

اثر مواد ضد تعرق بر برخی از ویژگی‌های مورفولوژیکی، بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی کاملینا (*Camelina sativa*) در تاریخ‌های مختلف کاشت

چکیده

گیاه کاملینا به دلیل نیاز آبی و کودی کم، دارای روغن با کیفیت خوراکی مطلوب است. لذا این تحقیق با هدف بررسی تاثیر مواد ضد تعرق بر صفات مورفولوژیکی، بیوشیمیایی، فیزیولوژیکی و کیفیت روغن کاملینا در تاریخ‌های مختلف کاشت انجام شد. آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. چهار تاریخ کاشت (۱۵ فروردین، ۳۰ فروردین، ۱۵ اردیبهشت و ۳۰ اردیبهشت) به عنوان عامل اصلی و سطوح مختلف مواد ضد تعرق (سالیسیلیک اسید، سولفات روی، شاهد، پاکلوبوترازول و آترازین) به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج تحقیق نشان داد که اثر متقابل تاریخ کاشت و کاهنده‌های تعرق بر عملکرد دانه در سطح ۱ درصد معنی دار بود. بیشترین عملکرد دانه (۱۲۷۵/۵ کیلوگرم در هکتار) در تاریخ کاشت ۳۰ فروردین و مصرف سالیسیلیک اسید به دست آمد که ۶۳ درصد از کمترین عملکرد در تیمار شاهد (۷۳۸/۱ کیلوگرم در هکتار) و تاریخ کاشت ۳۰ اردیبهشت ماه بیشتر بود. اثر متقابل بر پرولین نیز معنی دار بود؛ بیشترین پرولین (۲/۶۹ میکرومول بر گرم وزن تر) در تاریخ کاشت ۳۰ اردیبهشت و مصرف سولفات روی مشاهده شد که ۴۲ درصد بیشتر از کمترین مقدار (۱۱/۹۱) در تیمار شاهد و تاریخ کاشت ۱۵ فروردین بود. در تمام تاریخ‌های کاشت، سولفات روی و سالیسیلیک اسید نسبت به سایر تیمارها باعث افزایش عملکرد دانه و پرولین شدند به طور کلی نتایج نشان داد تاخیر در کاشت باعث کاهش عملکرد کمی و کیفی کاملینا گردید، همچنین مصرف کاهنده‌های تعرق به ویژه سولفات روی و سالیسیلیک اسید احتمالاً از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌هایی مانند کاتالاز، تحمل گیاه را در برابر تنش گرمایی انتهایی فصل افزایش دادند.

کلمات کلیدی: تنش خشکی، کارتنوئید، کاملینا، کلروفیل، ضد تعرق.

Abstract

Camelina plant has favorable edible oil quality due to its low water and fertilizer requirements. Therefore, this research was conducted with the aim of investigating the effect of antitranspirants on morphological, biochemical, and physiological traits and oil quality of camelina at different planting dates. The experiment was carried out as a split-plot based on a randomized complete block design with three replications. Four planting dates (April 4th, April 19th, May 5th, and May 20th) were considered as the main factor, and different levels of antitranspirants (salicylic acid, zinc sulfate, control, paclobutrazol, and atrazine) were considered as the sub-factor. The results showed that the interaction effect of planting date and transpiration reducers on grain yield was significant at the 1% level. The highest grain yield ($1275.5 \text{ kg ha}^{-1}$) was obtained at the planting date of April 19th and the application of salicylic acid, which was 63% higher than the lowest yield in the control treatment (738.1 kg ha^{-1}) and the planting date of May 20th. The interaction effect on proline was also significant; the highest proline ($2.69 \mu\text{mol g}^{-1}$ fresh weight) was observed at the planting date of May 20th and the application of zinc sulfate, which was 42% higher than the lowest amount (1.91) in the control treatment and the planting date of April 4th. In all planting dates, zinc sulfate and salicylic acid increased grain yield and proline compared to other treatments. In general, the results showed that delayed planting reduced the quantitative and qualitative yield of camelina; also, the application of transpiration reducers, especially zinc sulfate and salicylic acid, possibly increased the plant's tolerance to end-of-season heat stress by enhancing the activity of enzymes such as catalase.

Keywords: Drought stress, Carotenoid, Camelina, Chlorophyll, Antitranspirant.

یکی از مهمترین فرآورده‌های غذایی که تأمین نیاز داخلی آن از اهمیت زیادی برخوردار است، روغن‌های خوراکی می باشد (Ali et al, 2022; Eyni et al., 2023). دانه‌های روغنی پس از غلات، دومین ذخایر غذایی جهان را تشکیل می‌دهند. کاملینا با نام علمی *Camelina sativa* گیاه دانه روغنی جدیدی است که در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. کاملینا گیاهی با دوره رشد کوتاه (۸۵ تا ۱۰۰ روز) است و به خوبی در آب و هوای معتدل و خاک سبک و متوسط رشد می کند (Haghaninia et al., 2024). بررسی آمار مصرف روغن در کشور نشان دهنده مصرف بالای این محصول نسبت به میزان مطلوب مصرف است و این موضوع تاثیر بسزایی در افزایش واردات روغن و دانه‌های روغنی طی سال‌های اخیر داشته است. در حال حاضر بیش از ۹۰ درصد میزان مصرف روغن نباتی کشور وابسته به واردات است؛ لذا معرفی گیاه کاملینا بعنوان یک گیاه سازگار با شرایط دیم می‌تواند سهم بسزایی در تولید روغن خوراکی داشته باشد (Ali et al, 2022). گیاه کاملینا از این حیث گیاهی ایده‌آل به شمار می‌رود به این علت که نسبت به سایر گیاهان روغنی از قبیل کلزا، احتیاجات آبی و غذایی کمتری داشته و نسبت به انواع تنش‌های زنده و غیر زنده تحمل بالایی دارد (Haghaninia et al., 2024). دانه کاملینا حاوی ۴۳-۳۸ درصد روغن و ۳۲-۲۷ درصد پروتئین می باشد. همچنین غلظت بالای (۳۶-۳۹ درصد) لینولنیک اسید (3-3) در پروفایل اسید چرب، کاملینا را به یک گیاه روغنی منحصر به فرد تبدیل می‌کند. معرفی گیاه کاملینا بعنوان یک گیاه سازگار با شرایط دیم و با حداقل نیاز کودی می‌تواند سهم بسزایی در تولید روغن خوراکی داشته باشد (Ali et al., 2022).

عوامل مدیریتی نقش مهمی در کمیت و کیفیت محصولات زراعی ایفا می‌کنند. در این میان، کمیت و کیفیت روغن در گیاهان دانه‌روغنی به زمان کاشت بسیار حساس است زیرا شرایط دمایی حاکم بر دوره پر شدن دانه عمدتاً تحت تأثیر تاریخ کاشت قرار دارد و با تغییر آن دچار تغییر می‌شود (Rahnama et al., 2026). بنابراین، تعیین تاریخ کاشت مناسب از مهم‌ترین عوامل مدیریتی در تولید موفق محصولات زراعی محسوب می‌شود. تاریخ کاشت بهینه زمانی است که مراحل رشد رویشی و زایشی گیاه بیشترین هماهنگی را با شرایط اقلیمی داشته باشند و گیاه در طول دوره رشد خود کمترین مواجهه را با تنش‌ها و شرایط نامساعد محیطی تجربه کند (Samieadel et al., 2022). تاریخ کاشت از جمله عوامل مدیریتی است که نسبت به سایر عوامل زراعی بیشترین تأثیر را بر ویژگی‌های فنولوژیکی و رشدی گیاهان می‌گذارد. بنابراین انتخاب تاریخ کاشت مناسب در مناطقی که دارای محدودیت‌های محیطی نظیر دمای بالای انتهای فصل رشد می‌باشند، بسیار حائز اهمیت است. چرا که تنش گرمایی ناشی از تاخیر در کاشت موجب بروز تغییرات گسترده فیزیولوژیکی و متابولیکی در گیاهان دانه‌روغنی می‌شود. این تغییرات شامل کاهش شاخص کلروفیل برگ و حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسنتز II، افزایش تجمع پرولین، تجمع گونه‌های اکسیژن واکنش گر، تغییر در فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان، کاهش شاخص پایداری غشای سلول (افزایش میزان نشت الکترولیت‌ها)، تسریع در رسیدگی و کاهش عملکرد دانه و روغن است (Salehi et al., 2023). یکی از پیامدهای تنش گرمای در گیاهان، افزایش تعرق و کاهش پتانسیل آب سلول و به طبع آن ایجاد تنش اکسیداتیو به واسطه ایجاد گونه‌های اکسیژن فعال است که لازم است گیاهان جهت ادامه رشد و نمو خود، از تنش اکسیداتیو ناشی از گرما مصون بمانند (Mali et al., 2024; Bahamin et al., 2019).

یکی از راه‌های کاهش از دست دادن آب، استفاده از ضد تعرق‌ها (Anti-transpiration) می‌باشد. این مواد با کاهش تعرق گیاه، مقدار آب مصرفی را کم و باعث کاهش تلفات آب از برگ‌های گیاه شده و سرعت انتشار بخار آب را کاهش می‌دهند. از طرفی، این مواد به صورت لایه‌ای روی برگ‌های گیاه قرار گرفته و تا اندازه‌ای از خروج بخار آب حاصل از بافت‌های درونی گیاه جلوگیری کرده ولی مانع تبادل گازی گیاه نمی‌شوند (Bahamin et al., 2021; Kamadi et al., 2016). همچنین مواد ضد تعرق از طریق بستن نسبی روزنه‌ها و افزایش تحمل به انتشار بخار آب از برگ‌ها، موجب افزایش پتانسیل آب درون سلول‌های برگ شده که لازمه رشد سلول‌های گیاهی است (Javadi et al., 2019). با توجه به مکانیسم عمل، مواد ضد تعرق به گروه‌های مختلفی تقسیم می‌شوند که شامل تشکیل دهنده فیلم (سطح برگ را با لایه نازکی که برای بخار آب غیرقابل عبور است می‌پوشانند)، مواد منعکس کننده نور (که بخشی از تابش نور خورشید را در سطح فوقانی برگ‌ها منعکس می‌کنند) و انواع مسدود کننده روزنه (که بر عملکرد متابولیک در بافت‌های برگ تأثیر می‌گذارد) (Haghaninia et al., 2024). امروزه طیف وسیعی از مواد ضد تعرق در صنعت کشاورزی مورد

استفاده قرار می‌گیرند که شامل مواد آلی و شیمیایی می‌باشند. از جمله این مواد، سالیسیلیک اسید^۱ می‌باشد، که بعنوان یک ماده شبه‌هورمونی، نقش مهمی در فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و تعرق دارد. همچنین باعث افزایش سرعت فتوسنتز و بهبود روابط آبی گیاه و از این طریق باعث تخفیف تنش رطوبتی می‌شود (Ilyas et al., 2024). این ترکیب همچنین در افزایش فعالیت سیستم دفاع آنتی اکسیدانسی تاثیر بسزایی دارد (Fathi and Bahamin, 2018).

