

اثر دور آبیاری و کودهای زیستی بر ویژگی‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی کاملینا (*Camelina sativa* L.)

محمد مهدی جوکار^{۱*}، عابدین مشعشی^۲، مسلم نوری^۳ و اسعد رخزادی^۲

^۱ گروه علوم تکوین، دانشکده علوم و فناوری‌های نوین، واحد علوم پزشکی تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

^۲ گروه ژنتیک و تولید گیاهی، دانشکده کشاورزی، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، ایران

^۳ گروه ژنتیک و تولید گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.

چکیده

این پژوهش به منظور ارزیابی اثر دور آبیاری و تیمارهای مختلف کودهای زیستی بر صفات رشدی، عملکردی و بیوشیمیایی گیاه کاملینا انجام شد. آزمایش حاضر به صورت اسپلیت پلات (۲ عاملی) در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. عامل‌های آزمایش شامل سه سطح دور آبیاری به فواصل (۳، ۶ و ۹ روز یکبار) و چهار سطح کود زیستی (شاهد، پتاس بارور، فسفات بارور و پتاس بارور+فسفات بارور) (تلقیح به صورت بذرمال هر کدام به میزان ۰/۵ گرم در گرم بذری) بود. نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که تنش کم‌آبیاری موجب کاهش معنی‌دار در شاخص‌های مورفولوژیکی و عملکرد دانه و در مقابل افزایش قابل توجهی در فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی شد. بیشترین ارتفاع گیاه ۸۸ سانتی‌متر در تیمار دور آبیاری ۳ روز یکبار همراه با کاربرد کودهای زیستی فسفات بارور + پتاس بارور و کمترین ارتفاع گیاه ۳۲ سانتی‌متر در آبیاری ۹ روز یکبار با عدم مصرف کود زیستی مشاهده شد. همچنین، تعداد دانه در غلاف شاخه فرعی تحت تأثیر منفی تنش کم‌آبیاری قرار گرفت، به طوری که بیشترین مقدار ۸۹ عدد در تیمار کودهای زیستی با آبیاری ۳ روز یکبار و کمترین مقدار ۴۵/۶۶ عدد در شرایط تنش شدید و بدون استفاده از کود زیستی مشاهده شد. عملکرد دانه نیز کاهش معنی‌داری در اثر تنش نشان داد، به طوری که بیشترین عملکرد دانه ۴۰۹/۷۵ گرم در متر مربع در تیمار آبیاری ۳ روز یکبار با کاربرد کودهای زیستی فسفات بارور + پتاس بارور مشاهده شد. ارزیابی شاخص‌های فیزیولوژیکی نشان داد که محتوای کلروفیل کل در بوته‌های تحت تنش کم‌آبیاری کاهش معنی‌داری داشت و بیشترین مقدار آن ۳/۸۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر در تیمار آبیاری ۳ روز یکبار و کمترین مقدار ۲/۵۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر در آبیاری ۹ روز یکبار به دست آمد. فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و پراکسیداز در شرایط تنش کم‌آبیاری افزایش معنی‌داری نشان دادند. بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز ۱/۳۲ میکروگرم بر گرم وزن تر و پراکسیداز ۲/۵۷ میکروگرم بر گرم وزن تر در آبیاری ۳ روز یکبار و کاربرد تیمارهای کودهای زیستی فسفات بارور+پتاس بارور مشاهده شد. به طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد کاربرد همزمان کودهای زیستی فسفات بارور و پتاس بارور می‌تواند اثرات منفی تنش کم‌آبیاری را تا حد زیادی کاهش و از سوی دیگر، در شرایط تنش، عملکرد و شاخص‌های فیزیولوژیکی گیاه کاملینا را بهبود بخشد.

