبایی‌زمانی [۲*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۲/۱۹ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۲/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۲۳

چکیده

دما در دوره گلدهی و دانه‌بندی شاخص بسیار با اهمیتی برای تخمین پتانسیل عملکرد دانه کلزا محسوب می‌شود. به‌منظور ارزیابی تاثیر مواجهه با تنش گرمای ناشی از تاخیر در کاشت بر خصوصیات زراعی ژنوتیپ‌های مختلف کلزا (شامل هایولا۴۲۰، هایولا۵۰، هایولا۶۰، سان۳۷، سان۳۴ و دلگان)، دو آزمایش جداگانه در دو تاریخ کاشت متداول (۲۱ آبان ماه) و تاخیری (۲۶ آذر ماه)، هر کدام در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد رامهرمز اجرا شد. هر تاریخ کاشت به‌عنوان یک محیط در نظر گرفته شد و داده‌های حاصل در نهایت تجزیه مرکب شدند. نتایج نشان داد که با تاخیر در کاشت و وقوع تنش گرما در مرحله گلدهی و دانه بستن، تعداد گل باز شده روی ساقه اصلی، درصد گل‌های منتهی به خورجین، تعداد خورجین در بوته، تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه، طول خورجین، ارتفاع بوته و طول دوره زایشی ژنوتیپ‌ها کاهش یافت و منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد دانه شد. کاهش تعداد خورجین در بوته بیشترین سهم در کاهش عملکرد دانه را به خود اختصاص داد. در تاریخ کاشت متداول، عملکرد دانه در هایولا ۴۲۰ و سان ۳۴ بیشتر از سایر ژنوتیپ‌ها بود و در شرایط تنش گرمای ناشی از تاخیر در کاشت، هایولا۵۰ و سپس سان ۳۴ بیشترین و دلگان کمترین عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند. کمترین درصد کاهش عملکرد ناشی از تاخیر در کاشت به هایولا۵۰ تعلق داشت (۵۵ درصد) و بر اساس شاخص حساسیت به تنش، ژنوتیپی نیمه متحمل به تنش گرمای انتهای فصل شناخته شد. در تاریخ کاشت متداول، ژنوتیپ‌هایی که سریع‌تر به مرحله‌گلدهی رسیدند ولی دوره گلدهی طولانی‌تری داشتند از عملکرد بالاتری برخوردار بودند، در مقابل، در تاریخ کاشت تاخیری همبستگی منفی و معنی‌داری بین طول دوره گلدهی با تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و عملکرد دانه مشاهده شد. ژنوتیپ سان۳۴ در هر دو تاریخ کاشت متداول و تاخیری از عملکرد بالایی برخوردار بود و به عنوان ژنوتیپی مناسب برای دستیابی به عملکردی پایدار در منطقه رامهرمز می‌تواند مورد توجه قرار گیرد.

واژگان کلیدی: تنوع ژنوتیپی، شاخص حساسیت به تنش، فنولوژی، کاشت دیرهنگام.

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد اگرواکولوژی گروه کشاورزی، واحد رامهرمز، دانشگاه آزاد اسلامی، رامهرمز، ایران.

۲ - استادیار گروه کشاورزی، واحد رامهرمز، دانشگاه آزاد اسلامی، رامهرمز، ایران.

نگارنده‌ی مسئول mahroo.mojtabaei@gmail.com

مقدمه

دما در دوره گلدهی و دانه‌بندی شاخص بسیار با اهمیتی برای تخمین پتانسیل عملکرد دانه کلزا محسوب می‌شود. بین عملکرد دانه کلزا با میانگین درجه حرارت محیط در مراحل زایشی گیاه ارتباط منفی وجود دارد (Faraji *et al.*, 2009). وقوع تنش گرما در هر یک از مراحل تشکیل جوانه گل، گل‌دهی، خورجین‌دهی و دانه بستن به کاهش تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه و عملکرد دانه منجر می‌شود (Morrison and Stewart, 2002; Burnel-Muguet *et al.*, 2015). تنش گرما سهم خورجین‌های نابارور و بدون دانه را افزایش می‌دهد و تقریباً اغلب خورجین‌های تشکیل شده در طی دوره تنش، بدون دانه هستند (Gan *et al.*, 2004; Young *et al.*, 2004). در استان خوزستان دامنه تاریخ کاشت کلزا از ۱۵ تا ۳۰ آبان ماه توصیه شده است. کشت در آذرماه و پس از آن به‌دلیل برخورد مراحل حساس گلدهی و دوره پر شدن دانه با گرمای زودرس در انتهای فصل، کاهش معنی‌دار عملکرد را در پی دارد (Ghobadi *et al.*, 2006; Fani *et al.*, 2010). به طوری که به ازای هر ۱۰ روز تاخیر در کاشت پس از آبان ماه حدود ۲۳ درصد از عملکرد دانه کاهش می‌یابد (Rahnema and Bakhshande, 2005). در بررسی‌های صورت گرفته، دمای ۲۸/۳ درجه سلسیوس درجه حرارت آستانه تنش در مرحله گلدهی کلزا معرفی شده است و با تاخیر در کاشت و افزایش واحدهای تنش گرمایی در مرحله گلدهی، تعداد گل و تعداد خورجین در گل آذین اصلی و نسبت موفقیت گل‌ها در تبدیل به خورجین بارور کاهش خواهد یافت (Ghobadi *et al.*, 2006). با توجه به نتایج بررسی مدل‌های پیش‌بینی اقلیمی جهانی مبنی بر افزایش متوسط دمای محیط بین ۱/۸ تا ۵/۸ درجه سلسیوس تا پایان قرن جاری (Farooq *et al.*, 2011)، اهمیت و نقش منفی تنش گرما در مراحل زایشی کلزا دو چندان شده است.

در بررسی تاثیر سه تاریخ کاشت ۱۰ آبان، ۲۵ آبان و ۱۰ آذر در منطقه صفی‌آباد خوزستان بر عملکرد هفت رقم مختلف کلزا مشاهده شد که با تاخیر در کاشت، تعداد خورجین در بوته، تعداد شاخه‌های فرعی و طول دوره گلدهی کاهش یافت. در تاریخ کاشت‌های دیرهنگام علاوه بر کاهش طول دوره رشد، دوره گلدهی و پرشدن دانه با دماهای بالا مواجه شد که حاصل آن کاهش تعداد گل‌های بارور،کاهش تعداد خورجین در بوته، وزن هزار دانه و در نهایت کاهش عملکرد دانه بود (KalantarAhmadi *et al.*, 2014). با تاخیر در کاشت، تعداد خورجین در بوته در رقم‌های دیرگل به‌دلیل همزمانی تمایز و تکامل سلول‌های مولد خورجین با وقوع تنش گرما به‌شدت کاهش می‌یابند (Fani *et al.*, 2010). در بررسی تاثیر تاریخ کاشت تاخیری بر عملکرد دانه کلزا در ملاثانی خوزستان، افزایش دما و طول روز در تاریخ کاشت تاخیری با تسریع مراحل نموی و کاهش طول دوره رشد منجر به کاهش عملکرد نهایی شد (Moradi Telavat *et al.*, 2016). افزایش عملکرد بالقوه کلزا در شرایط گرم و فصل رشد محدود منطقه خوزستان در گرو شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به این شرایط و شناخت فرایندهای فیزیولوژیکی و زراعی مؤثر بر عملکرد دانه در این ژنوتیپ‌ها است. وجود اختلاف بین ژنوتیپ‌های کلزا در حساسیت عملکرد و اجزای عملکرد به تنش گرما نشان‌دهنده وجود تنوع ژنتیکی در واکنش به گرما است که امکان توسعه