پاکلوبوترازول نیز یکی دیگر از مواد ضد تعرق بوده که از طریق کاهش تعرق، ارتفاع، وزن خشک و سطح برگ گیاه و افزایش تحمل روزنه‌ای، سبب بهبود رشد گیاه در شرایط تنش خشکی می‌شود (Ahluwalia et al., 2021). آثار ضد تعرقی پاکلوبوترازول از طریق تاثیر بر روابط آبی و تغییرات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه نیز به اثبات رسیده است (Ahmad et al., 2024). از دیگر مواد کاهش دهنده تنش، سولفات روی می‌باشد. روی نقش اساسی در ساخت پروتئین‌ها، DNA، RNA و حفظ پایداری غشای سلول‌های ریشه ایفا می‌کند (Akram et al., 2017). روی از عناصر اصلی فعال کننده آنزیم‌های گلوتامات دهیدروژناز و سوپراکسید دیسموتاز می‌باشد. آنزیم سوپراکسید دیسموتاز از بین برنده عمده رادیکال‌های آزاد اکسیژن به کمک آنزیم کاتالاز یا آسکوربیک پراکسیداز می‌باشد (اثرهای سمی H₂O₂ با تبدیل شدن آن به H₂O و O₂ خنثی می‌شود) (Celi et al., 2023) و این فرآیندهای ذکر شده با تحمل گیاهان به تنش درجه حرارت بالا مرتبط است. آترازین^۴ از دیگر مواد ضد تعرق می‌باشد که در غلظت بالا بعنوان علف‌کش و در غلظت پایین‌تر بعنوان ماده ضد تعرق استفاده می‌شود. به منظور کاهش اثرات منفی تنش خشکی، مصرف برگی آترازین با غلظت کم به عنوان یک ماده ضد تعرق، با افزایش محتوای نسبی آب، هدایت مزوفیلی و سرعت فتوسنتز و کاهش دمای کانوپی می‌تواند بسیار سودمند واقع شود (Atia et al., 2021).

بنابراین پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر متقابل تاریخ کاشت و مواد ضد تعرق بر ویژگی‌های مورفولوژیکی، بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی کاملینا انجام شد.

با توجه به مطالب ذکر شده و لزوم توجه به معرفی گونه‌های روغنی جدید، کشت گیاه کاملینا در کنار استفاده از مواد ضد تعرق و انتخاب تاریخ کاشت مناسب می‌تواند در افزایش تولید روغن خوراکی در کشور نقش مهمی ایفا کند.

مواد و روش‌ها

این تحقیق بصورت دو ساله در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ و ۱۴۰۱-۱۴۰۲ در مزارع شهرستان ایوانغرب واقع در شمال استان ایلام با عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۴۹ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۸ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۱۰۰ متری از سطح دریا اجرا شد. به منظور تعیین خصوصیات خاک قبل از اجرای آزمایش نمونه‌گیری از عمق ۰-۳۰ سانتی متری خاک صورت گرفت و خصوصیات آن مورد آزمایش قرار گرفت. با توجه به نتایج بدست آمده، خاک زمین مورد آزمایش دارای بافت لومی رسی بود. نتایج تجزیه نمونه‌های خاک محل آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

Table 1. Some physicochemical properties of the studied soil.

کربنات کلسیم	کربن آلی	هدایت الکتریکی	pH	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	عمق نمونه‌برداری
معادل	carbon	EC		N	قابل دسترس	قابل دسترس	Depth of
CCE	Organic				P	K	sampling
-----%		dS m ⁻¹		%		mg kg ⁻¹	cm

۱۵/۵	۰/۷۶	۰/۹۵	۷/۳۴	۰/۰۳۲۱	۱۰/۵	۲۵۶	۳۰-۰

^۱ . Salicylic acid

^۲ . Paclobutrazol

^۳ . Zinc sulfate

^۴ . Atrazine

آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل چهار تاریخ کاشت (۱۵ فروردین، ۳۰ فروردین، ۱۵ اردیبهشت و ۳۰ اردیبهشت)، به عنوان عامل اصلی، و سطوح مختلف مواد ضد تعرق (سالیسیلیک اسید، سولفات روی، شاهد (عدم مصرف کاهنده تعرق)، پاکلوبوترازول و آترازین)، به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. محلول پاشی مواد کاهنده تعرق، شامل سالیسیلیک اسید با غلظت ۱ میلی‌مولار (Nayanakantha et al., 2014)، سولفات روی با نسبت ۴ در هزار لیتر آب (Sharifi & Mohammadkhani., 2025)، شاهد، پاکلوبوترازول با غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر (Kosáry & Nógrádi., 2010) و آترازین با غلظت ۱۰ میلی گرم در لیتر (Nguyen et al., 2020) در دو مرحله، یک بار قبل از گل دهی و بار دیگر بعد از گل دهی بوته‌ها، طبق تحقیقات قبلی انجام شد. به علت وجود بیشترین سطح سبز و همچنین بیشترین مقدار تعرق در مرحله گلدهی کاملینا، محلول پاشی مواد ضد تعرق در دوره مذکور توسط سمپاش دستی روی برگ‌های گیاه انجام شد.

زمین محل اجرای این آزمایش در سال زراعی قبل آیش بود. قبل از اجرای آزمایش، نمونه مرکب خاک به صورت تصادفی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متر از زمین محل اجرای آزمایش برداشت و به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه فرستاده شد. جهت نفوذپذیر شدن خاک یکبار عملیات شخم در پاییز بعد از اولین بارندگی پاییزه انجام و سپس عملیات شخم، دیسک و ماله در اوایل فروردین ماه سال ۱۴۰۰ انجام شد. کرت‌های آزمایش به ابعاد $3 \times 2/4$ متر ایجاد شد و هر کرت شامل دوازده ردیف کاشت به فاصله ۲۰ سانتی متر و فاصله ردیف ۵ سانتی متر از یکدیگر در نظر گرفته شد که در عمق سه سانتی متر به صورت کپه‌ای در تاریخ‌های ذکر شده کشت شد. بعد از استقرار گیاه عملیات تنک کردن گیاهچه‌های مازاد و مبارزه با علف‌های هرز به صورت وحین دستی انجام شد.

مزرعه به فاصله هر ۴ روز یکبار تا زمان سبز شدن آبیاری شد. زمانی که طول گیاهچه‌ها به حد کافی رسید و خطر حمله آفات یا بیماری‌ها کاسته شده بود، عملیات تنک کردن و وحین علف‌های هرز هم به صورت دستی در چند مرحله صورت گرفت. برداشت با توجه به صفات مورد بررسی در آزمایش در دو مرحله، یکی هنگام گلدهی و دیگری وقتی که دانه‌ها کاملاً رسیده بودند و تمام اندام‌های گیاهی خشک شده بودند، انجام شد.

نمونه‌برداری از گیاه جهت اندازه‌گیری صفات بیوشیمیایی (شامل فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز) در مرحله گلدهی و به فاصله دو روز بعد از محلول پاشی با مواد ضد تعرق انجام گرفت. در پایان فصل رشد جهت برآورد صفات عملکرد (عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک)، صفات مورفولوژیک (ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد شاخه فرعی)، بوته‌های مورد نظر انتخاب و مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

ارتفاع بوته: با خط کش از کف خاک تا آخرین مریستم بر حسب سانتی‌متر اندازه‌گیری می‌شود.

عملکرد بیولوژیک: در مرحله رسیدگی کامل، با استفاده از یک پلات یک متر مربعی از بوته‌های وسط هر کرت مشخص شد و از سطح خاک کف بر شدند و نمونه‌ها در سایه خشک شد. بعد از توزین، عملکرد بیولوژیک به کیلوگرم در هکتار تعیین داده شد.

فعالیت آنزیم کاتالاز: برای تهیه عصاره آنزیمی، ۲۰۰ میلی گرم بافت سبز برگ با ۴ میلی لیتر بافر استخراج فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی مولار با $\text{pH}=7$ در هاون چینی ساییده شده و سپس با کاغذ صافی صاف گردید. محلول صاف شده با سرعت ۱۶ هزار دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد. برای سنجش میزان فعالیت آنزیمی، فاز رویی مورد استفاده قرار گرفت. برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز، ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیم با $2/8$ میلی لیتر بافر فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی مولار ($\text{pH}=7$) و ۳۰۰ میکرولیتر پراکسید هیدروژن مخلوط شد. مخلوط به دست آمده با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۲۴۰ نانومتر به مدت ۲ دقیقه قرائت گردید. مقدار فعالیت آنزیم کاتالاز با استفاده از ضریب خاموشی $39/4 \text{ mM}^{-1}\text{cm}^{-1}$ و از تقسیم فعالیت حجمی کاتالاز بر میزان پروتئین عصاره به دست آمد (Beers and Sizer, 1952).

فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز: برای سنجش فعالیت این آنزیم، ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیم با $2/8$ میلی لیتر بافر فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی مولار ($\text{pH}=7$)، ۳۰۰ میکرولیتر پراکسید هیدروژن و آسکوربات ۵ میلی مولار مخلوط شد. جذب مخلوط‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۲۹۰ نانومتر خوانده شد. ضریب خاموشی آسکوربات پراکسیداز $2/8 \text{ mM}^{-1}\text{cm}^{-1}$ است و یک واحد از فعالیت آن نشان‌دهنده مقدار آنزیمی است که برای اکسید کردن یک میکرومول آسکوربات در یک دقیقه نیاز می‌باشد (Yoshimura et al., 2000).

رنگی‌های فتوسنتزی: برای سنجش مقدار کلروفیل و کارتنوئید، برگ‌ها با استون ۸۰٪ استخراج شده و جذب‌پذیری عصاره در طول‌موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر با اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. مقدار کلروفیل a (فرمول ۱) و b (فرمول ۲) طبق فرمول آرنون به دست آمد (Arnon., 1949).

$$\text{Chlorophyll a} = [12.7 \times (A_{663}) - 2.69 \times (A_{645})] \times V / (100 \times W) \quad \text{معادله (۱)}$$

$$\text{Chlorophyll b} = [22.9 \times (A_{645}) - 4.68 \times (A_{663})] \times V / (100 \times W) \quad \text{معادله (۲)}$$

$$\text{Carotenoid} = [1000 \times (A_{470}) - 1.8 \text{chl a} - 85.02 \text{chl b}] / 198 \quad \text{معادله (۳)}$$

در این معادلات A663 و A645، A470 به ترتیب طول موج‌های ۴۷۰، ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر، V حجم نهایی نمونه ۱۰ میلی‌لیتر و W وزن تر برگ ۰/۵ گرم است. در نهایت داده‌ها بر اساس میلی‌گرم بر گرم بافت تازه برگ ثبت شدند. محتوای پرولین: اندازه‌گیری مقدار پرولین برگ به شرح زیر انجام شد: ابتدا ۰/۰۵ گرم از بافت برگ در ۵ میلی‌لیتر محلول اسید سولفوسالسیلیک ۳ درصد به خوبی ساییده شده و محلول به دست آمده با کاغذ صافی صاف گردید. ۳ میلی‌لیتر از عصاره صاف شده با ۲ میلی‌لیتر محلول اسید ناین هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک مخلوط شد. مخلوط به دست آمده به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و پس از آن لوله‌ها به حمام یخ انتقال داده شدند. سپس ۶ میلی‌لیتر تولوئن به لوله‌ها اضافه گردید و لوله‌ها به خوبی تکان داده شدند. پس از حدود ۲۰ ثانیه دو فاز مجزا تشکیل شد. از فاز رویی برای تعیین میزان پرولین در طول موج ۵۲۹ نانومتر استفاده گردید (Bates et al., 1973).