مقدمه

کشور ایران به دلیل قرار گرفتن در نواحی خشک و نیمه‌خشک جهان از نزولات آسمانی محدودی برخوردار است. متوسط بارندگی کشور حدود ۲۵۰ میلی‌متر است که این میزان تقریباً یک‌سوم میانگین بارندگی دنیا می‌باشد (معتضدی و همکاران، ۱۳۹۸). به دلیل بارندگی کم و نامنظم در مناطق نیمه‌خشک، تعداد گیاهان دارای قابلیت تولید اقتصادی بسیار محدود است (Sefaouglu and Ozer, 2022). گیاه کاملینا (*Camelina sativa* L.) گیاهی یک‌ساله، متعلق به خانواده Brassicaceae و دارای ساقه‌های باریک و پوشیده از کرک‌های نرم با برگ‌های متناوب باریک، گل‌های زرد کوچک و میوه‌ای با تعداد زیادی بذریز و روغنی با محتوای بالای اسیدهای چرب غیراشباع (Alberghini *et al.*, 2022). استفاده و توجه به تغذیه از این گیاه دانه‌ای روغنی از اهمیت بسزایی برخوردار است، زیرا روغن آن دارای کاربردهای دارویی، غذایی و آرایشی است (Attia *et al.*, 2021). کودهای زیستی با افزایش جمعیت و فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید خاک (نظیر باکتری‌های محرک رشد گیاه مانند *Bacillus* و *Azospirillum*) موجب افزایش جذب عناصر غذایی، ارتقای راندمان مصرف آب، بهبود خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه شده و به نظر می‌رسد که می‌تواند نقش مؤثری در کاهش اثرات منفی کم‌آبیاری ایفاء کنند. این کودها با تحریک ترشح هورمون‌های رشد، تقویت توسعه سیستم ریشه، و افزایش سنتز ترکیبات آنتی‌اکسیدانی به حفظ تعادل اسمزی و کاهش تنش اکسیداتیو در شرایط تنش کم‌آبیاری کمک می‌کنند. همچنین، تلقیح کودهای زیستی می‌تواند سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ و حفظ فتوسنتز در دوره‌های محدودیت آبی گردد (Rahimi *et al.*, 2023). در این پژوهش، با مطالعه ویژگی‌هایی همچون شاخص‌های رشد، عملکرد دانه و زیست‌توده به بررسی تأثیر کودهای زیستی پتاس و فسفات بارور در بهبود توان تاب‌آوری گیاه کاملینا در برابر تنش کم‌آبیاری پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۴۰۲ در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج به صورت اسپلیت پلات (۲ عاملی) در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. عامل‌های آزمایش شامل سه سطح دور آبیاری به فواصل (۳، ۶ و ۹ روز یکبار) و چهار سطح کود زیستی (شاهد، پتاس بارور، فسفات بارور و پتاس بارور+فسفات بارور) (تلقیح به صورت بذرمال هر کدام به میزان ۰/۵ گرم در گرم بذری) بود. شاخص‌های مورفولوژیکی ارتفاع بوته (از سطح خاک)، تعداد ساقه‌های فرعی، تعداد دانه در غلاف ساقه‌های فرعی هر بوته اندازه‌گیری گردید. رنگدانه‌های فتوسنتزی برگ (کلروفیل کل) با استفاده از استون عصاره‌گیری و در طول موج‌های ۶۴۶ و ۶۶۳ نانومتر توسط اسپکتروفوتومتر قرائت گردید (حبیبی و همکاران، ۱۳۹۵). در بخش صفات بیوشیمیایی، برای تهیه عصاره‌های آنزیمی، از ۰/۵ گرم بافت گیاهی تازه و مخلوط نمودن آن با ۵۰۰ میکرولیتر بافر فسفات پتاسیم (۱۰۰ میلی‌مولار، pH=۷) استفاده شد. برای سنجش میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT)، میزان جذب نوری توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۲۴۰ نانومتر و برای سنجش میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز (POX)، با اضافه کردن ۱/۰ میلی‌لیتر عصاره آنزیمی به مخلوط، میزان جذب نوری در طول موج ۵۳۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر قرائت شد (مشایخی و آتشی، ۱۳۹۵). پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌های آزمایشی، تجزیه واریانس داده‌های بدست آمده با استفاده از نرم افزار SAS 9.4 صورت گرفت و رسم گراف‌ها در محیط Excel و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن (Duncan Multiple Range Test) در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