ژنوتیپ‌های جدید متحمل به تنش گرما را در برنامه‌های اصلاحی فراهم می‌سازد. هدف از این پژوهش بررسی تاثیر تنش گرمای آخر فصل بر عملکرد، اجزای عملکرد و صفات فنولوژیکی ژنوتیپ‌های مختلف کلزا و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش گرمای آخر فصل در منطقه رامهرمز بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد رامهرمز (با عرض جغرافیایی ۳۱درجه و ۱۶ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۵۰ متر از سطح دریا) به‌صورت دو آزمایش جداگانه، هر کدام در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. خاک محل آزمایش دارای بافت سیلتی رسی لومی با ۱/۰۴ درصد ماده آلی، شوری ۵/۲ دسی‌زیمنس بر متر و اسیدیته ۷/۲۵ بود. شش ژنوتیپ کلزا (هایولا ۴۲۰، هایولا ۵۰، هایولا ۶۰، سان ۳۷، سان ۳۴ و دلگان) در آزمایش اول در تاریخ کاشت متداول و توصیه شده ۲۱ آبان ماه و در آزمایش دوم (به‌منظور اعمال تنش گرما در مراحل گلدهی و پرشدن دانه کلزا)، در تاریخ ۲۶ آذرماه کشت شدند. آرایش کاشت به‌صورت دو ردیف کشت کلزا به فواصل ۳۰ سانتی‌متری از هم، در طرفین پشته‌های ۶۰ سانتی‌متری، با تراکم ۸۰ بوته در متر مربع در نظر گرفته شد. هرکرت آزمایشی شامل چهار پشته شش متری (هشت ردیف) بود و هرکرت با یک پشته به‌صورت نکاشت از کرت کناری جدا شد. به منظور دست‌یابی به تراکم ۸۰ بوته در متر مربع، در زمان کاشت، مقدار بذر مصرفی دو برابر تراکم مذکور در نظر گرفته شد، سپس در مرحله دو تا چهار برگی با تنک کردن بوته‌ها، تراکم به ۸۰ بوته رسید. براساس توصیه کودی منتج از تجزیه شیمیایی خاک محل پژوهش، مقدار ۵۰ کیلوگرم در هکتار P_2O_5 (از منبع سوپر فسفات تریپل)، ۷۰ کیلوگرم در هکتار K_2O (از منبع سولفات پتاسیم) به‌صورت پایه و ۹۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن (از منبع اوره) در چهار مرحله (پس از سبز شدن گیاهچه‌ها، در مرحله سه تا چهار برگی پس از تنک کردن بوته‌های اضافی، در آغاز رشد طولی ساقه و شروع گلدهی) به‌صورت سرک مصرف شد. در طول دوره رشد، آبیاری کرت‌ها با توجه به نیاز آبی گیاه، وضعیت بارش و پایش مستمر وضعیت ظاهری رطوبت خاک به نحوی انجام شد که گیاه با تنش کم آبی مواجه نشود و وجین علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام شد. در مرحله گلدهی ۱۰ بوته از ردیف‌های دوم و هفتم هر کرت آزمایشی، به‌صورت تصادفی انتخاب و علامت‌گذاری شدند. این بوته‌ها برای ارزیابی صفات زراعی شامل تعداد گل باز شده روی ساقه اصلی، تعداد شاخه فرعی در بوته، تعداد خورجین در ساقه اصلی، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، ارتفاع بوته و طول خورجین استفاده شدند. دو متر طولی از وسط ردیف‌های دوم و هفتم کرت برای ثبت مراحل فنولوژیکی (روز تا شروع گلدهی، روز تا پایان گلدهی، روز تا خورجین‌دهی، روز تا شروع دانه‌بندی و روز تا رسیدگی) استفاده شد و بر اساس کلید تشخیص مراحل رشد و نمو کلزا (Sylvester-Bradley and Makepeace, 1984) مراحل فنولوژیکی مورد نظر ثبت گردید. با استفاده از این اطلاعات، صفات طول دوره گلدهی، طول دوره خورجین‌دهی تا رسیدگی و طول دوره دانه‌بندی تا رسیدگی محاسبه شد. ۱/۲ مترمربع از سطح هر کرت (ردیف‌های ۴و ۵) نیز برای

اندازه‌گیری عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک استفاده شد. شاخص حساسیت به تنش برای عملکرد دانه بر اساس رابطه (۱) محاسبه شد. در این رابطه Ys و Yp به‌ترتیب عملکرد دانه هر ژنوتیپ در تاریخ کاشت تاخیری و متداول منطقه است و D (شدت تنش) بر اساس رابطه (۲) قابل برآورد است. $\overline{Ys}$ و $\overline{Yp}$ به‌ترتیب میانگین عملکرد همه ژنوتیپ‌ها در تاریخ کاشت تاخیری و متداول منطقه است.

$$SSI = \frac{\left[1-\left(Ys/Yp\right)\right]}{D} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$D = 1-\left(\overline{Ys}/\overline{Yp}\right) \quad \text{رابطه (۲)}$$

پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) انجام شد. هر تاریخ کاشت به عنوان یک محیط در نظر گرفته شد و داده‌های حاصل، تجزیه مرکب شدند. پیش از انجام تجزیه واریانس مرکب، آزمون همگنی واریانس خطاهای آزمایشی با استفاده از آزمون بارتلت انجام و با توجه به یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی دو تاریخ کاشت، تجزیه واریانس مرکب انجام و تاریخ کاشت به‌عنوان فاکتور ثابت در نظر گرفته شد. برای اثر متقابل ژنوتیپ در تاریخ کاشت از روش برش‌دهی با دستور LSmeans استفاده شد.

نتایج و بحث

با توجه به داده‌های هواشناسی (شکل ۱)، به‌طور متوسط ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در طی دوره گلدهی در تاریخ کاشت متداول با میانگین دمای ۱۷ درجه سلسیوس (میانگین حداکثر و حداقل دمای شبانه روز ۲۳ و ۱۱ درجه سلسیوس) و در تاریخ کاشت تاخیری با متوسط دمای ۲۵/۵ درجه سلسیوس (متوسط حداکثر و حداقل دمای شبانه روز ۳۲ و ۱۹ درجه سلسیوس) مواجه شدند. ژنوتیپ‌های مذکور در دوره خورجین‌دهی تا رسیدگی نیز به‌طور متوسط در تاریخ کاشت متداول با میانگین دمای ۲۲ درجه سلسیوس (متوسط حداکثر و حداقل دمای شبانه روز ۲۸ و ۱۶ درجه سلسیوس) و در تاریخ کاشت تاخیری با متوسط دمای ۳۰ درجه سلسیوس (متوسط حداکثر و حداقل دمای شبانه روز ۳۶ و ۲۳ درجه سلسیوس) مواجه شدند. در منابع درجه حرارت آستانه تنش در مراحل گلدهی و دانه بندی کلزا ۲۸ تا ۲۹ درجه سلسیوس گزارش شده است (Morrison and Stewart, 2002; Ghobadi *et al*., 2006) و شرایط دمایی حاکم در مراحل گلدهی و خورجین‌دهی ژنوتیپ‌ها در تاریخ کاشت دوم حاکی از وقوع تنش گرما در مراحل حساس گلدهی و دانه‌بندی در تاریخ کاشت تاخیری است.