جهت بررسی همگنی واریانس‌ها ابتدا آزمون بارتلت توسط نرم‌افزار SAS نسخه ۹٫۱ انجام شد و سپس، تجزیه مرکب داده‌های آزمایش توسط آزمون F انجام گردید. مقایسه میانگین اثرات اصلی به روش دانکن در سطح احتمال ۵ درصد و در صورت معنی‌دار بودن برهمکنش، برش‌دهی انجام شد و میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل تفاوت آماری معنی‌دار مقایسه گردیدند. نمودارها نیز با کمک نرم‌افزار اکسل نسخه ۲۰۲۱ رسم شد.

بحث و نتایج

صفات مورفولوژیک

ارتفاع بوته

نتایج آزمون بارتلت نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین سال‌های آزمایش در خصوص تمام صفات مشاهده نشد، بنابراین برای تمام صفات تجزیه واریانس مرکب انجام شد. یافته‌های حاصل از تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر متقابل تاریخ کاشت و کاهنده‌های تعرق بر ارتفاع بوته معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها بیانگر آن بود که در تاریخ کاشت ۳۰ فروردین ماه و مصرف سولفات روی ارتفاع بوته به مقدار ۱۰۹/۱ سانتیمتر به دست آمد که ۳۴ درصد از کمترین ارتفاع بوته در تاریخ کاشت ۳۰ اردیبهشت ماه و مصرف آتزازین (۷۵/۲ سانتیمتر) بیشتر بود. در تمامی تاریخ‌های کاشت مصرف سولفات روی نسبت به سایر کاهنده‌های تعرق موجب افزایش این شاخص شد و مصرف آتزازین نیز کمترین مقدار را تولید کرد. همچنین به طور کلی بیشترین ارتفاع بوته در تاریخ کاشت ۳۰ فروردین ماه به دست آمد (جدول ۳).

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب صفات مورفولوژیک برخی صفات تحت تاثیر کاهنده‌های تعرق و تاریخ کاشت

میانگین مربعات			
منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد شاخه فرعی	ارتفاع بوته
سال	۱	۸۰/۷۵ ns	۱۱/۶۸ ns
تکرار (سال)	۴	۵۵۰/۱	۵/۸۹
تاریخ کاشت	۳	۷۸۵/۲ **	۱/۱۲ **
سال × تاریخ کاشت	۳	۲۱۴/۳ ns	۰/۳۹ ns
خطای آ (تاریخ کاشت)	۱۲	۱۷۳۰/۹	۱۰/۹۶
کاهنده تعرق	۴	۳۴۵/۸۹ **	۱۴/۶۰ **
سال × کاهنده تعرق	۴	۱۵/۹۷ ns	۰/۰۷ ns
تاریخ کاشت × کاهنده تعرق	۱۲	۹۸۴/۲۰ **	۱/۱۲ **
سال × تاریخ کاشت × کاهنده تعرق	۱۲	۲۱۵/۵۰ ns	۰/۲۸ ns
خطای کل	۶۴	۲۹۶/۵۰	۰/۱۸

*, **, ns: به ترتیب بیانگر معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و عدم تفاوت معنی دار

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت و کاهنده‌های تعرق بر برخی صفات

تاریخ کاشت	کاهنده‌های تعرق	ارتفاع (سانتیمتر)	تعداد شاخه فرعی	گرم بر گرم وزن کلروفیل آ (میلی تر)
۱۵ فروردین	سولفات روی	۸۷/۰۵ i	۸/۷ h	۶ ef
	آترازین	۸۰/۱ m	۶/۷۵ n	۴/۹۲ jk
	پاکلوبوترازول	۸۸/۳۶ h	۷/۶۵ jk	۵/۵۸ g
	شاهد	۸۲/۳۴ l	۷/۳۵ l	۵/۳۹ gh
	سالیسیلیک اسید	۸۵/۴۲ k	۸/۱ i	۵/۲۵ hi
۳۰ فروردین	سولفات روی	۱۰۹/۱ a	۱۰/۲۳ b	۷/۲۴ a
	آترازین	۹۷/۹۹ f	۸/۶۳ h	۵/۹۱ f
	پاکلوبوترازول	۱۰۱/۵۷ d	۹/۹ c	۶/۶۵ c
	شاهد	۹۸/۲۴ f	۹/۳۵ de	۶/۱۶ de
	سالیسیلیک اسید	۱۰۲/۶ c	۱۱ a	۶/۲۶ d
۱۵ اردیبهشت	سولفات روی	۱۰۳/۷۶ b	۹/۰۱ fg	۷/۴۶ a
	آترازین	۹۲/۵۵ g	۸/۸۴ gh	۶/۲۹ d
	پاکلوبوترازول	۹۹/۳ e	۹/۱۹ ef	۶/۹۴ b
	شاهد	۹۹/۸۴ e	۷/۸ j	۶/۵۶ c
	سالیسیلیک اسید	۹۷/۷۸ f	۹/۵۳ d	۶/۷۵ bc
۳۰ اردیبهشت	سولفات روی	۸۶/۲۹ j	۷/۵۱ kl	۵/۴۶ gh
	آترازین	۷۵/۲۲ o	۶/۶۶ n	۴/۸۳ k
	پاکلوبوترازول	۸۲/۵۵ l	۸/۲۲ i	۵/۳۵ ghi
	شاهد	۷۶/۷۵ n	۷/۰۸ m	۵/۱۱ ij
	سالیسیلیک اسید	۷۹/۶۷ m	۷/۶۵ jk	۵/۲۵ hi

میانگین‌های هر ستون که دارای حروف مشترک هستند، اختلاف آماری معنی داری در سطح ۵ درصد توسط آزمون دانکن ندارند.

تاریخ کاشت دیر هنگام در منطقه موجب همزمان شدن مراحل نهایی رشد با گرمای هوا و تنش خشکی شده است. لذا انباشت پرولین به عنوان متابولیت ثانویه نقش بسیار مؤثری در تطابق و سازگاری گیاه با شرایط خشکی ناشی از تاریخ کاشت دیر هنگام دارد که این تطابق باعث افزایش ارتفاع بوته و طبیعتاً افزایش ارتفاع می‌شود (Eyni et al., 2023). تاریخ کاشت به موقع می‌تواند به افزایش ارتفاع گیاه منجر شود به دلیل تأثیرهای متعددی که بر رشد گیاه اعمال می‌کند. تاریخ کاشت به موقع، گیاه را در شرایط محیطی مطلوب قرار می‌دهد. نور و دما به عنوان عوامل مهم در رشد گیاه‌ها تأثیر دارند. زمان مناسب کاشت، تضمین می‌کند که گیاهان از نور و گرما بهره کافی ببرند. تاریخ کاشت به موقع می‌تواند باعث افزایش طول روز مخصوصاً در فصل رشد گیاه شود. این موجب افزایش فعالیت رشدی و ارتفاع گیاه می‌شود (Esfandiarfateh et al., 2019).

به نظر می‌رسد سالیسیلیک اسید؛ تقسیم سلولی را درون مریستمهای گیاه افزایش داده و به این طریق موجب بهبود رشد گیاه شده است. سالیسیلیک اسید از طریق آماس مناسب سلولها، افزایش تقسیم، طولیل شدن و تمایز سلولی، تخصیص بیشتر مواد سنتز شده جهت رشد و طولانی تر شدن دوره رشد گیاه، می‌تواند باعث توسعه عادی سلولها و در نتیجه افزایش ارتفاع گیاه شود. سولفات روی نیز به عنوان یک کود معدنی حاوی عنصر روی می‌تواند به افزایش ارتفاع بوته گیاهان منجر شود (Soltani et al., 2021). روی یکی از عناصر معدنی ضروری برای گیاهان است. این عنصر در فرآیندهای مهمی مانند فتوسنتز و تولید کلروفیل نقش دارد. افزودن سولفات روی به خاک می‌تواند تأثیر مثبتی بر رشد و توسعه گیاه داشته باشد. سولفات روی می‌تواند فعالیت آنزیمهای مختلف در گیاهان افزایش دهد، که به بهبود فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاهی مانند تبدیل انرژی و تولید مواد غذایی موجب افزایش ارتفاع بوته می‌شود (Sharma et al., 2024). مصرف سولفات روی می‌تواند به افزایش پهنای برگ و قطر ساقه گیاه منجر شود، که در نهایت منجر به افزایش ارتفاع بوته می‌شود. در نتیجه، افزودن سولفات روی به خاک به عنوان کود معدنی می‌تواند به بهبود رشد و ارتفاع بوته گیاهان کمک کند (Soltani et al., 2024).

تعداد شاخه فرعی

نتایج نشان داد که اثر متقابل تاریخ کاشت و کاهنده‌های تعرق بر تعداد شاخه فرعی معنی‌دار بود (جدول ۲). یافته‌ها بیانگر آن بود که در تاریخ کاشت ۳۰ فروردین ماه و مصرف سالیسیلیک اسید، تعداد شاخه فرعی به مقدار ۱۱/۰ عدد به دست آمد که ۸۴ درصد از کمترین تعداد شاخه فرعی در تاریخ کاشت ۳۰ اردیبهشت ماه و مصرف آترازین (۶۶۶ عدد) بیشتر بود. در تاریخ کاشت ۳۰ فروردین ماه و مصرف سولفات روی، تعداد شاخه فرعی به مقدار ۱۰/۲۳ عدد به دست آمد که در رده دوم قرار داشت. بنابراین مصرف سولفات روی هم ارتفاع و تعداد شاخه فرعی مناسبی تولید کرد. در تمامی تاریخهای کاشت مصرف سالیسیلیک اسید یا سولفات روی نسبت به سایر کاهنده‌های تعرق موجب افزایش این شاخص شد و اغلب شاهد یا آترازین نیز کمترین مقدار را تولید کرد. به طور کلی بیشترین تعداد شاخه فرعی در تاریخ کاشت ۳۰ فروردین ماه به دست آمد (جدول ۳).