ارتفاع گیاه

بررسی تغییرات ارتفاع بوته نشان داد که تیمار شاهد دور آبیاری بیشترین مقدار را به خود اختصاص داد، در حالی که با افزایش مدت زمان تنش کم‌آبیاری، ارتفاع گیاه به طور معنی‌داری کاهش یافت. بیشترین ارتفاع گیاه (۸۸ سانتی‌متر) در دور آبیاری ۳ روز یکبار همراه با کاربرد همزمان کودهای زیستی (فسفات بارور + پتاس بارور) به دست آمد. کمترین ارتفاع گیاه (۳۲ سانتی‌متر) در شرایط آبیاری ۹ روز یکبار همراه با شاهد (بدون کود زیستی) مشاهده شد. کودهای زیستی توانست کاهش ارتفاع ناشی از تنش را تعدیل کند (نمودار ۱-الف). چنین روندی بیانگر حساسیت بالای رشد طولی گیاه به تنش خشکی است. در مقابل، برخی تیمارهای کوددهی زیستی، به ویژه ترکیب فسفات بارور + پتاس، توانستند بخشی از این کاهش را تعدیل کرده و موجب افزایش ارتفاع نسبت به سایر تیمارهای کوددهی شده است (Hassan *et al.*, 2024). گزارش Haghania *et al.* (2023)، استفاده از کود زیستی همراه با نانوذرات کیتوزان توانست اثرات منفی کمبود آب را کاهش دهد و با بهبود رنگدانه‌های فتوسنتزی و قندهای محلول، مورفولوژی گیاه کاملینا (*Camelina sativa* L.) را در هر دو شرایط آبیاری محدود و آبیاری تکمیلی افزایش دهد.

تعداد شاخه فرعی

تعداد شاخه‌های فرعی و اصلی نیز الگوی مشابهی مثل ارتفاع گیاه را دنبال کرد، به طوری که بیشترین تعداد شاخه فرعی در شرایط بدون تنش تیمار دور آبیاری کامل مشاهده شد و با شدت گرفتن دور آبیاری، تعداد شاخه‌های فرعی به طور معنی‌داری کاهش یافت. در تیمارهای کودهای زیستی، پتاس بارور و ترکیب فسفات بارور + پتاس توانستند تعداد شاخه فرعی بیشتری نسبت به سایر کودهای زیستی تولید کنند که نشان‌دهنده نقش این عناصر در تقویت توسعه شاخه‌های فرعی در شرایط تنش کم‌آبیاری است. بیشترین تعداد شاخه‌های فرعی (۱۰۳۳ عدد) در تیمار دور آبیاری ۳ روز یکبار + (فسفات بارور + پتاس بارور) ثبت شد (نمودار ۱-ب). در مطالعه Obeng *et al.*, (2020) نیز بیشترین تعداد شاخه فرعی در گیاه کاملینا تحت شرایط بدون تنش مشاهده شد و با افزایش شدت تنش خشکی، تعداد شاخه‌های فرعی به طور معنی‌داری کاهش یافت، به طوری که در تنش متوسط، تعداد شاخه‌های فرعی حدود ۱۸ تا ۲۵ درصد و در تنش شدید، بیش از ۴۰ درصد نسبت به شرایط نرمال کاهش پیدا کرد.