بر اساس نتایج تجزیه واریانس مرکب، تاخیر در کاشت منجر به کاهش معنی‌دار اجزای عملکرد و صفات مورفولوژیکی مورد مطالعه شد. بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نیز در هر دو تاریخ کاشت تفاوت بسیار معنی‌داری از لحاظ صفات مذکور وجود داشت (جدول ۱). با تاخیر در کاشت و وقوع تنش گرما در مرحله گلدهی (شکل ۱)، تعداد گل باز شده روی ساقه اصلی ۳۴ درصد و نسبت موفقیت تبدیل گل به خورجین روی ساقه اصلی ۲۱ درصد کاهش یافت و در نهایت منجر به کاهش ۴۸ درصدی خورجین روی ساقه اصلی (جدول ۲) و به‌طور متوسط کاهش ۵۰ درصدی خورجین در بوته شد (جدول ۳). کاهش تعداد جوانه‌های گل و ریزش گل‌ها از یک سو و کاهش تعداد دانه گرده مستقر شده روی کلاله و اختلال در فرآیند لقاح از سویی دیگر از دلایل کاهش

تعداد خورجین در شرایط وقوع تنش گرما طی دوره زایشی محسوب می‌شوند (Hassanuzzaman *et al.*, 2013). رشد ضعیف و توسعه محدود برگ‌ها و کاهش توانایی گیاه در تامین مواد فتوسنتزی برای گل‌آذین از دیگر دلایل کاهش تعداد خورجین در بوته در شرایط تاخیر در کاشت شناخته شده است (Ozer, 2003). با توجه به عدم معنی‌داری اثر متقابل ژنوتیپ در تاریخ کاشت برای صفات تعداد گل و خورجین در ساقه اصلی و نسبت موفقیت تبدیل گل به خورجین، در هر دو تاریخ کاشت به‌طور متوسط، هایولا ۵۰ و پس از آن هایولا ۶۰ و سان ۳۴ از بیشترین تعداد گل باز شده روی ساقه اصلی برخوردار بودند و هایولا ۶۰ با بیشترین نسبت موفقیت تبدیل گل به خورجین، بیشترین تعداد خورجین در ساقه اصلی را داشت (جدول ۲). بیشترین تعداد خورجین در بوته در تاریخ کاشت متداول به هایولا۶۰ و پس از آن سان۳۴ تعلق داشت که با تاخیر در کاشت و کاهش تعداد خورجین در بوته، سان۳۴ با کمترین درصد کاهش (۲۳ درصد) از بیشترین تعداد خورجین در بوته و رقم دلگان با بیشترین درصد کاهش (۶۷ درصد) از کمترین تعداد خورجین در بوته برخوردار شد (جدول ۳). با تاخیر در کاشت، تعداد شاخه فرعی در بوته به‌طور متوسط ۳۷/۵ درصد کاهش یافت (جدول ۲). در منابع، کاهش طول دوره رشد مهم‌ترین عامل تاثیرگذار بر کاهش تعداد شاخه فرعی شناخته شده است (Khamadi *et al.*, 2014). با توجه به نتایج ضرایب همبستگی در تاریخ کاشت تاخیری و وجود همبستگی مثبت و قوی بین تعداد شاخه‌فرعی در بوته و تعداد خورجین در بوته (جدول ۸)، ژنوتیپ‌هایی که از بیشترین تعداد خورجین در بوته برخوردار بودند، تعداد شاخه فرعی بیشتری نیز داشتند.

تاخیر در کاشت به‌ترتیب منجر به کاهش ۱۵/۵ و ۲۶ درصدی تعداد دانه در خورجین و وزن هزار دانه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه شد (جدول ۲). بیشتر بودن طول دوره خورجین‌دهی و دانه‌بندی تا رسیدگی (جدول ۶) و کمتر بودن درجه‌حرارت در طی این دوره در تاریخ کاشت متداول (شکل ۱) با تعداد دانه بیشتر در خورجین و دانه‌های سنگین‌تر همراه بود (جدول ۲). بر اساس تحقیقات صورت گرفته، کاهش باروری میکروگامتوفیت (گرده) و مگاگامتوفیت (کیسه جنینی) همراه با وقایع مختل شده بعد از گرده‌افشانی که منجر به‌عدم باروری تخمک می‌شود از دلایل عدم تشکیل دانه در طی دوره تنش گرما و کاهش تعداد دانه در خورجین است (Young *et al.*, 2004). علاوه بر تاثیر منفی دمای زیاد بر تلقیح و دانه بندی، محققین کاهش عرضه مواد فتوسنتزی در نتیجه کاهش سطح برگ به دلیل تاخیر در کاشت و افزایش تنفس خورجین‌ها در نتیجه افزایش دما در دوره خورجین‌دهی تا رسیدگی را از دیگر دلایل کاهش تعداد و اندازه دانه عنوان نموده‌اند (Ghobadi *et al.*, 2006). با توجه به‌عدم معنی‌داری اثر متقابل ژنوتیپ در تاریخ کاشت برای صفت تعداد دانه در خورجین (جدول ۱)، به‌طور متوسط در هر دو تاریخ کاشت، سان۳۴ از بیشترین تعداد دانه در خورجین برخوردار بود و این ژنوتیپ همراه با هایولا ۴۲۰ نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها خورجین‌های نسبتاً طویل‌تری داشت (جدول ۲). وجود همبستگی بسیار قوی و مثبت بین طول خورجین با تعداد دانه در خورجین در هر دو تاریخ کاشت متداول و تاخیری (جدول ۷ و ۸) حاکی از آن است که

ژنوتیپ‌هایی با بیشترین طول خورجین از تعداد دانه بیشتری در خورجین برخوردار بودند. وجود همبستگی مثبت بین طول خورجین و تعداد دانه در خورجین توسط مظفری و همکاران (Mozafari *et al*., 2010) نیز گزارش شده است. به گزارش ایشان طول خورجین بیشتر در کنترل ساختار ژنتیکی گیاه است که با این وجود از شرایط نامساعد محیطی متاثر شده و با تاخیر در کاشت کاهش می‌یابد. در پژوهش حاضر نیز با تاخیر در کاشت طول خورجین ۲۰/۹ درصد کاهش یافت. بیشتر بودن طول دوره رشد خورجین در تاریخ کاشت متداول (جدول ۶) به دلیل دمای مناسب در طی دوره خورجین‌دهی، از دلایل طویل‌تر بودن خورجین در این تاریخ کاشت محسوب می‌شود.

واکنش ژنوتیپ‌های مورد مطالعه به تغییر در تاریخ کاشت از لحاظ ارتفاع بوته متفاوت بود (جدول ۱). در تاریخ کاشت متداول رقم دلگان از کمترین ارتفاع بوته برخوردار بود، ولی بین سایر ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌داری از لحاظ ارتفاع بوته مشاهده نشد. در تاریخ کاشت تاخیری به‌طور متوسط ارتفاع بوته در حدود ۴۷ درصد کاهش یافت و سان۳۷ و سان۳۴ بیشترین و رقم دلگان کمترین ارتفاع بوته را داشتند (جدول ۳). در تاریخ‌های کشت تاخیری، کاهش ارتفاع بوته در نتیجه کوتاه شدن طول دوره رشد (KalantarAhmadi *et al*., 2014)، همراه با کاهش سطح فتوسنتز کننده گیاه و کاهش طول محور گل‌آذین بوده و با کاهش عملکرد دانه مرتبط است (Fallah Heki *et al*., 2012). در تاریخ کاشت تاخیری همبستگی مثبت و معنی‌داری بین تعداد خورجین در بوته و ارتفاع بوته مشاهده شد (جدول ۸). ارتباط بین ارتفاع بوته و تعداد گل باز شده روی ساقه اصلی در تاریخ کاشت متداول ($p<۰/۰۱$، $r=۰/۶۵$) و تاخیری ($p<۰/۰۱$، $r=۰/۶۴$) نیز معنی‌دار بود و همبستگی مثبت معنی‌داری بین ارتفاع بوته و تعداد خورجین در ساقه اصلی در هر دو شرایط تاریخ کاشت متداول و تاخیری به‌دست آمد (جدول ۷ و۸). این روابط حاکی از آن است که ژنوتیپ‌هایی که دارای ساقه بلند بودند از محور گل‌آذین بلندتری برخوردار بوده و تعداد گل و خورجین بیشتری روی گل‌آذین آنها تشکیل شد.