زمان کاشت، به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل مدیریتی، با هماهنگ‌سازی چرخه رشد گیاه با الگوهای فصلی دما، فتودوره و رطوبت خاک، ساختار ریخت‌شناختی بوته را تحت تأثیر قرار می‌دهد. کاشت به موقع، ضمن کاهش مواجهه گیاه با تنش‌های ابتدای فصل، پنجره زمانی مطلوبی را برای حداکثر دریافت تشعشع مؤثر و تعادل هیدریک فراهم می‌آورد که خود پیش‌شرط لازم برای تمایز جوانه‌های جانبی و افزایش تعداد شاخه‌های فرعی است (Mali et al., 2024). از دیدگاه فیزیولوژیکی، تاریخ کاشت بهینه با تعدیل نسبت منبع به مخزن و بهبود انتقال مواد فتوسنتزی به مریستم‌های جانبی، سبب کاهش غالبیت انتهایی و تحریک انشعاب‌پذیری می‌شود. به عبارت دیگر، هم‌زمانی دوره رویشی با شرایط مساعد محیطی، امکان بروز پتانسیل ژنتیکی گیاه در تولید شاخه‌های فرعی را افزایش می‌دهد (Samieadel et al., 2024).

دما به عنوان یک محرک غیرزیستی، هم به طور مستقیم بر سرعت تقسیم سلولی و طولیل شدن سلول‌ها اثر می‌گذارد و هم به طور غیرمستقیم از طریق القای تنش حرارتی یا سرمایی، مسیرهای پیام‌رسانی هورمونی را دستخوش تغییر می‌کند. بر اساس یافته‌های Javadi et al. (2019)، تغییرات دمایی در دوره برداشت یا مراحل حساس نمو، با تعدیل بیان ژن‌های دخیل در مسیر اکسین و سیتوکینین، می‌تواند به مهار نسبی رشد رأسی و متعاقباً فعال‌سازی رشد جوانه‌های خفته منجر گردد. این پاسخ تطابقی، که نوعی سازوکار فرار از تنش یا جبران رشد به شمار می‌رود، در بسیاری از گونه‌های زراعی و باغی با افزایش تعداد انشعابات جانبی همراه بوده است.

در سطح مولکولی، انشعاب‌زایی تابعی از برهم‌کنش پیچیده هورمون‌های درون‌زا است. در این میان، کاربرد خارجی ترکیباتی مانند اسید سالیسیلیک و سولفات روی، به‌عنوان تنظیم‌کننده‌های غیرهورمونی یا شبه‌هورمونی، می‌تواند با تأثیر بر محور سیگنالینگ اکسین-سیتوکینین، تعادل هورمونی را به سمت افزایش تمایز جوانه‌های جانبی تغییر دهد. (Li et al. (2023 نشان دادند که اسید سالیسیلیک از طریق القای پروتئین‌های شوک حرارتی و مهار مسیرهای تنش اکسایشی، ضمن کاهش اثرات مضر تنش‌های محیطی، فعالیت آنزیم‌های کلیدی مانند پراکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز را افزایش می‌دهد که این امر به‌نوبه خود بر تقسیم سلولی در مرستم‌های جانبی تأثیر مثبت می‌گذارد. به‌طور مشابه، سولفات روی با مشارکت در ساختار آنزیم‌های اکسیدوروکتاز و تنظیم بیوسنتز تریپتوفان (پیش‌ماده اکسین)، به‌طور غیرمستقیم در معماری بوته نقش‌آفرینی می‌کند.

صفات فیزیولوژیک و بیوشیمایی

فعالیت آنزیم کاتالاز

نتایج نشان داد که اثر اصلی کاهنده‌های تعرق بر فعالیت آنزیم کاتالاز معنی‌دار بود ولی اثر اصلی تاریخ کاشت و اثر متقابل تاریخ کاشت و کاهنده‌های تعرق بر این شاخص معنی‌دار نبود (جدول ۴).

جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب صفات فیزیولوژیک و بیوشیمایی تحت تأثیر کاهنده‌های تعرق و تاریخ کاشت

میانگین مربعات						
منابع تغییرات	درجه آزادی	فعالیت آنزیم کاتالاز	فعالیت آنزیم پراکسیداز	کلروفیل آ	کلروفیل ب	پرولین
کارتنوئید						
سال	۱	۲۵۳/۲۵ ns	۰/۲۱۰ ns	۰/۲۵۰ ns	۰/۰۹۰ ns	۰/۱۵۶ ns
تکرار (سال)	۴	۱۷۸۶/۸	۰/۳۳۳	۰/۳۳۷	۰/۰۴۶	۰/۱۱۵
تاریخ کاشت	۳	۴۷/۵ ns	۰/۰۳۲ ns	۱/۱۲۰ **	۰/۰۹۸ **	۲/۲۴۰ **
سال × تاریخ کاشت	۳	۲۵/۱ ns	۰/۰۲۴ ns	۰/۱۹۰ ns	۰/۰۲۲ ns	۰/۰۷۸ ns
خطای آ (تاریخ کاشت)	۱۲	۳۰۳۷/۸	۰/۵۸۲	۱/۲۸۴	۰/۰۱۳	۱/۰۸۶
کاهنده تعرق	۴	۶۴۱/۰ **	۰/۱۱۰ **	۴/۷۹۲ **	۰/۱۷۹ **	۱/۵۸ **
سال × کاهنده تعرق	۴	۱۴/۸ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۲۳ ns	۰/۰۰۲ ns	۰/۰۰۲ ns
تاریخ کاشت × کاهنده تعرق	۱۲	۹۵/۵ ns	۰/۰۱۳ ns	۱/۱۴۰ **	۰/۰۹۸ **	۲/۲۳۰ **
سال × تاریخ کاشت × کاهنده تعرق	۱۲	۸۳/۷ ns	۰/۰۱۵ ns	۰/۱۱۷ ns	۰/۰۰۵ ns	۰/۰۴۵ ns
خطای کل	۶۴	۴۰۵/۶	۰/۱۱۳	۰/۲۹۰	۰/۰۱۰	۰/۱۸۱

ns: بترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و عدم تفاوت معنی‌دار

مقایسه میانگین اثر اصلی کاهنده‌های تعرق بر مقدار فعالیت آنزیم کاتالاز حاکی از آن بود که بیشترین مقدار این شاخص در تیمار مصرف پاکلوپوترازول به مقدار ۱۹۸/۱ میکرومول پراکسید هیدروژن تجزیه‌شده در دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین حاصل شد. کمترین مقدار این شاخص نیز در تیمار مصرف آترازین به مقدار ۱۸۴/۲ میکرومول پراکسید هیدروژن تجزیه‌شده در دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین به دست آمد. سالیسیلیک اسید نیز در مکان دوم قرار داشت و اختلاف آماری معنی‌داری با تیمار برتر داشت (جدول ۵).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر اصلی تاریخ کاشت و کاهنده‌های تعرق بر برخی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی و مقدار روغن

تیمار	فعالیت آنزیم کاتالاز (میکرومول پراکسید هیدروژن تجزیه شده در دقیقه بر میلی گرم پروتئین)	فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (میکرومول آسکوربات اکسید شده در دقیقه بر میلی گرم پروتئین)	روغن (درصد)	کارت نوئید (میلی گرم بر گرم وزن تر)	سولفات روی	کاهنده- های تعرق
۱۵ فروردین	۱۸۸/۴	۱/۹۸	22.10 c	5.21	۲/۰۰ b	۱۹۱/۴ bc
۳۰ فروردین	۱۹۳/۴	۲/۰۱	23.23 b	5.27	۱/۹۲ c	۱۸۴/۲ d
۱۵ اردیبهشت	۱۸۹/۱	۱/۹۳	24.12 a	5.16	۱/۹۹ b	۱۹۸/۱ a
۳۰ اردیبهشت	۱۸۷/۶	۱/۸۴	23.25 b	5.14	۱/۸۵ d	۱۸۸/۴ c
سولفات روی	۱۹۱/۴ bc	۲/۰۰ b	24.1 a	5.23 b	۲/۱۲ a	۱۹۲/۲ b
آنراژین	۱۸۴/۲ d	۱/۹۲ c	22.1 c	4.96 d		
پاکلوترازول	۱۹۸/۱ a	۱/۹۹ b	23.2 b	5.25 b		
شاهد	۱۸۸/۴ c	۱/۸۵ d	22.00 c	5.17 c		
سالیسیلیک اسید	۱۹۲/۲ b	۲/۱۲ a	23.8 ab	5.37 a		

میانگین‌های هر گروه تیماری که دارای حروف مشترک هستند، اختلاف آماری معنی داری در سطح ۵ درصد توسط آزمون دانکن ندارند.

پاکلوترازول یا سالیسیلیک اسید دو ترکیب شیمیایی هستند و این ترکیبات می‌توانند به گیاه کمک کنند تا بهتر به استرس‌های محیطی، مانند تغییرات دما، بیماری‌ها یا آفات، تحمل نشان دهند (Soltani et al., 2023). مکانیسم افزایش مقدار یا فعالیت آنزیم کاتالاز به عنوان یک آنزیم آنتی‌اکسیدان توسط این ترکیبات مختلف است. آنزیم کاتالاز در گیاهان نقش مهمی در تجزیه پراکسید هیدروژن (H_2O_2) دارد که یکی از فرآورده‌های ضروری در گیاهان است (Mishra et al., 2023). هیدروژن پراکسید یک اکسیدان قوی است که می‌تواند به گیاهان آسیب بزند اگر به میزان زیادی تولید شود. آنزیم کاتالاز می‌تواند این H_2O_2 را به آب و اکسیژن تجزیه کرده و از گیاه در برابر آسیب‌های احتمالی ناشی از اکسیدان‌ها محافظت کند. از طرفی، افزایش عملکرد دانه نیز ممکن است به دلیل تاثیرات این ترکیبات بر رشد و توسعه گیاهات باشد. افزایش مقدار کاتالاز و کنترل بهتر میزان H_2O_2 می‌تواند به بهبود فعالیت سلولی و سلولی (Eyni et al., 2023)، افزایش عملکرد و کاهش خطرات ناشی از استرس‌های محیطی کمک کند (Zonouri et al., 2014). این موارد می‌توانند به بهبود کیفیت و کمیت محصول، اعم از دانه یا سایر اجزای گیاه، را تضمین کنند. افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز توسط پاکلوترازول یا سالیسیلیک اسید ممکن است منجر به تحمل بیشتر گیاه در برابر استرس‌های محیطی، بهبود فعالیت سلولی و در نتیجه افزایش عملکرد و کیفیت محصولات گیاهی مانند دانه‌ها باشد (Sharma et al., 2024).

فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز

نتایج نشان داد که اثر اصلی کاهنده‌های تعرق بر فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز معنی دار بود ولی اثر اصلی تاریخ کاشت و اثر متقابل تاریخ کاشت و کاهنده‌های تعرق بر این شاخص معنی دار نبود (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر اصلی کاهنده‌های تعرق بر مقدار فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز حاکی از آن بود که بیشترین مقدار این شاخص در تیمار مصرف سالیسیلیک اسید به مقدار ۲/۱۲ میکرومول آسکوربات اکسید شده در دقیقه بر میلی گرم پروتئین شد. کمترین مقدار این شاخص نیز در تیمار شاهد به مقدار ۱/۸۵ میکرومول آسکوربات اکسید شده در دقیقه بر میلی گرم پروتئین به دست آمد. سولفات روی نیز در مکان دوم قرار داشت (جدول ۵).

افزایش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز توسط سالیسیلیک اسید و سولفات روی در گیاهان می‌تواند به تنظیم واکنش گیاه در مقابل استرس‌های محیطی کمک کند. این آنزیم نقش مهمی در تعادل واکنش‌های آنتی‌اکسیدانی دارد که می‌تواند گیاه را در برابر تولید رادیکال‌های آزاد محافظت کند. این تنظیمات می‌توانند منجر به بهبود عملکرد گیاهان در شرایط استرسی، مانند تنش‌های محیطی یا دوره‌های خشکی، شود (Sultan et al., 2023). افزایش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز توسط سالیسیلیک اسید در

گیاهان ممکن است به دلیل تنظیم واکنش آن‌ها در مقابل استرس‌های محیطی باشد. این افزایش می‌تواند به بهبود تحمل گیاهان در برابر تغییرات محیطی مانند نمک، تنش‌های خشکی یا حتی بیماری‌ها کمک کند. سالیسیلیک اسید (SA) به عنوان یک تنش واکنشی در گیاهان شناخته می‌شود. زمانی که گیاه با تنشی مانند کم‌آبی روبه‌رو می‌شود، SA می‌تواند به عنوان یک مولکول سیگنالینگ واکنش فعال‌کننده برای فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند آسکوربات پراکسیداز عمل کند (Haghaninia et al., 2024). این مولکول می‌تواند میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند آسکوربات پراکسیداز را افزایش دهد. به طور خاص، در شرایط تنشی مانند کم‌آبی، SA باعث افزایش میزان فعالیت آسکوربات پراکسیداز می‌شود، که این فعالیت به عنوان یک واکنش دفاعی در برابر تنش‌های محیطی مهم است (Kamadi et al., 2016). ممکن است به عنوان یک تنظیم‌کننده در فعالیت آنزیمی اعمال عمل کند و فعالیت آسکوربات پراکسیداز را تقویت کند. این تقویت فعالیت می‌تواند بخشی از پاسخ گیاه به تنش‌های محیطی باشد. مطالعات نشان داده‌اند که SA می‌تواند فعالیت آسکوربات پراکسیداز را افزایش دهد. این افزایش فعالیت ممکن است ناشی از مواجهه با تنش خشکی و تنش کم‌آبی نباشد و در شرایط عادی هم رخ دهد (Maleki et al., 2020).

کلروفیل آ

نتایج نشان داد که اثر متقابل تاریخ کاشت و کاهنده‌های تعرق بر مقدار کلروفیل آ معنی‌دار بود (جدول ۴). یافته‌ها بیانگر آن بود که در تاریخ کاشت ۱۵ اردیبهشت ماه و مصرف سولفات روی کلروفیل آ به مقدار ۷/۴۶ میلی گرم بر گرم وزن تر به دست آمد که ۷۸ درصد از کمترین کلروفیل آ در تاریخ کاشت ۳۰ اردیبهشت ماه و مصرف آترازین (۴/۸۳ میلی گرم بر گرم وزن تر) بیشتر بود. در تمامی تاریخ‌های کاشت مصرف سولفات روی نسبت به سایر کاهنده‌های تعرق موجب افزایش این شاخص شد و مصرف آترازین نیز کمترین مقدار را تولید کرد. همچنین به طور کلی بیشترین کلروفیل آ در تاریخ کاشت ۱۵ اردیبهشت ماه به دست آمد ولی اختلاف چندانی با ۲۰ فروردین ماه نداشت. کمترین مقدار نیز در تاریخ کاشت ۳۰ اردیبهشت ماه حاصل شد (جدول ۳). سولفات روی می‌تواند در فرایندهای فتوسنتز و ساخت کلروفیل نقش داشته باشد. این ماده می‌تواند فرایندهای سنتز کلروفیل را تسریع کند و بهبود بخشیده، که در نتیجه، مقدار کلروفیل آ افزایش می‌یابد. سولفات روی نقش مهمی در فعالیت آنزیم‌هایی که در فرایند ساخت کلروفیل وارد هستند دارد (Samieadel et al., 2024). این فعالیت‌ها باعث افزایش ساخت کلروفیل و افزایش مقدار کلروفیل آ می‌شود. سولفات روی می‌تواند به عنوان یک ناخنکار در ساختارهای کلروفیلی گیاه عمل کند و به دقت فرایندهای متابولیکی مرتبط با ساخت کلروفیل را تنظیم کند. این افزایش مقدار کلروفیل آ در نتیجه تعاملات سلولی و فرایندهای متابولیکی تحت تأثیر مصرف سولفات روی در گیاهان رخ می‌دهد (Ghadimezhad Shrade et al., 2023).

کلروفیل ب

نتایج نشان داد که اثر متقابل تاریخ کاشت و کاهنده‌های تعرق بر مقدار کلروفیل ب معنی‌دار بود (جدول ۴). یافته‌ها بیانگر آن بود که در تاریخ کاشت ۱۵ اردیبهشت ماه و مصرف پاکلوبوترازول، کلروفیل ب به مقدار ۱/۶۳ میلی گرم بر گرم وزن تر به دست آمد که ۶۷ درصد از کمترین کلروفیل ب در تاریخ کاشت ۳۰ اردیبهشت ماه و شاهد (۱/۱ میلی گرم بر گرم وزن تر) بیشتر بود. در تمامی تاریخ‌های کاشت مصرف پاکلوبوترازول یا سولفات روی نسبت به سایر کاهنده‌های تعرق موجب افزایش این شاخص شد و شاهد یا آترازین نیز کمترین مقدار را تولید کرد. به طور کلی بیشترین کلروفیل ب در تاریخ کاشت ۱۵ اردیبهشت ماه به دست آمد ولی اختلاف چندانی با ۳۰ فروردین ماه نداشت. کمترین مقدار نیز در تاریخ کاشت ۳۰ اردیبهشت ماه حاصل شد (جدول ۶).

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت و کاهنده‌های تعرق بر برخی صفات

تاریخ کاشت	کاهنده‌های تعرق	کلروفیل ب (میلی گرم بر گرم وزن تر)	پرولین (میکرومول بر گرم وزن تر)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)
۱۵ فروردین	سولفات روی	۱/۳۳ fg	۲/۱۱ hij	۲۳۶۷/۲ k	۸۶۹/۶ k
	آترازین	۱/۲۱ jk	۱/۷۹ lm	۲۲۲۰/۳ m	۷۶۹/۷ o
	پاکلوبوترازول	۱/۲ ij	۲/۶۰ jk	۲۲۲۲/۸ m	۸۲۰/۱ l
	شاهد	۱/۶۱ ijk	۱/۱۹ m	۲۱۹۸/۷ o	۷۹۲/۸ n
	سالیسیلیک اسید	۱/۴۲ hi	۲/۸۰ ijk	۲۲۲۱/۹ m	۸۲۰/۳ l
۳۰ فروردین	سولفات روی	۱/۹۴ bc	۲/۶۱ h	۲۸۶۴/۹ a	۱۲۰۱/۸ a
	آترازین	۱/۴۳ efg	۲/۲۰ kl	۲۶۶۵/۷ h	۱۰۴۳/۴ h
	پاکلوبوترازول	۱/۲۶ a	۲/۵۱ hi	۲۷۲۱/۴ e	۱۱۰۴/۴ e
	شاهد	۱/۱۴ de	۱/۸۹ lm	۲۶۸۸/۱ f	۱۰۸۵/۶ f
	سالیسیلیک اسید	۱/۵ bc	۲/۲۱ hij	۲۷۳۸/۷ c	۱۲۰۷/۵ a
۱۵ اردیبهشت	سولفات روی	۱/۱۵ bc	۲/۷۵ bc	۲۷۹۲/۴ b	۱۱۱۱/۳ d
	آترازین	۱/۴ def	۲/۵۴ f	۲۵۴۳/۳ j	۱۰۳۸/۷ i
	پاکلوبوترازول	۱/۳۶ a	۲/۹۴ def	۲۶۶۰/۱ i	۱۰۲۴/۹ j
	شاهد	۱/۶۴ cd	۲/۴۳ g	۲۶۷۴/۴ g	۱۰۷۷/۳ g
	سالیسیلیک اسید	۱/۶۵ ab	۲/۶ bc	۲۷۳۳/۳ d	۱۱۸۲/۹ b
۳۰ اردیبهشت	سولفات روی	۱/۹۰ gh	۲/۹۶ a	۲۲۴۹/۸ l	۸۰۸/۷ m
	آترازین	۱/۷۱ ijk	۲/۳۵ cde	۲۰۲۴/۷ q	۷۱۰/۹ r
	پاکلوبوترازول	۱/۲ ij	۲/۵۴ cd	۲۱۵۶/۱ p	۷۵۲/۶ p
	شاهد	۱/۱ k	۲/۱۴ ef	۲۰۱۷/۹ r	۷۳۸/۱ q
	سالیسیلیک اسید	۱/۲۲ hi	۲/۳۶ ab	۲۲۰۲/۷ n	۷۷۲/۳ o

میانگین‌های هر ستون که دارای حروف مشترک هستند اختلاف آماری معنی‌داری در سطح ۵ درصد توسط آزمون دانکن ندارند.

پاکلوبوترازول به عنوان یک رویکرد تنظیم کننده در فرایندهای ساخت کلروفیل نقش می‌بازد. این ماده می‌تواند فعالیت آنزیم‌هایی که در ساخت کلروفیل دخیل هستند را تحریک کرده و سینتز کلروفیل ب را افزایش دهد. پاکلوبوترازول می‌تواند به صورت مستقیم یا غیرمستقیم بر فرایندهای متابولیک گیاه تأثیر بگذارد و بهبود فعالیت آنزیم‌های مرتبط با ساخت کلروفیل برای افزایش مقدار کلروفیل ب کمک کند. پاکلوبوترازول می‌تواند به عنوان یک تنظیم کننده در فرایندهای ساخت کلروفیل عمل کند و فعالیت آنزیمی که در این فرآیند دخیل است را تنظیم کند. پاکلوبوترازول به‌طور مستقیم در تنظیم فرایندهای متابولیک و ساختاری گیاهان نقش داشته و ممکن است بهبود فرایندهای سنتز کلروفیل ب را ایجاد کند (Fathi et al., 2024; Celi et al., 2021).