تعداد دانه در غلاف شاخه فرعی

در بررسی تعداد دانه در غلاف شاخه فرعی نتایج نشان داد که تنش ملایم تأثیر چشمگیری بر این شاخص نداشت، اما با افزایش سطح دور آبیاری، تعداد دانه در غلاف شاخه فرعی کاهش معنی‌داری نشان داد. بیشترین مقدار تعداد دانه در غلاف شاخه فرعی (۸۹ عدد) در دور آبیاری ۳ روز یکبار همراه با کود زیستی مشاهده شد (نمودار ۲-الف). این موضوع بیانگر آن است که مراحل پر شدن دانه به شدت تحت تأثیر وضعیت آبی گیاه قرار دارد. در میان تیمارهای کوددهی، ترکیب فسفات بارور + پتاس بهترین نتایج را ارائه داد و توانست وزن دانه و تعداد غلاف را به سطوح نزدیک به شاهد برساند (Jelodar *et al.*, 2017). (Sepehri *et al.*, 2021). در کلزا نیز مشاهده نمود که تیمارهای کودهای زیستی فسفات بارور + پتاس بارور و میکروپتاس، توانستند در تنش کم‌آبیاری شدید، تعداد دانه در غلاف شاخه‌های فرعی را حفظ کنند.

عملکرد دانه

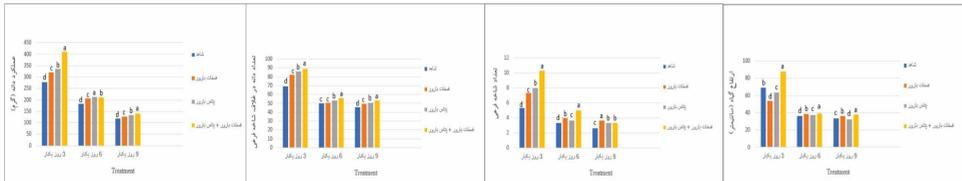
عملکرد دانه یکی از مهم‌ترین شاخص‌های زراعی بود که به طور مشخص از دور آبیاری تأثیر پذیرفت. عملکرد دانه در تیمار تنش کم‌آبیاری ۳ روز یکبار بیشترین مقدار را داشت. با این حال، تنش‌های شدیدتر ۹ روز یکبار موجب کاهش معنی‌دار در عملکرد دانه شد. بیشترین عملکرد (۴۰۹/۷۵ گرم در مترمربع) در تیمار دور آبیاری ۳ روز یکبار همراه با کود زیستی، و کمترین عملکرد (۱۱۹/۱۱ گرم در مترمربع) در آبیاری ۹ روز یکبار مشاهده شد (نمودار ۲-ب). نتایج مطالعه Sepehri *et al.*, (2021) که بر روی گیاه کلزا انجام دادند نشان داد که، بیشترین عملکرد دانه در تیمار تنش کم‌آبیاری شاهد همراه با ترکیب کود زیستی فسفات و پتاسیم مشاهده شد و در شرایط تنش متوسط، این تیمار همچنان بالاترین عملکرد را نشان دادند.

محتوای کلروفیل کل

در بخش شاخص فیزیولوژیکی، مقدار کلروفیل کل در بوته‌های تحت دور آبیاری کاهش یافت. محتوای کلروفیل کل در شرایط دور آبیاری کاهش یافت بیشترین محتوای کلروفیل کل (۲/۸۹ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در دور آبیاری ۳ روز یکبار به دست آمد. این کاهش نشان‌دهنده تخریب احتمالی رنگدانه‌های فتوسنتزی تحت تنش کم‌آبیاری است (جدول ۱). تنش خشکی معمولاً موجب تخریب ساختار کلروپلاست و کاهش سنتز رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌شود و داده‌های این تحقیق نیز این واقعیت را تأیید کرد. (Grover *et al.*, 2011). در پژوهش Rad *et al.*, (2024) بر روی گیاه کاملینا، کاربرد سیلیکات پتاسیم تحت شرایط آبیاری ملایم، بیشترین مقادیر کلروفیل و سایر شاخص‌های فتوسنتزی را ایجاد کرد و در تیمارهای تنش خشکی نیز باعث شد محتوای کلروفیل در محدوده‌ای نزدیک به تیمار شاهد باقی بماند.

میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز

میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی شامل کاتالاز و پراکسیداز نیز تحت تأثیر تیمارها در شرایط دور آبیاری (به ویژه آبیاری ۶ و ۹ روز یکبار) به طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۱)، موضوعی که نشان‌دهنده فعال شدن سیستم دفاعی گیاه در برابر گونه‌های فعال اکسیژن تولید شده تحت تنش کم‌آبیاری است (جوکار و مشعشی، ۱۳۹۸). بیشترین فعالیت آنزیم‌ها در تیمار دور آبیاری ۳ روز یکبار همراه با مصرف کودهای زیستی (فسفات بارور + پتاس بارور) مشاهده شد که می‌تواند نشان‌دهنده ظرفیت بالاتر گیاه برای خنثی‌سازی گونه‌های فعال اکسیژن باشد. مصرف کودهای زیستی باعث تعدیل این پاسخ و جلوگیری از افزایش بیش از حد فعالیت آنزیم‌ها شد که خود بیانگر کاهش شدت تنش اکسیداتیو و نقش حمایتی کودهای زیستی در تقویت سیستم دفاعی گیاه است (Al-Saad *et al.*, 2024). این مسئله، در مطالعه Zhang *et al.*, (2023) بر روی گیاه کلزا نیز مشاهده گردید.



نمودار ۱-۳: اثر متقابل دور آبیاری و کودهای زیستی بر تعداد دانه در غلاف شاخه فرعی (الف) و عملکرد دانه (ب) در کاملینا (اعداد هر گروه با حروف مشترک، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند).

نمودار ۱-۴: مقایسه میانگین بوته‌کنش دور آبیاری و کودهای زیستی برای ارتفاع گیاه (الف) و تعداد شاخه فرعی (ب) در کاملینا (اعداد هر گروه با حروف مشترک، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند).

منابع

جوکار، م.، مشعشی، ع. (۱۳۹۸). تأثیر تنش شوری درون شیشه‌ای بر شاخص‌های رشدی، محافظت اسمزی و تنش اکسیداتیو در پسته گیاه قرنفل. نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۳۳، شماره ۳، صفحه ۵۴۹-۵۶۵. <https://doi.org/10.22067/ijhorts4.v33i4.80302>

حبیبی، د.، بخش‌ده، ع.، استفانباری، م.، مظفری، ح. (۱۳۹۵). اصول آزمایشگاهی فیزیولوژی گیاهی. انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس، ۴۲۳ ص.

Alberghini, B., Zanetti, F., Corso, M., Boutet, S., Lepiniec, L., Vecchi, A., & Monti, A. (2022). Camelina (*Camelina sativa* L.) Crantz seeds as a multi-purpose feedstock for bio-based applications. *Industrial Crops and Products*, 182, 114944. DOI: 10.1016/j.indcrop.2022.114944.

Attia, Z., Pogoda, C. S., Reinert, S., Kane, N. C., & Hulke, B. S. (2021). Breeding for sustainable oilseed crop yield and quality in a changing climate. *Theoretical and Applied Genetics*, 134(6), 1817-1827. DOI: 10.1007/s00122-021-03770-w.

Grover, M., Madhubala, R., Ali, S. Z., & Yadav, S. K. (2011). Plant growth promoting rhizobacteria: A potential source for plant growth promotion under drought stress. *Microbiological Research*, 166(8), 483-495. DOI: 10.1016/j.micres.2010.09.003.

Haghania, F., Soltani, E., Farajmand, B., & Shahbazi, M. (2023). Co-application of biofertilizer and stress-modulating nanoparticles modulates the physiological, biochemical, and yield responses of Camelina (*Camelina sativa* L.) under limited water supply. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23(1), 1-17. <https://doi.org/10.1007/s42729-023-01521-y>.