تاخیر در کاشت منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در واحد سطح شد. بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نیز در هر دو تاریخ کاشت تفاوت معنی‌داری از لحاظ این دو صفت مشاهده شد و اثر متقابل ژنوتیپ در تاریخ کاشت معنی‌دار بود (جدول ۴). در تاریخ کاشت متداول، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در هایولا۴۲۰ و سان۳۴ بیشتر از سایر ژنوتیپ‌ها بود و هایولا۶۰ از کمترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک برخوردار بود. تاخیر در کاشت به‌طور میانگین، منجر به کاهش ۶۸ درصدی عملکرد دانه شد (جدول ۵). با توجه به کاهش ۵۰ درصدی تعداد خورجین در بوته در مقایسه با کاهش ۱۵/۵ درصدی تعداد دانه در خورجین و کاهش ۲۶ درصدی وزن هزار دانه در شرایط تنش گرمای ناشی از تاخیر در کاشت، کاهش تعداد خورجین در بوته بیشترین سهم در کاهش عملکرد دانه را به خود اختصاص داد. زارعی و همکاران (Zareei Siahbidi *et al*., 2021) نیز کاهش عملکرد در تاریخ کاشت تاخیری را ناشی از کاهش تعداد خورجین در بوته که در نتیجه افزایش سرعت مراحل نمو، کاهش روز تا گلدهی و کاهش دوره گلدهی رخ می‌دهد، دانستند. تعداد خورجین در

بوته در هایولا۵۰ و سان۳۴ با تاخیر در کاشت در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها کاهش کمتری یافت (جدول ۳) و این دو ژنوتیپ در تاریخ کاشت تاخیری از تعداد گل و خورجین بیشتری برخوردار بوده و عملکرد بالاتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها داشتند (جدول ۵). دلگان و پس از آن هایولا۴۲۰ نیز با بیشترین درصد کاهش تعداد خورجین در بوته در شرایط تنش گرمای ناشی از تاخیر در کاشت (جدول ۳)، از بیشترین درصد کاهش عملکرد برخوردار بودند و بیشترین شاخص حساسیت به تنش نیز به این دو ژنوتیپ تعلق داشت (جدول ۵). کاهش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در نتیجه تاخیر در کاشت، ناشی از تضعیف قدرت منبع و مخزن در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه است. دمای مناسب اواخر آبان و اوایل آذر در استقرار بهتر بوته و رشد رویشی سریع‌تر و بیشتر و تولید بوته‌های قوی‌تر نقش مؤثری دارد و تاخیر در کاشت منجر به افزایش تعداد روز تا سبز شدن گیاهچه می‌شود (Khayat and Gohari, 2009). از این‌رو، دمای پایین در مرحله ظهور گیاهچه و رزت بوته‌های کلزا در تاریخ کاشت تاخیری منجر به رشد ضعیف این بوته‌ها و کاهش سطح سبز دریافت کننده تشعشع فعال فتوسنتزی شد. از طرفی، به‌دلیل تاخیر در کاشت، طول دوره تورم جوانه انتهایی و ظهور گل‌آذین سبز که با رشد و توسعه سریع برگ‌ها همزمان است، با افزایش دمای محیط (در حدود ۷ تا ۱۰ درجه سلسیوس) کاهش یافت. در این شرایط، با کاهش ارتفاع بوته (جدول ۳) و کاهش شاخص سطح برگ (Moradi Talavat *et al*., 2016)، توانایی تولید مواد فتوسنتزی کاهش یافت. از طرفی تاخیر در کاشت با کاهش شدید طول دوره گلدهی و طول دوره دانه‌بندی در مقایسه با سایر مراحل فنولوژیکی همراه بود، به طوری که با تاخیر در کاشت طول دوره گلدهی ۴۰/۷ درصد، طول دوره خورجین‌دهی تا رسیدگی ۲۷/۲ درصد و طول دوره دانه‌بندی تا رسیدگی ۳۶ درصد کاهش یافت (جدول ۶). کاهش طول مراحل زایشی یکی از دلایل مطرح شده برای کاهش تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین در کشت‌های تاخیری است (Doori *et al*., 2015; Mozafari *et al*., 2010). از این‌رو، با کاهش تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین (به عنوان مخازن گیاه) در اثر وقوع تنش گرما در مراحل گلدهی و خورجین‌دهی، قدرت مخزن کاهش یافت و بر سرعت و میزان انتقال مواد فتوسنتزی از سمت منبع به مخزن تاثیر منفی گذاشت. به گزارش موریسون و استوارت (Morrison and Stewart, 2002) افزایش دما به بالاتر از حد آستانه (۲۹/۵ درجه سلسیوس) در مرحله گلدهی تا رسیدگی با کاهش باروری و دانه‌بندی خورجین و در نتیجه کاهش تعداد خورجین، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه و عملکرد دانه همراه است.

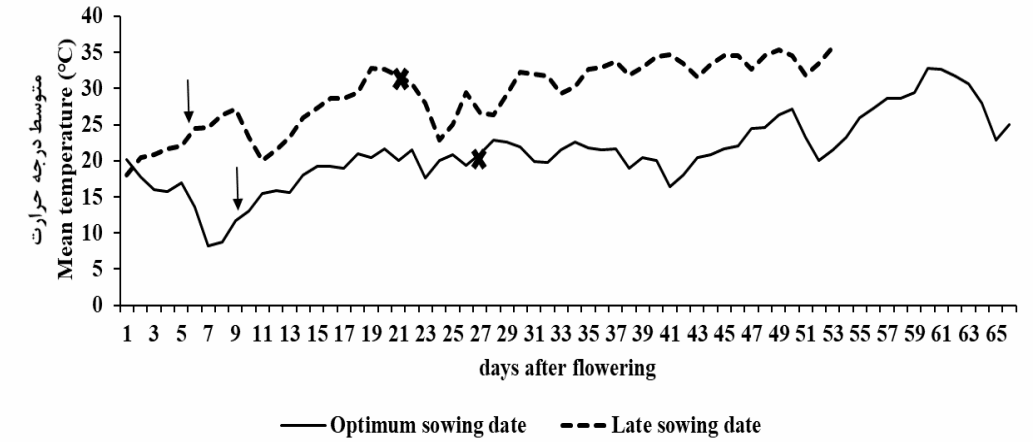
در تاریخ کاشت متداول منطقه، عملکرد دانه با تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه و طول دوره گلدهی همبستگی مثبت و معنی‌دار و با تعداد روز تا شروع گلدهی همبستگی منفی معنی‌دار داشت (جدول ۷). پیش از این وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین تعداد دانه در خورجین و عملکرد دانه توسط صفی‌خانی و همکاران (Safikhani *et al*., 2019) و وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین طول دوره گلدهی و عملکرد دانه در شرایط محیطی ایده‌آل توسط فروغی و همکاران (Foroughi *et al*., 2019) گزارش شده است. تعداد دانه بیشتر حاکی از وجود مخزنی قوی‌تر برای دریافت آسیمیلات