کارتنوئید

نتایج نشان داد که اثر اصلی کاهنده‌های تعرق بر کارتنوئید معنی‌دار بود ولی اثر اصلی تاریخ کاشت و اثر متقابل تاریخ کاشت و کاهنده‌های تعرق بر این شاخص معنی‌دار نبود (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر اصلی کاهنده‌های تعرق بر مقدار کارتنوئید حاکی از آن بود که بیشترین مقدار این شاخص در تیمار مصرف سالیسیلیک اسید به مقدار ۵/۳۷ میلی گرم بر گرم وزن تر حاصل شد. کمترین مقدار این شاخص نیز در تیمار مصرف آترازین به مقدار ۴/۹۶ میلی گرم بر گرم وزن تر به دست آمد. سولفات روی نیز در مکان دوم قرار داشت (جدول ۵).

سالیسیلیک اسید می‌تواند فرایندهای فتوسنتزی را تحریک کند و باعث افزایش فعالیت کلروپلاست‌ها (ساختارهایی که در فتوسنتز نقش دارند) و تولید کارتنوئید شود. سالیسیلیک اسید می‌تواند تحمل گیاهان در برابر تنش‌های محیطی مانند خشکی یا سوری را افزایش دهد. این تحمل ممکن است منجر به تولید بیشتر کارتنوئید شود که در نهایت به افزایش مقدار آن در گیاه منتهی می‌شود.

تحریک فرایندهای فتوسنتزی و افزایش تحمل گیاهان در برابر تنش‌ها از جمله دلایلی است که ممکن است باعث افزایش مقدار کاروتنوئید در گیاهان تحت مصرف SA شود (Ahmad et al., 2021; Zahra et al., 2021). در مطالعات تأثیر مصرف سولفات روی بر مقادیر کاروتنوئید در گیاهان، دو مکانیسم اصلی به عنوان علل افزایش مقدار کاروتنوئید مورد بررسی قرار گرفته‌اند. تحریک فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی: سولفات روی می‌تواند فعالیت آنزیم‌هایی که در مسیر تولید کاروتنوئید نقش دارند را افزایش دهد. این آنزیم‌ها به عنوان آنتی اکسیدان‌ها در گیاهان عمل می‌کنند و در فرآیند تولید کاروتنوئید نقش دارند. اصلاح فعالیت فتوسنتز: افزایش مصرف سولفات روی ممکن است منجر به اصلاح فعالیت فتوسنتزی گیاهان شود که در نتیجه‌اش تولید کاروتنوئید افزایش می‌یابد. این اصلاحات ممکن است منجر به تحریک فعالیت آنزیم‌هایی که در مسیر تولید کاروتنوئید نقش دارند، شود (Saleem et al., 2024).

پرولین

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که اثر متقابل کاهنده‌های تعرق و تاریخ کاشت بر پرولین معنی‌دار بود (جدول ۴). یافته‌ها بیانگر آن بود که در تاریخ کاشت ۳۰ اردیبهشت ماه و مصرف سولفات روی، پرولین به مقدار ۲/۶۹ میکرومول بر گرم وزن تر به دست آمد که ۴۲ درصد از کمترین پرولین در تاریخ کاشت ۱۵ فروردین ماه و شاهد (۱/۹۱ میکرومول بر گرم وزن تر) بیشتر بود. در تمامی تاریخ‌های کاشت مصرف سولفات روی نسبت به سایر کاهنده‌های تعرق موجب افزایش این شاخص شد و شاهد نیز کمترین مقدار را تولید کرد. به طور کلی بیشترین پرولین در تاریخ کاشت ۳۰ اردیبهشت ماه به دست آمد (جدول ۶).

پرولین به عنوان یک اسمولیت سازگار کننده نقش مهمی در تنظیم اسمزی درون سلولی، پایدار کردن ساختار پروتئین‌ها و غشاء سلولی، جارب کردن گونه‌های اکسیژن رادیکال، تنظیم pH سلولی واکنش‌های اکسیداسیون و احیا، ایفا می‌کند. در تاریخ کاشت آخر با توجه به گرم شدن هوا و افزایش دما، میزان تنش خشکی بیشتر گردید و مصرف پرولین باعث تعدیل در تنش خشکی شده که منجر به افزایش ارتفاع بوته گردید (Akram et al., 2017). مصرف سولفات روی به عنوان یک منبع روی در گیاهان می‌تواند به افزایش مقدار پرولین در گیاهان منجر شود. این پرولین یک آمینواسید است که در شرایط استرسی نظیر تنش گرمایی آخر فصل به عنوان یک فعال‌کننده‌ی مهم برای تحمل گیاهان علیه استرس‌های محیطی عمل می‌کند. تحقیقات نشان داده است که مصرف سولفات روی می‌تواند باعث افزایش غلظت پرولین در برگ‌های گیاهان شود که این افزایش می‌تواند نشان‌دهنده‌ی تحمل بیشتر گیاهان در برابر تنش‌های محیطی، از جمله تنش گرمایی باشد (Eyni et al., 2023). سولفات روی ممکن است به عنوان یک عامل فعال، در فرایندهای متابولیسم گیاهان تأثیر بگذارد و این باعث افزایش سطح پرولین در گیاه می‌شود که این موجب تحمل بیشتر گیاهان در مواجهه با شرایط استرسی گرمایی می‌شود. سولفات روی به طور مستقیم یا غیر مستقیم می‌تواند فعالیت آنزیم‌هایی که در تولید پرولین نقش دارند را تحریک کند، که این باعث افزایش سطح پرولین در گیاه می‌شود (Fallah et al., 2021).

صفات کمی و کیفی

عملکرد بیولوژیک

نتایج نشان داد که اثر متقابل تاریخ کاشت و کاهنده‌های تعرق بر مقدار عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود (جدول ۷). یافته‌ها بیانگر آن بود که در تاریخ کاشت ۳۰ فروردین ماه و مصرف سولفات روی، عملکرد بیولوژیک به مقدار ۲۸۴۶/۹ کیلوگرم در هکتار به دست آمد که ۳۸ درصد از کمترین عملکرد بیولوژیک در تاریخ کاشت ۳۰ اردیبهشت ماه و شاهد (۲۰۱۷/۹ کیلوگرم در هکتار) بیشتر بود. در تمامی تاریخ‌های کاشت، مصرف سولفات روی نسبت به سایر کاهنده‌های تعرق موجب افزایش این شاخص شد و مصرف آترازین یا شاهد نیز کمترین مقدار را تولید کرد. همچنین به طور کلی بیشترین عملکرد بیولوژیک در تاریخ کاشت ۳۰ فروردین ماه به دست آمد و کمترین مقدار نیز در تاریخ کاشت ۳۰ اردیبهشت ماه حاصل شد (جدول ۶).

جدول ۷- تجزیه واریانس مرکب صفات کمی و کیفی تحت تاثیر کاهنده‌های تعرق و تاریخ کاشت

میانگین مربعات				
منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	روغن دانه
سال	۱	۱۴۵۲۶۲ ns	۴۰/۲۳ ns	۱۲/۲۳ ns
تکرار (سال)	۴	۱/۱۸۱۱۳۹	۴۲/۶۰	۱۴/۵۶
تاریخ کاشت	۳	۵۶۲۳۲۵**	۱۲۵/۲۰**	۷۸/۲۶**
سال × تاریخ کاشت	۳	۵/۵۳۶۱۵ns	۱۱/۷۹ ns	۷/۱۵ ns
خطای آ (تاریخ کاشت)	۱۲	۳/۲۵۶۱۲۱	۴۶/۸۳	۲۵/۴۵
کاهنده تعرق	۴	۷/۶۱۱۵۵**	۲۰۲/۳۳**	۲۹/۵۶**
سال × کاهنده تعرق	۴	۷/۶۸ ns	۵۴/۲۳ ns	۰/۱۲ ns
تاریخ کاشت × کاهنده تعرق	۱۲	۳/۹۰۵۴**	۱۱۵/۲**	۳/۲۴ ns
سال × تاریخ کاشت × کاهنده تعرق	۱۲	۶/۱۰۴۶ ns	۹/۳۲ ns	۲/۱۵ ns
خطای کل	۶۳	۴/۳۳۷۸۵	۵/۰۱	۵/۷۱
مربوب تغییرات	-	۴/۱۲	۱۵/۷	۶/۴

*, **, ns: بترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و عدم تفاوت معنی‌دار

علت افزایش عملکرد را می‌توان به افزایش پیوستن اکسیژن در حضور عنصر روی دانست. روی به عنوان جزء ساختمانی بعضی از آنزیم‌ها بوده و در فعالیتهای آنزیمی گوناگون شرکت دارد و با کاهش واکنش اسیدی خاک قابلیت جذب بیشتری پیدا می‌کند (Ghadirnezhad Shiade et al., 2023). روی می‌تواند تحمل گیاهان به تنش‌های محیطی نظیر تنش خشکی، شوری و آلودگی‌های محیطی را بهبود بخشد. سولفات روی باعث تنظیم فعالیت آنزیم‌های اکسیدان‌ها و جذب عناصر مغذی توسط گیاهان می‌شود که تحمل و عملکرد آنها را تحت تنش‌های محیطی افزایش می‌دهد. (Ilyas et al., 2024). استفاده از روی باعث افزایش جذب و بهره‌برداری بهینه از عناصر غذایی در گیاهان می‌شود. این ماده باعث افزایش جذب نیتروژن، فسفر، پتاسیم و سایر عناصر مورد نیاز گیاهان می‌شود، که در نتیجه بهبود عملکرد بیولوژیک آنها را به دنبال دارد (Fathi et al., 2024).

تاریخ کاشت مناسب گیاه می‌تواند اثرات مثبتی بر وزن خشک اندام‌های مختلف آن داشته باشد؛ تاریخ کاشت مناسب ممکن است منجر به سازگاری بهتر گیاه با شرایط محیطی گردد، که این امر باعث رشد بهتر و در نتیجه افزایش وزن خشک اندام‌های گیاه می‌شود. زمان کاشت مناسب با فصل‌های رشدی گیاهان مرتبط است. کاشت در زمانی که شرایط آب و هوایی و نوری برای گیاه مناسب‌تر است، باعث رشد بهتر و در نتیجه افزایش وزن خشک اندام‌های گیاه می‌شود (Eyni et al., 2023). تاریخ کاشت مناسب می‌تواند بر تنظیم هورمون‌های گیاهی، به خصوص هورمون‌های رشدی گیاه، اثر بگذارد که این تنظیم ممکن است به رشد و توسعه بهتر اندام‌های گیاه منجر شود. تاریخ کاشت مناسب می‌تواند تأثیری در تنظیم و تعدیل تراکم گیاهان داشته باشد که این امر می‌تواند روی رشد و وزن خشک اندام‌های مختلف گیاه تأثیرگذار باشد (Soltani et al., 2024).