تولیدی گیاه است (Mirzaei *et al.*, 2011) با توجه به شرایط محیطی ایده‌آل در طی دوره رشد رویشی و زایشی کلزا در تاریخ کاشت متداول و توصیه شده منطقه و عدم محدودیت منبع برای تولید و ارسال آسیمیلات به مخزن، ژنوتیپ‌هایی که زودتر به مرحله گلدهی رسیدند و طول دوره گلدهی طولانی‌تری داشتند و از طرفی از تعداد دانه بیشتر و مخزنی قوی‌تر برخوردار بودند، با قدرت بیشتری آسیمیلات تولیدی را جذب کرده و از عملکرد دانه بالاتری برخوردار شدند. این درحالی‌است که در تاریخ کاشت تاخیری از بین اجزای عملکرد، تنها تعداد خورجین در بوته همبستگی مثبت قوی و معنی‌داری با عملکرد دانه داشت و همبستگی منفی معنی‌داری نیز بین طول دوره گلدهی با تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و عملکرد دانه مشاهده شد (جدول ۸). در این شرایط، ژنوتیپ‌هایی که از تعداد خورجین در بوته بیشتری برخوردار بودند و دوره گلدهی و خورجین‌دهی را سریع‌تر طی کردند، عملکرد بالاتری داشتند. این موضوع حاکی از آن است که با توجه به شرایط محیطی منطقه و افزایش دمای محیط به بالاتر از حد آستانه تحمل گیاه کلزا در تاریخ کاشت تاخیری، طولانی‌تر بودن دوره گلدهی، به‌دلیل برخورد دوره حساس گلدهی با تنش گرما و تداوم تنش در طول این دوره، با کاهش شدید تعداد گل، نسبت موفقیت تبدیل گل به خورجین، کاهش شدید تعداد خورجین و تعداد دانه و در نهایت کاهش عملکرد دانه همراه است. وجود همبستگی مثبت معنی‌دار بین تعداد خورجین در بوته و عملکرد دانه توسط فانی و همکاران (Fani *et al.*, 2010) و صفی‌خانی و همکاران (Safikhani *et al.*, 2019) نیز گزارش شده است. در پژوهش حاضر در هر دو تاریخ کاشت، تعداد روز تا رسیدگی با وزن هزار دانه همبستگی منفی بسیار معنی‌داری داشت (جدول ۷ و ۸) که این موضوع به دلیل شرایط محیطی منطقه و افزایش دما در انتهای فصل رشد کلزا دور از انتظار نیست. دیررسی و برخورد مرحله دانه‌بندی با دمای زیاد به‌دلیل تاثیر منفی تنش گرما بر فعالیت آنزیم‌های دخیل در پر شدن دانه، مختل شدن انتقال مواد به دانه‌های در حال رشد و افزایش تنفس خورجین‌ها منجر به کاهش شدید وزن دانه می‌شود (Ghobadi *et al.*, 2006).

نتیجه‌گیری کلی

با تاخیر در کاشت و افزایش دمای محیط در دوره گلدهی و دانه‌بندی، به‌طور میانگین عملکرد دانه در حدود ۶۸ درصد کاهش یافت و کاهش تعداد خورجین در بوته بیشترین سهم در کاهش عملکرد دانه را به خود اختصاص داد. با تاخیر در کاشت، تعداد خورجین در بوته در هایولا۵۰ و سان۳۴ کاهش کمتری یافت و این دو ژنوتیپ در تاریخ کاشت تاخیری از تعداد گل و خورجین بیشتری برخوردار بوده و عملکرد بالاتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها داشتند. در تاریخ کاشت متداول عملکرد با تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه و طول دوره گلدهی همبستگی مثبت معنی‌داری داشت ولی با تاخیر در کاشت همبستگی منفی معنی‌داری بین طول دوره گلدهی با تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و عملکرد دانه مشاهده شد. این نتایج نشان داد که بسته به شرایط محیطی، تاثیر طول دوره گلدهی بر عملکرد دانه متفاوت است. در محیط‌هایی که به دلیل شرایط محیطی یا تاخیر در کاشت احتمال وقوع تنش‌های محیطی در دوره شکل‌گیری و پر شدن‌دانه‌ها وجود دارد، ژنوتیپ‌هایی که طول دوره گلدهی و خورجین‌دهی را سریع‌تر طی می‌کنند،

از شرایط محیطی مطلوب‌تری برخوردار بوده و عملکرد استحصالی از آنها بالاتر خواهد بود. بر اساس نتایج این مطالعه، ژنوتیپ سان۳۴ در هر دو تاریخ کاشت متداول و تاخیری از عملکرد بالایی برخوردار بود و به نظر می‌رسد که برای دست‌یابی به عملکردی پایدار در منطقه رامهرمز ژنوتیپی مناسب باشد.



شکل ۱- میانگین دما در طی دوره گلدهی و خورجین‌دهی تا رسیدگی ژنوتیپ‌های کلزای مورد مطالعه در تاریخ کاشت متداول و تاخیری

Figure 1- Mean temperature during flowering and silique formation to maturity of rapeseed genotypes in conventional and late sowing dates

علامت فلش و ضربدر، به ترتیب، نشان‌دهنده شروع خورجین‌دهی و پایان گلدهی است.

The arrow and cross marks, indicates the start of silique formation and the end of flowering, respectively.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس مرکب برخی صفات مورفولوژیکی و اجزای عملکرد شش ژنوتیپ کلزا در دو تاریخ کاشت متداول و تاخیری

Table 1- Combined analysis of variance for some morphological traits and yield components of 6 rapeseed genotypes in conventional and late sowing dates

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	تعداد گل باز شده روی ساقه اصلی Flowers on the main raceme	تعداد خورجین در ساقه اصلی Siliques on the main raceme	نسبت موفقیت تبدیل گل به خورجین Ratio of siliques produced per flowers produced	تعداد خورجین در بوته Siliques per plant	تعداد شاخه‌های فرعی در بوته Branches per plant	تعداد دانه در خورجین Seed per silique	وزن هزار دانه 1000-seed weight	طول خورجین Silique length	ارتفاع بوته Plant height
تاریخ کاشت Sowing date (S)	1	5226.93**	5247.51**	2068.66*	32721.4**	72.86**	97.66**	7.81**	15.11**	36084.93**
بلوک (تاریخ کاشت) Block/S	4	33.90	20.51	107.05	161.03	1.41	3.28	0.08	0.36	3.09
ژنوتیپ Genotype G)	5	388.82**	210.09**	181.10*	2075.97**	12.64**	43.76**	0.61**	4.71**	386.63**
ژنوتیپ × تاریخ کاشت G×S	5	113.40^{ns}	28.73^{ns}	121.08^{ns}	522.19*	2.89^{ns}	6.36^{ns}	0.08^{ns}	0.93^{ns}	112.1**
خطا Error	20	44.67	23.03	58.25	154.86	1.31	2.52	0.09	0.70	22.13
ضریب تغییرات C.V.(%)		11.43	12.64	11.95	13.53	18.52	8.05	9.63	15.05	4.59

^{ns}، *، ** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار نشدن، معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد.

ns, *, ** indicate non-significance, significance at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۲- مقایسه میانگین برخی صفات مرتبط با عملکرد در شش ژنوتیپ کلزا و دو تاریخ کاشت متداول و تاخیری

Table 2- Mean comparison of related traits with yield for 6 rapeseed genotypes and two sowing dates (conventional and late sowing dates)

ژنوتیپ و تاریخ کاشت Genotype and sowing date	تعداد گل باز شده روی ساقه اصلی Flowers on the main raceme	تعداد خورجین در ساقه اصلی Siliques on the main raceme	نسبت موفقیت تبدیل گل به خورجین Ratio of siliques produced per flowers produced (%)	تعداد شاخه‌های فرعی در بوته Branches per plant	تعداد دانه در خورجین Seed per silique	وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)	طول خورجین Silique length (cm)
Genotype							
Hyola 420	54.92	37.62	67.53	4.87	21.26	3.53	6.25
Hyola 50	68.74	41.02	59.30	6.70	18.40	3.13	5.09
Hyola 60	61.60	45.69	73.12	5.27	17.34	2.92	4.75
SAN 37	59.26	36.22	60.68	6.23	19.03	2.65	6.04
SAN34	61.46	39.39	63.08	8.78	24.46	2.95	6.70
Dalgan	44.81	27.92	59.37	5.17	17.78	3.37	4.54
LSD	8.05	5.78	9.19	1.38	1.91	0.36	1.01
Sowing date							
Conventional	70.52	50.05	71.43	7.60	21.36	3.56	6.21
Late	46.42	25.90	56.27	4.75	18.06	2.63	4.91
LSD	5.39	4.19	9.58	1.10	1.68	0.26	0.56
Reduction (%)	34	48	21	37.5	15.5	26	20.9

جدول ۳- مقادیر تعداد خورجین در بوته و ارتفاع بوته شش ژنوتیپ کلزا در دو تاریخ کاشت متداول و تاخیری

Table 3- Number of siliques per plant and plant height for 6 rapeseed genotypes in conventional and late sowing dates

ژنوتیپ Genotype	تعداد خورجین در بوته Siliques per plant		درصد کاهش ناشی از تاخیر در کاشت Reduction (%)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	
	تاریخ کاشت متداول	تاریخ کاشت تاخیری		تاریخ کاشت متداول	تاریخ کاشت تاخیری
Hyola 420	112.13	41.08	63.4	139.33	68.92
Hyola 50	119.99	72.75	39.4	137.38	68.83
Hyola 60	148.17	65.92	55.5	134.48	68.25
SAN 37	123.56	58.42	52.7	138.16	81.50
SAN34	130.29	100.25	23.1	133.62	84.75
Dalgan	98.47	32.42	67.1	122.29	53.08
Mean	122.10	61.81	50	134.21	70.89
LSD	21.19			8.01	

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و برخی صفات فنولوژیکی شش ژنوتیپ کلزا در دو تاریخ کاشت متداول و تاخیری

Table 4- Combined analysis of variance for grain yield, biological yield and some phenological traits of 6 rapeseed genotypes in conventional and late sowing dates

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	روز تا شروع گلدهی Days to flowering	روز تا پایان گلدهی Days to end of flowering	روز تا خورجین‌دهی Days to silique formation
تاریخ کاشت Sowing date (S)	1	78727200.9**	631583915.1**	462.3**	3.4^{ns}	10.0*
بلوک (تاریخ کاشت) Block/S	4	386844.5	1301610.2	0.6	2.6	0.6
ژنوتیپ Genotype (G)	5	2023775.7**	4505516.5**	41.2**	19.2**	21.0**
ژنوتیپ × تاریخ کاشت G×S	5	1186270.6**	2668574.3*	28.3**	22.8**	12.5**
خطا Error	20	156988.2	670619.3	6.1	4.5	3
ضریب تغییرات C.V.(%)		13.9	10.0	2.5	1.8	1.6

ns: غیر معنی‌دار، * و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns: Non-significant, * and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

ادامه جدول ۴-

Table 4- Continued

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	روز تا شروع دانه‌بندی Days to beginning of grain filling	روز تا رسیدگی Days to maturity	طول دوره گلدهی Duration of flowering	خورجین دهی تا رسیدگی Duration of silique formation to maturity	دانه‌بندی تا رسیدگی Duration of beginning of grain filling to maturity
تاریخ کاشت Sowing date (S)	1	96.7**	1236.7**	544.4**	1469.4**	2025.0**
بلوک (تاریخ کاشت) Block/S	4	1.1	0.4	4.6	0.5	1.6
ژنوتیپ Genotype (G)	5	17.1**	90.8**	4.5^{ns}	70.6**	80.7**
ژنوتیپ × تاریخ کاشت G×S	5	10.9*	16.6**	12.6*	21.6**	28.7**
خطا Error	20	2.9	0.8	3.7	1.9	1.8
ضریب تغییرات C.V. (%)		1.5	0.6	12.7	3.4	4.0

ns: غیر معنی‌دار، * و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns: Non-significant, * and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۵- مقادیر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در تاریخ کاشت متداول و تاخیری، درصد کاهش عملکرد ناشی از تاخیر در کاشت و شاخص حساسیت به تنش در شش ژنوتیپ کلزا

Table 5- Seed and biological yield in conventional and late sowing dates, reduction (R%) yield at the late sowing date and stress susceptibility index (SSI) for 6 rapeseed genotypes

ژنوتیپ Genotype	عملکرد دانه Grain yield ($kg.ha^{-1}$)		کاهش عملکرد R%	شاخص حساسیت به تنش SSI	عملکرد بیولوژیک Biological yield ($kg.ha^{-1}$)	
	متداول	تاخیری			متداول	تاخیری
Hyola 420	5349.3	1224.8	76.9	1.13±0.06[§]	13833.3	3336.0
Hyola 50	4582.4	2054.5	55.6	0.82±0.12	12513.3	5346.7
Hyola 60	3175.6	1295.7	59.0	0.86±0.10	11126.7	3986.7
SAN 37	3468.2	1285.4	62.9	0.92±0.06	12180.0	4274.7
SAN34	5340.1	1714.9	67.9	0.99±0.03	13233.3	5113.3
Dalgan	4088.1	682.6	83.0	1.22±0.03	11606.7	2173.3
Mean	4333.9	1376.3	68.0		12415.6	4038.4
LSD	674.8		10.2		1394.76	

جدول ۶- مقادیر برخی صفات فنولوژیکی شش ژنوتیپ کلزا در تاریخ کاشت متداول و تاخیری

Table 6- Some phenological traits of 6 rapeseed genotypes in conventional and late sowing dates

ژنوتیپ Genotype	روز تا شروع گلدهی Days to flowering		روز تا پایان گلدهی Days to end of flowering		روز تا خورجین‌دهی Days to silique formation		روز تا شروع دانه‌بندی Days to grain filling	
	متداول	تاخیری	متداول	تاخیری	متداول	تاخیری	متداول	تاخیری
Hyola420	93.3	102.7	114.0	113.3	106.0	107.3	112.0	116.0
Hyola 50	100.3	104.0	118.7	115.0	109.7	108.0	114.3	117.0
Hyola 60	99.3	100.0	118.3	112.0	108.0	105.3	113.7	112.0
SAN 37	99.7	109.0	115.7	120.0	108.7	111.0	114.7	118.7
SAN34	93.7	106.3	115.0	115.3	104.3	109.7	111.0	117.3
Dalgan	93.7	101.0	112.0	114.3	103.7	105.3	110.0	114.3
Mean	96.7	103.8	115.6	115.0	106.7	107.8	112.6	115.9
LSD	4.19		3.60		2.93		2.89	