عملکرد دانه

نتایج نشان داد که اثر متقابل تاریخ کاشت و کاهنده‌های تعرق بر مقدار عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۷). یافته‌ها بیانگر آن بود که در تاریخ کاشت ۳۰ فروردین ماه و مصرف سالیسیلیک اسید، عملکرد دانه به مقدار ۱۲۰۷/۵ کیلوگرم در هکتار به دست آمد که ۶۳ درصد از کمترین عملکرد در تیمار شاهد (۷۳۸/۱ کیلوگرم در هکتار) و تاریخ کاشت ۳۰ اردیبهشت ماه بیشتر بود. بین عملکرد دانه در تاریخ کاشت ۳۰ فروردین ماه با مصرف سالیسیلیک اسید یا سولفات روی تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد. در تمامی تاریخ‌های کاشت مصرف سولفات روی یا سالیسیلیک اسید نسبت به سایر کاهنده‌های تعرق موجب افزایش این شاخص شد و مصرف آترازین یا شاهد نیز کمترین مقدار را تولید کرد. همچنین به طور کلی بیشترین عملکرد دانه در تاریخ کاشت ۳۰ فروردین ماه به دست آمد و کمترین مقدار نیز در تاریخ کاشت ۳۰ اردیبهشت ماه حاصل شد (جدول ۶).

سولفات روی با افزایش هدایت رزونه‌ای در منطقه ریشه، موجب افزایش قدرت جذب و انتقال آب و عناصر غذایی به بخش‌های مختلف گیاه می‌شود. این بهبود در جذب و تأمین منابع غذایی، به طور مستقیم منجر به افزایش وزن دانه می‌شود (Mishra et al., 2023). علاوه بر این، سولفات روی توانایی تنظیم فعالیت آنزیم‌ها و مسیرهای متابولیکی در گیاه را داراست. این تنظیمات متابولیکی بهبود عملکرد فیزیولوژیکی گیاه را تحت تنش خشکی ارتقا می‌دهد و در نتیجه منجر به افزایش وزن دانه می‌گردد (Li et al., 2023). تاریخ کاشت به موقع گیاهانی مانند کینوا می‌تواند به افزایش عملکرد دانه منجر شود به دلایل زیر: کاشت به موقع با شرایط محیطی گیاه سازگارتر است و می‌تواند به گیاه کمک کند تا در دوران مختلف رشدی خود، از جمله زمان تشکیل دانه، شرایط مناسبی را برای رشد داشته باشد. تغییرات در تاریخ کاشت می‌تواند توانایی گیاه در تطابق با شرایط محیطی را تحت تأثیر قرار داده و در نتیجه، بهبود عملکرد و تولید دانه را افزایش دهد (Esfandiarfateh et al., 2019). کاملینا به تغییرات شرایط آب و هوایی حساس است، بنابراین کاشت به موقع می‌تواند کمک کند که گیاه در شرایط محیطی بهتری رشد کند و عملکرد دانه را افزایش دهد. تغییر در تاریخ کاشت می‌تواند تأثیری در مدیریت تراکم گیاهان داشته باشد و منجر به بهبود تغذیه گیاهی و در نتیجه، افزایش عملکرد دانه گیاه شود (Abbasi Dehkordi et al., 2022).

روغن دانه

نتایج نشان داد که اثر اصلی کاهنده‌های تعرق و تاریخ کاشت بر روغن دانه معنی‌دار بود ولی اثر متقابل تاریخ کاشت و کاهنده‌های تعرق بر این شاخص معنی‌دار نبود (جدول ۷). مقایسه میانگین اثر تاریخ کاشت بر روغن دانه حاکی از آن بود که بیشترین مقدار این شاخص در تاریخ کاشت ۱۵ اردیبهشت ماه به مقدار ۲۴/۱۲ درصد حاصل شد. کمترین روغن دانه این شاخص نیز در تاریخ کاشت ۱۵ فروردین به مقدار ۲۲/۱ درصد به دست آمد (جدول ۵). مقایسه میانگین اثر اصلی کاهنده‌های تعرق بر مقدار روغن دانه نشان داد که بیشترین مقدار این شاخص در تیمار مصوف سولفات روی به مقدار ۲۴/۱ درصد حاصل شد. کمترین مقدار این شاخص نیز در تیمار شاهد به مقدار ۲۲/۰ گرم به دست آمد که اختلاف معنی‌داری با مصرف آترازین نداشت. سالیسیلیک اسید نیز در مکان دوم قرار داشت ولی اختلاف آماری معنی‌داری با تیمار برتر نداشت (جدول ۵). کاشت دیر هنگام کینوا در اواسط یا اواخر اردیبهشت به جای اوایل فروردین می‌تواند تأثیر مثبتی بر درصد روغن دانه‌های آن بگذارد. در پایان اردیبهشت، شرایط دما و رطوبت معمولاً بهینه‌تر برای رشد کینوا است. دماهای بالا می‌توانند باعث تسریع در متابولیسم گیاه شوند و این رشد و توسعه بهتری را برای دانه‌هایی با کیفیت بالاتر فراهم می‌آورد (Ali et al., 2022). کاشت در زمان دیرتر ممکن است به آرامی به گیاه این فرصت را بدهد که به طور طبیعی با شرایط محیطی خودش هماهنگ شود. به عنوان مثال، افزایش نور خورشید و دما می‌تواند موجب افزایش فرآیند فتوسنتز شود که در نهایت به تولید بیشتر روغن منجر می‌شود (Ma et al., 2017). در صورت کاشت دیر هنگام، گیاهان کینوا ممکن است در زمانی علف‌های هرز بزرگتر و رقابت کمتری داشته باشند که به آنها فرصت بیشتری برای رشد و تولید غنی‌ترین دانه‌های خود می‌دهد. کشت در اواخر اردیبهشت می‌تواند باعث شود که تاریخ برداشت به زمان‌هایی با رطوبت و دماهای مناسب‌تر بیفتد، که ممکن است به دنبال آن کیفیت و درصد روغن دانه‌ها افزایش یابد (Abdel et al., 2020).

سولفات روی یکی از مهم‌ترین ریزمغذی‌ها برای گیاهان است و تأثیر زیادی بر کیفیت دانه‌ها و درصد روغن آنها دارد. روی به عنوان یک عامل کلیدی در فرآیند فتوسنتز عمل می‌کند. با افزایش کارایی فتوسنتز، تولید شکر و ترکیبات ارگانیک در گیاه افزایش می‌یابد که می‌تواند منجر به تولید بیشتر روغن در دانه‌ها شود. روی بخشی از آنزیم‌هایی است که در سنتز لیپیدها و روغن‌های گیاهی نقش دارند. با تأمین این عنصر، گیاه قادر به تولید بیشتر روغن خواهد بود (Ali et al., 2022). سولفات روی به تقویت ساختار سلولی و رشد ریشه کمک می‌کند. گیاهان سالم‌تر و قوی‌تر معمولاً درصد روغن بیشتری در دانه‌های خود خواهند داشت. روی می‌تواند به بهینه‌سازی متابولیسم مواد غذایی در گیاه کمک کند. این متابولیسم بهتر می‌تواند منجر به جذب بهتر مواد مغذی و در نهایت تولید روغن بیشتر شود (Hera et al., 2016; Dimkpa et al., 2019).

نتیجه‌گیری

نتایج این بررسی نشان داد که تاریخ کاشت دیر هنگام موجب کاهش عملکرد کمی و کیفی گیاه کاملینا شد، به گونه‌ای که بیشترین عملکرد دانه در تاریخ کاشت زودهنگام و با مصرف سالیسیلیک اسید حاصل گردید که نسبت به تاریخ کاشت دیر هنگام

و مصرف آترازین برتری چشمگیری داشت، هرچند در این تاریخ کاشت تفاوت معنی‌داری بین سالیسیلیک اسید و سولفات روی مشاهده نشد. در مورد روغن دانه نیز تاریخ کاشت میانی و مصرف سولفات روی به‌عنوان بهترین تیمار معرفی گردید. مصرف کاهنده‌های تعرق به‌ویژه سولفات روی و سالیسیلیک اسید از طرق مختلف از جمله افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز، منجر به افزایش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک کاملینا شد. این افزایش فعالیت آنزیمی می‌تواند موجب افزایش تحمل گیاه در اثر تاریخ کاشت دیر هنگام گردد، چرا که تاریخ کاشت دیر هنگام با افزایش تنش گرمایی آخر فصل رشد همراه بوده و مصرف این ترکیبات با بهبود سیستم دفاعی گیاه، اثرات سوء تنش را کاهش داده و عملکرد را بهبود بخشیده است.

منابع

- Abbasi Dehkordi, N., Rafieiolhossaini, M., Danesh Shahraki, A. and Badalzadeh, A. (2022). Effect of planting date and different amounts of manure, chemical fertilizer and their combination on some agromorphological and essence characteristics of Moldavian balm. *Iranian Journal of Field Crop Science*. 53(3): 169-182.
- Ahluwalia, O., Singh, P. C. and Bhatia, R. (2021). A review on drought stress in plants: Implications, mitigation and the role of plant growth promoting rhizobacteria. *Resources, Environment and Sustainability*. 5: 100032.
- Ahmad, M. A., Saleem, A., Tahir, M., Khilji, S. A., Sajid, Z. A., Landry, K. B. ... and Ahmad, P. (2024). Modulation of the polyamines, osmolytes and antioxidant defense system to ameliorate drought stress tolerance in *Hordeum vulgare* L. using ascorbic acid. *South African Journal of Botany*. 171: 726-736.
- Akram, N. A., Shafiq, F. and Ashraf, M. (2017). Ascorbic acid-a potential oxidant scavenger and its role in plant development and abiotic stress tolerance. *Frontiers in plant science*. 8: 613.
- Ali, G., Hannachi, A., Benidir, M., Fellahi, Z.E.A. and Frih, B. (2022). Agro-biochemical Characterisation of *Camelina sativa*: A review. *Agricultural Reviews*. 43(3): 278-287.
- Arnon, DI. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*. 24: 1-15.
- Attia, Z., Pogoda, C. S., Reinert, S., Kane, N. C. and Hulke, B. S. (2021). Breeding for sustainable oilseed crop yield and quality in a changing climate. *Theoretical and Applied Genetics*. 134(6): 1817-1827.
- Bahamin, S., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M. and Behashti, S. (2021). Effect of nitrogen and phosphorus fertilizers on yield and nutrient efficiency indices in maize under drought stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 14(3): 675-690.
- Bahamin, S., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Beheshti, S. (2019). Effect of biological and chemical fertilizers of nitrogen and phosphorus on quantitative and qualitative productivity of maize under drought stress conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 12(1): 123-139.
- Bates, L. S., Waldern, R. P. and Tear, I. D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil*, 39: 205-207.
- Beers, G. R. and sizer, I.W. 1952. A spectrophotometric method for measuring the breakdown of hydrogen peroxide by catalase. *Biological Chemistry*, 195: 133-140.
- Celi, G. E. A., Gratão, P. L., Lanza, M. G. D.B. and Dos Reis, A.R. (2023). Physiological and biochemical roles of ascorbic acid on mitigation of abiotic stresses in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*. 107970.
- Esfandiarfateh, A. and A. Ebrahimi. (2019). The effect of planting date and density on quantitative and qualitative yield of *Pimpinella anisum*. *Journal of Plant Ecophysiology*. 11 (37): 178-190.
- Eyni, H., Mirzaei Heydari, M. and Fathi, A. (2023). Investigation of the application of urea fertilizer, mycorrhiza, and foliar application of humic acid on quantitative and qualitative properties of canola. *Crop Science Research in Arid Regions*. 4(2): 405-420.