ژنوتیپ Genotype	روز تا رسیدگی Days to maturity		طول دوره گلدهی Duration of flowering		خورجین دهی تا رسیدگی Silique formation to maturity		دانه‌بندی تا رسیدگی Beginning of grain filling to maturity	
	متداول	تاخیری	متداول	تاخیری	متداول	تاخیری	متداول	تاخیری
Hyola420	152.0	137.3	20.7	10.7	46.0	30.0	40.0	21.3
Hyola 50	151.7	137.3	18.3	11.0	42.0	29.3	37.3	20.3
Hyola 60	156.0	145.7	19.0	12.0	48.0	40.3	42.3	33.7
SAN 37	156.0	149.7	16.0	11.0	47.3	38.7	41.3	31.0
SAN34	155.7	145.3	21.3	9.0	51.3	35.7	44.7	28.0
Dalgan	151.3	137.0	18.3	13.3	47.7	31.7	41.3	22.7
Mean	153.8	142.1	18.9	11.2	47.1	34.3	41.2	26.2
LSD	1.51		3.27		2.33		2.27	

جدول ۷- ضرایب همبستگی صفات مورد مطالعه ژنوتیپ‌های کلزا در تاریخ کاشت متداول

Table 7- Correlation coefficients for studied traits of rapeseed genotyoes in conventional sowing date

	ارتفاع بوته Plant height (X1)	تعداد شاخه‌های فرعی Branches per plant (X2)	طول خورجین Silique length (X3)	خورجین در ساقه اصلی Siliques on the main raceme (X4)	تعداد خورجین در بوته Siliques per plant (X5)	تعداد دانه در خورجین Grain per silique (X6)	وزن هزار دانه 1000-seed weight (X7)	عملکرد دانه Seed yield (X8)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (X9)	روز تا شروع گلدهی Days to flowering (X10)	روز تا رسیدگی Days to maturity (X11)	طول دوره گلدهی Duration of flowering (X12)	خورجین دهی تا رسیدگی Duration of silique formation to maturity (X13)
X1	1												
X2	0.23^{ns}	1											
X3	0.22^{ns}	0.48*	1										
X4	0.55*	0.05^{ns}	-0.04^{ns}	1									
X5	0.40^{ns}	0.32^{ns}	-0.02^{ns}	0.69**	1								
X6	0.05^{ns}	0.33^{ns}	0.71**	-0.11^{ns}	-0.06^{ns}	1							
X7	0.09^{ns}	-0.15^{ns}	-0.02^{ns}	0.04^{ns}	-0.30^{ns}	0.20^{ns}	1						
X8	0.11^{ns}	0.36^{ns}	0.48*	-0.14^{ns}	-0.10^{ns}	0.75**	0.62**	1					
X9	0.41^{ns}	0.45^{ns}	0.37^{ns}	-0.02^{ns}	0.12^{ns}	0.45^{ns}	0.42^{ns}	0.79**	1				
X10	0.09^{ns}	0.14^{ns}	-0.29^{ns}	0.10^{ns}	0.30^{ns}	-0.47*	-0.37^{ns}	-0.47*	-0.30^{ns}	1			
X11	0.21^{ns}	0.25^{ns}	0.31^{ns}	0.33^{ns}	0.64**	0.09^{ns}	-0.61**	0.33^{ns}	-0.13^{ns}	0.34^{ns}	1		
X12	0.30^{ns}	0.07^{ns}	0.30^{ns}	0.46*	0.28^{ns}	0.38^{ns}	0.28^{ns}	0.47*	0.45^{ns}	-0.66**	-0.11^{ns}	1	
X13	-0.21^{ns}	0.07^{ns}	0.40^{ns}	0.03^{ns}	0.21^{ns}	0.44^{ns}	-0.30^{ns}	0.04^{ns}	-0.06^{ns}	-0.51*	0.53*	0.25^{ns}	1

ns: غیرمعنی‌دار، * و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns: Non-significant, * and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively

جدول ۸- ضرایب همبستگی صفات مورد مطالعه ژنوتیپ‌های کلزا در تاریخ کاشت تاخیری

Table 8- Correlation coefficients for studied traits of rapeseed genotypes in late sowing date

	ارتفاع بوته Plant height (X1)	تعداد شاخه‌های فرعی Branches per plant (X2)	طول خورجین Silique length (X3)	خورجین در ساقه اصلی Siliques on the main raceme (X4)	تعداد خورجین در بوته Siliques per plant (X5)	تعداد دانه در خورجین Grain per silique (X6)	وزن هزار دانه 1000-seed weight (X7)	عملکرد دانه Seed yield (X8)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (X9)	روز تا شروع گلدهی Days to flowering (X10)	روز تا رسیدگی Days to maturity (X11)	طول دوره گلدهی Duration of flowering (X12)	خورجین دهی تا رسیدگی Duration of silique formation to maturity (X13)
X1	1												
X2	0.43^{ns}	1											
X3	0.42^{ns}	0.24^{ns}	1										
X4	0.65**	0.28^{ns}	0.23^{ns}	1									
X5	0.65**	0.80**	0.16^{ns}	0.67**	1								
X6	0.46*	0.53*	0.76**	0.02^{ns}	0.28^{ns}	1							
X7	-0.65**	-0.24^{ns}	-0.26^{ns}	-0.57**	-0.45^{ns}	-0.08^{ns}	1						
X8	0.39^{ns}	0.39^{ns}	0.21^{ns}	0.60**	0.68**	0.18^{ns}	-0.21^{ns}	1					
X9	0.55*	0.47*	0.27^{ns}	0.63**	0.75**	0.27^{ns}	-0.38^{ns}	0.96**	1				
X10	0.60**	0.26^{ns}	0.48*	0.19^{ns}	0.35^{ns}	0.50*	-0.41^{ns}	0.34^{ns}	0.46*	1			
X11	0.68**	0.24^{ns}	0.27^{ns}	0.40^{ns}	0.42^{ns}	0.27^{ns}	-0.60**	0.08^{ns}	0.31^{ns}	0.54*	1		
X12	-0.73**	-0.42^{ns}	-0.45^{ns}	-0.38^{ns}	-0.58**	-0.47*	0.28^{ns}	-0.54*	-0.57**	-0.50*	-0.32^{ns}	1	
X13	0.46*	0.10^{ns}	-0.02^{ns}	0.32^{ns}	0.27^{ns}	0.00^{ns}	-0.46*	-0.14^{ns}	0.07^{ns}	0.07^{ns}	0.87**	-0.08^{ns}	1

ns: غیرمعنی‌دار، * و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns: Non-significant, * and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively

References منابع مورد استفاده

- Brunel-Muguet, S., Ph. D'Hooghe, M. Bataille, C. Larre, T. Kim, J. Trouverie, J. Avice, Ph. Etienne, and C. Durr. 2015. Heat stress during seed filling interferes with sulfur restriction on grain composition and seed germination in oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Frontiers in Plant Science*. 6(213): 1-12.
- Doori, S., M.R. Moradi Telavat, S.A. Siadat, and A. Bakhshandeh. 2015. Effect of delayed planting and foliar application of nitrogen on canola seed and oil yield in Ahvaz conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 17(2): 128-138. (In Persian).
- Fallah Heki, M.H., A. Yadavi, M. Movahhedi Dehnavi, and M. Bonyadi. 2012. Effect of planting date on physiological and morphological characteriistics of four canola cultivars in Yasouj. *Journal of Crop Production and Processing*. 2(4): 53-66. (In Persian).
- Fani, E., M. Nabipour, and A.Kh. Danaei. 2010. Study the effects of heat and drought at the end of the season on yield and yield components of sixteen canola varieties. *Journal of Plant Production*. 17(3): 67-79. (In Persian).
- 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: 132-140.
- Farooq, M., H. Bramley, J.A. Palta, and H.M. Siddique. 2011. Heat stress in wheat during reproductive and grain-filling phases. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 30: 1–17.
- Foroughi, A., A. Biabani, A. Rahemi Karizaki, and Gh.A. Rassam. 2019. Investigation the physiological traits associated with canola (*Brassica napus* L.) genotypes yield improvement. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 17 (1): 53-73. (In Persian).
- Gan, Y., S.V. Angadi, H. Cutforth, D. Potts, V.V. Angadi, and C.L. McDonald. 2004. Canola and mustard response to short periods of temperature and water stress at different developmental stages. *Canadian Journal of Plant Science*. 84: 697-404.
- Ghobadi, M., A. Bakhshandeh, Gh. Fathi, M.H. Gharineh, Kh. Alami-Saeed, and A. Naderi. 2006. Effects of sowing date and heat stress during flowering on yield and yield components in canola (*Brassica napus* L.) cultivars. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 8(1): 46-57. (In Persian).
- Hassanuzzaman, M., K. Nahar, M.M. Alam, R. Roychowdhury, and M. Fujita. 2013. Review: physiological, biochemical and molecular mechanisms of heat stress tolerance in plants. *International Journal of Molecular Sciences*. 14: 9643-9684.
- KalantarAhmadi, S.A., A. Ebadi, S.A. Siadat, and H. Tavakoli Hasanaklou. 2014. Effect of heat stress due to sowing date on grain yield of rapeseed cultivars in North Khuzestan conditions in Iran. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 16(1): 62-76. (In Persian).

- Khamadi, F., M.H. Gharineh, and A. Bakhshandeh. 2014. Influence of sowing dates on yield and yield component of rape forage cultivars under Ahvaz condition. *Agronomy Journal (Pajouhesh and Sazandegi)*. 104: 22-28. (In Persian).
- Khayat, M., and M. Gohari. 2009. Planting date effect on yield, seed yield, growth index and phonologic traits canola (*Brassica napus* L.) genotypes in Ahvaz condition. *New Finding in Agriculture*. 3(3): 233-248. (In Persian).
- Mirzaei, M., Sh. Dashti, M. Absalan, A. Siadat, and Gh. Fathi. 2011. Study the effect of planting dates on the yield, yield components and oil content of canola cultivars (*Brassica napus* L.) in Dehloran rejoin. *Journal of Crop Production.* 3(2): 159-176. (In Persian).
- Moradi Telavat, M., Z. Kazemi, and S.A. Siadat. 2016. Canola physiological, growth and yield response to boron application affected by heat stress due to late planting dates. *Journal of Crops Improvement*. 18(1): 55-67. (In Persian).
- Morrison, M.J., and D.W. Stewart. 2002. Heat stress during flowering in summer brassica. *Crop Sciences*. 42: 797–803.
- Mozafari, S., H. Pirdashti, M.A. Esmaili, V. Ramea, A. Heidarzade, and S.R. Mostafavian. 2010. Effect of planting date and source - sink limitation on grain yield and yield components in three rape seed (*Brassica napus* L.) cultivars. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 12(4): 482-498. (In Persian).
- 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: 453-463.
- Rahnema, A., and A. Bakhshande. 2005. Effect of sowing dates and direct seeding and transplanting methods on agronomic characteristics, and grain yield of canola under Ahvaz conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 7(4): 324-336. (In Persian).
- Safikhani, S., A. Biabani, A. Faraji, A. Rahimi-karizaki, and A. Gholizadeh. 2019. Study of phenological and physiolpgical traits associated with the seed yield in different canola (*Brassica napus* L.) cultivars. *Plant Production Technology*. 11(1): 161-172. (In Persian).
- Sylvester-Bradley, R., and R.J. Makepeace. 1984. A code for stage of development in oilseed Rape (*Brassica napus* L.). *Aspects of Applied Biology*. 6: 399-419.
- Young, L.W., R.W. Wilen, and P.C. Bonham-Smith. 2004. High temperature stress of *Brassica napus* during flowering reduces micro- and megagametophyte fertility, induces fruit abortion and disrupts seed production. *Journal of Experimental Botany*. 55(396): 485-495.
- Zareei Siahbidi, A., A. Rezaeizad, A. Asgari, and A.H. Shirani Rad. 2021. Evaluation of the response of spring canola (*Brassica napus* L.) cultivars to delay sowing dates. *Journal of Crop Ecophysiology*. 15(58): 251-264. (In Persian).

Research Article DOI: 10.30495/JCEP.2022.1899432.1687

The Effect of Heat Stress at the end of Season on Agronomic Characteristics and Yield of Rapeseed (*Brassica napus* L.) Genotypes in Ramhormoz

Sahar Kolahkaj [1] and Mahroo Mojtabaie Zamani [2]*

Received: May 2020 , Revised: 18 March 2021, Accepted: 13 June 2021

Abstract

Temperature during flowering and seed filling is a very important indicator for estimating the yield potential of rapeseed. In order to evaluate the effect of heat stress due to delay in sowing date on agronomic characteristics of different rapeseed genotypes (including, Hyola420, Hyola50, Hyola60, SAN37, SAN34 and Dalgan) two separate experiments on two Conventional sowing date (11th Nov.) and late sowing date (16th Dec.) each in the form of a randomized complete block design with three replications was carried out in the research farm of Islamic Azad University, Ramhormoz Branch, during the growing season of 2016 and 2017. Each sowing date was considered as an environment and the data were finally analyzed by combined analysis. The results showed that with delay in sowing date and the occurrence of heat stress at flowering and seed filling stages, the number of flowers on the main raceme, ratio of siliques produced per flowers produced, number of siliques per plant, and branches per plant, number of seeds per silique, 1000-seed weight, silique length, plant height and reproductive period decreased and led to significant reduction in seed yield. Reducing silique numbers per plant had the highest contribution to reducing seed yield. In conventional sowing date, seed yield in Hyola 420 and SAN 34 was higher than other genotypes. Under heat stress conditions due to delay in sowing, seed yield in Hyola50 followed by SAN34 was higher than other genotypes and Dalgan had the lowest seed yield. The lowest percentage of reduction seed yield was belonged to Hyola50 (55%) and the amount of stress susceptibility index in this genotype indicated that it was semi-tolerant to late season heat stress. In conventional sowing date, genotypes that quickly reached to the flowering stage but had a longer flowering period, had higher yields. In late sowing date, significant negative correlation was observed between the duration of flowering with number of siliques per plant, number of seeds per silique and seed yield. SAN 34 had high yield in both conventional and late sowing dates and is suggested as a suitable genotype for achieving stable yield in Ramhormoz region.

Key words: Genetic diversity, Late sowing date, Phenology, Stress susceptibility index.

1-Graduated MSc. Student of Agroecology, Department of Agriculture, Ramhormoz Branch, Islamic Azad University, Ramhormoz, Iran.
2- Assistant Professor, Department of Agriculture, Ramhormoz Branch, Islamic Azad University, Ramhormoz, Iran.
**Corresponding Author: mahroo.mojtabaei@gmail.com*