Fallah, A.A., Marefpourian, Kh., Tadaion, S., Dehghani, F. and Zare, A. (2021). The effect of foliar application of ferrous sulfate and zinc sulfate on yield and yield components of rapeseed in Marvdasht region. *Journal of Plant Ecophysiology*. 13 (44): 1-12.

Fathi, A. Bahamin, S. (2018). The effect of irrigation levels and foliar application (zinc, humic acid and salicylic acid) on growth characteristics, yield and yield components of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 11(3): 661-674.

Fathi, A., Shiade, S. R. G., Ali, B. and Zeidali, E.(2024). Plant Growth, Development, and Photosynthesis in Cereals under Salt Stress. In *Handbook of Photosynthesis* (4th ed.). Taylor and Francis, Boca Raton, USA. pp 826.

Ghadimezhad Shiade, S. R., Fathi, A., Taghavi Ghasemkheili, F., Amiri, E. and Pessarakli, M. (2023). Plants' responses under drought stress conditions: Effects of strategic management approaches—A review. *Journal of plant Nutrition*. 46(9): 2198-2230.

Haghaninia, M., Javanmard, A., Kahrizi, D., Bahadori, M.B. and Machiani, M.A. (2024). Optimizing oil quantity and quality of camelina (*Camelina sativa* L.) with integrative application of chemical, nano and bio-fertilizers under supplementary irrigation and rainfed condition. *Plant Stress*, 11, 100374.

Ilyas, M., Maqsood, M. F., Shahbaz, M., Zulfiqar, U., Ahmad, K., Naz, N. ... and Ali, H.M. (2024). Alleviating salinity stress in canola (*Brassica napus* L.) through exogenous application of salicylic acid. *BMC Plant Biology*. 24(1): 611.

Javadi, H. and Zamani, Kh. (2019). Effect of planting date on yield, yield components and oil content of different safflower cultivars (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Plant Ecophysiology*. 11 (37): 1-12.

Kamadi, N., Nabipor, M., Rnabipor, H. and Rahnama, A. (2016). Effect of sowing date and seed priming on emergence and yield and yield components of three bread wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.). *Applied Field Crops Research*. 29(1): 119-125.

Khan, T., Mazid, M. and Mohammad, F. (2011). A review of ascorbic acid potentialities against oxidative stress induced in plants. *Journal of agrobiolgy*. 28(2): 97.

Kosáry, J., & Nőgrádi, M. (2010). A növényi eredetű élelmiszeripari nyersanyagok minőségének enzimes jellemzése= Enzymic characterisation of the quality of food industrial raw materials of plant origin. OTKA Kutatási Jelentések| OTKA Research Reports

Li, X., Feng, H., Liu, S., Cui, J., Liu, J., Shi, M. ... and Wang, L. (2023). Dehydrin CaDHN2 Enhances Drought Tolerance by Affecting Ascorbic Acid Synthesis under Drought in Peppers. *Plants*. 12(22): 3895.

Maleki, A., Fathi, A. Bahamin, S. (2020). The effect of gibberellin hormone on yield, growth indices, and biochemical traits of corn (*Zea Mays* L.) under drought stress. *Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research*. 15(59): 1-16.

Mali, M. and Hosainpur, J. (2024). Investigating the yield of new cotton cultivars affected by planting date and plant density. *Iranian Journal of Cotton Researches*. 11(2): 83-102.

Mishra, S., Sharma, A. and Srivastava, A.K. (2023). Ascorbic acid: A metabolite switch for designing stress-smart crops. *Critical Reviews in Biotechnology*, 1-17.

Nayanakantha, N. C., Rawat, S. A. N. D. H. Y. A., Ali, S. A. J. A. D., & Grover, A. N. I. T. A. (2014). Defense gene induction in *Camelina sativa* upon *Alternaria brassicae* challenge. *Indian Phytopathol*, 67(3).

Nguyen, V., Nguyen, T. T. T., Vo, T. M. C., & Dao, T. (2019). Single and binary effects of atrazine, copper and chromium on duckweed.

Saleem, N., Noreen, S., Akhter, M. S., Alshaharni, M. O., Alzuaibr, F. M., Al-zoubi, O. M. and Mahmood, S. (2024). Ascorbic acid-mediated enhancement of antioxidants and photosynthetic efficiency: a strategy for enhancing canola yield under salt stress. *South African Journal of Botany*. 173, 196-207.

Samieadel, S., Eshghizadeh, H. R., Zahedi, M. and Majidi, M.M. (2024). The Interaction of Planting Date and Irrigation Regime Effects on the Yield and Water Use Efficiency of Milk Thistle (*Silybum marianum*) Ecotypes. *Iranian Journal of Field Crop Science*. 55(1): 105-121.

Sharifi, P., & Mohammadkhani, N. (2018). Effects of drought stress on enzymatic and non-enzymatic antioxidants in flag leaf and spikes of tolerant and sensitive wheat genotypes. *Journal of Plant Productions (Agronomy, Breeding and Horticulture)*, 41(3), 37-50.

Sharma, L., Roy, S., Satya, P., Alam, N. M., Goswami, T., Barman, D. ... and Mitra, J. (2024). Exogenous ascorbic acid application ameliorates drought stress through improvement in morpho-physiology, nutrient dynamics, stress metabolite production and antioxidant activities recovering cellulosic fibre production in jute (*Corchorus olitorius* L.). Industrial Crops and Products. 217, 118808.

Soltani, R., Pazoki, A. and Monem, R. (2024). Co-application of chitosan and ascorbic acid alleviated drought stress in common chicory (*Cichorium intybus* L.) by improving physiological and biochemical changes. Journal of Plant Growth Regulation. 43(4): 1184-1194.

Sultan, K., Perveen, S., Parveen, A., Atif, M., and Zafar, S. (2023). Benzyl amino purine (BAP): moringa leaf extract and ascorbic acid induced drought stress tolerance in pea (*Pisum sativum* L.). Gesunde Pflanzen. 75(6): 2423-2436.

Zahra, N., Wahid, A., Hafeez, M. B., Ullah, A., Siddique, K. H., and Farooq, M. (2021). Grain development in wheat under combined heat and drought stress: Plant responses and management. Environmental and Experimental Botany, 188, 104517.

Zonouri, M., Javadi, T. and Ghaderi, N. (2014). Effect of foliar spraying of ascorbic acid on cell membrane stability, lipid peroxidation, total soluble protein, ascorbate peroxidase and leaf ascorbic acid under drought stress in grapes. International journal of Advanced Biological and biomedical research. 4(2): 349-354.

The effect of antitranspirants on some morphological, biochemical and physiological characteristics of camelina (*Camelina sativa*) at different sowing dates

Abstract

Introduction

Camelina is considered one of the new plants that has gained many supporters in recent years. This is not only because it is an undemanding plant with low water and fertilizer requirements compared to other oilseed plants such as rapeseed, but also because it has a high oil content with favorable edible quality. So far, no experiment has been conducted on the effect of anti-transpirant substances on *Camelina* under different sowing dates. Therefore, in this research, an attempt has been made for the first time to investigate the effect of anti-transpirants on the level of antioxidant activity, biochemical traits, and the quantity and quality of *Camelina* oil under different sowing dates.

Method

The experiment will be conducted as split plots based on a randomized complete block design with three replications. The experimental treatments include four sowing dates (April 4th, April 19th, May 5th, and May 20th) as the main factor, and different levels of anti-transpirant substances (salicylic acid, zinc sulfate, control, paclobutrazol, and atrazine) as the sub-factor.

Results

The results showed that the interaction effect of sowing date and anti-transpirants on seed yield was significant. On the sowing date of April 19th with the application of salicylic acid, seed yield was 1207.5 kg/ha, Which was 63% higher than the lowest performance observed in the control treatment (1.738 kg/ha) and the planting date of May 20th. No statistically significant difference was observed between seed yields on the sowing date of April 19th with the application of salicylic acid or zinc sulfate. In all sowing dates, the application of zinc sulfate or salicylic acid increased this index compared to other anti-transpirants, while the application of atrazine or the control produced the lowest values. Overall, the highest seed yield was obtained on the sowing date of April 19, and the lowest was obtained on the sowing date of May 20th. The results of the present study also showed that the interaction effect of anti-transpirants and sowing date on proline was significant. The findings indicated that on the sowing date of May 20th with the application of zinc sulfate, proline content was 2.69 $\mu\text{mol/g}$ fresh weight, which was 42% higher than the lowest proline content observed on the sowing date of April 4 in the control treatment (1.91 $\mu\text{mol/g}$ fresh weight). In all sowing dates, the application of zinc sulfate increased this index compared to other anti-transpirants, while the control produced the lowest value. The results showed that the main effect of anti-transpirants on carotenoid content was significant, but the main

effect of sowing date and the interaction effect of sowing date and anti-transpirants on this index were not significant (Table 5). Mean comparison of the main effect of anti-transpirants on carotenoid content indicated that the highest value of this index was obtained in the salicylic acid treatment, at 5.37 mg/g fresh weight. The lowest value of this index was obtained in the atrazine treatment, at 4.96 mg/g fresh weight. Zinc sulfate ranked second.

Conclusion

Overall, the highest proline content was obtained on the sowing date of May 20th. In general, the results showed that late sowing date reduced the quantitative and qualitative yield of *Camelina*. However, the application of anti-transpirants, especially zinc sulfate and salicylic acid, through various mechanisms such as increasing the activity of enzymes like catalase and other enzymes, led to an increase in seed yield and biological yield of *Camelina*. Increased enzyme activity can enhance plant resistance under late sowing dates, because late sowing dates increase heat stress at the end of the growing season.

Keywords: Drought stress, Carotenoid, *Camelina*, Chlorophyll, Anti-transpirant.

بازرسی نشده