

تأثیر سطوح آبیاری و باکتری‌های محرک رشد بر عملکرد و برخی شاخص‌های فیزیولوژی و بیوشیمیایی کلزا (*Brassica napus* L.)

حسین وطن‌دوست^۱، رئوف سیدشریفی^{۲*} و یونس خیری‌زاده آروق^۳

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۸/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۶/۱۹)

چکیده

به منظور بررسی اثر سطوح آبیاری و باکتری‌های محرک رشد بر عملکرد و برخی شاخص‌های فیزیولوژی و بیوشیمیایی کلزا، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اردبیل با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۵ اجرا شد. عوامل مورد بررسی شامل سطوح آبیاری در سه سطح (قطع آبیاری در ۵۰ درصد مرحله گل‌دهی و تشکیل خورجین، قطع آبیاری در ۵۰ درصد مرحله تشکیل دانه، آبیاری کامل به عنوان شاهد) و کاربرد کودهای زیستی در چهار سطح (عدم تلقیح بذر با باکتری، تلقیح با نیتروباکتر (*Nitrobacter*)، سودوموناس (*Pseudomonas*) و آزوسپریلیوم (*Azospirillum*) بودند. نتایج نشان داد که محدودیت آبی، عملکرد، عملکرد کوانتومی، هدایت روزنه‌ای، محتوای کلروفیل و مقادیر لینولئیک، اولئیک، ایکوزنوئیک و پالمیتولئیک اسید را کاهش و محتوای اروسیک اسید، آراشیدیک اسید و پرولین را افزایش داد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد بالاترین عملکرد دانه (۱/۶۲ تن در هکتار)، عملکرد کوانتومی (۰/۵۲۳)، هدایت روزنه‌ای (۱۴/۷ میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه)، محتوای کلروفیل (۳۲/۹)، اولئیک اسید (۶۹/۲۴ درصد)، لینولئیک اسید (۱۰/۴۵ درصد)، ایکوازانوئیک اسید (۱/۳۴ درصد) در حالت تلقیح با آزوسپریلیوم و آبیاری کامل و بیشترین محتوای اروسیک اسید (۲/۸۹ درصد) و آراشیدیک اسید (۰/۹۴ درصد) در عدم تلقیح و قطع آبیاری در مرحله تشکیل دانه مشاهده شد. بیشترین محتوای پرولین (۱/۵۲ میکروگرم در گرم وزن تر) در حالت تلقیح با آزوسپریلیوم و قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و تشکیل خورجین به دست آمد. به نظر می‌رسد کاربرد باکتری‌های محرک رشد به دلیل بهبود برخی شاخص‌های فیزیولوژیک مانند عملکرد کوانتومی، محتوای کلروفیل، هدایت روزنه‌ای و پرولین می‌تواند برای بهبود تولید کلزا تحت شرایط کم‌آبی توصیه شود.

واژه‌های کلیدی: اسید چرب، عملکرد کوانتومی، محتوای کلروفیل، کلزا، هدایت روزنه‌ای

۱، ۲ و ۳. به ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و دانش‌آموخته دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: Raouf_ssharifi@yahoo.com

مقدمه

زیادی درصد روغن و ترکیب مناسب اسیدهای چرب در دانه کلزا، تسلط آن را بر بازارهای روغن جهانی فراهم کرده است. در سال ۹۵-۱۳۹۴ سطح زیر کشت کلزا ۵۲۲۶۷ هکتار با تولید ۶۸۲۸۰ تن با میانگین عملکرد آبی و دیم به ترتیب ۱۴۶۳ و ۹۰۱ کیلوگرم در هکتار بوده است (۲۳). محدودیت آبی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیر زیستی است که دوره رشد زایشی کلزا را بیشتر از دوره رویشی تحت تأثیر قرار می‌دهد (۱۰). نیازی و فولادمنند (۳۰) در بررسی کاهش عملکرد در شرایط تنش دریافتند که کمبود آب از گل‌دهی تا انتهای تشکیل دانه اثر شدیدی بر عملکرد و اجزای عملکرد داشته و مهم‌ترین جز عملکرد که تحت تأثیر تنش در مرحله گل‌دهی قرار می‌گیرد تعداد دانه در غلاف است ولی تنش در مرحله پر شدن دانه، وزن هزار دانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. فام‌تی و همکاران (۳۳) کاهش میزان اسیدهای چرب غیراشباع کلزا را در شرایط محدودیت آبی گزارش کردند. یولاح و همکاران (۴۲) اظهار داشتند که در شرایط تنش، گلوتامات که پیش‌ماده کلروفیل و پرولین است به پرولین تبدیل شده و در نتیجه از محتوای کلروفیل کاسته می‌شود ضمن آنکه در چنین شرایطی به دلیل تولید اکسیژن فعال و تشدید فعالیت آنزیم کلروفیلاز، محتوای کلروفیل a و b کاهش و میزان پرولین کلزا افزایش یافت. لی و همکاران (۱۹) اظهار داشتند که بر اثر تنش خشکی فتوسنتز خالص و هدایت روزنه‌ای برگ کاهش می‌یابد.

کودهای زیستی یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در کاهش یا تعدیل شرایط تنش‌زای مختلف محیطی است (۳۸). یکی از مناسب‌ترین این کودها باکتری‌های افزایش‌دهنده رشدی هستند که به صورت بذرمال مصرف می‌شوند و با افزایش دسترسی به مواد غذایی منجر به بهبود رشد گیاهان می‌شوند (۳۴). این باکتری‌ها می‌توانند رشد گیاهان را به‌طور مستقیم از طریق تثبیت نیتروژن، محلول‌سازی فسفر نامحلول خاک، تولید سیانید هیدروژن، تولید فیتوهورمون‌هایی مانند اکسین، سیتوکسین، جیبرلین و کاهش تولید اتیلن تحت تأثیر قرار دهند (۴۱). باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد

به‌صورت غیرمستقیم باعث کاهش اثرات مضر پاتوژن‌ها از طریق تولید آنتی‌بیوتیک‌ها، آزادسازی سیدروفورها، تولید متابولیت‌های پاد فارجی و کاهش تأثیر تنش‌های زیستی و غیرزیستی بر گیاهان می‌شوند (۳۸). نجفی و همکاران (۲۹) گزارش کردند که کاربرد باکتری‌های محرک رشد سودوموناس که هر گرم از مایه تلقیح به‌کار رفته حاوی ۱۰۸ عدد باکتری زنده و فعال بود، موجب بهبود عملکرد، تعداد دانه در غلاف، سطح غلاف، تعداد غلاف در بوته و وزن هزار دانه کلزا شد. ماریوس و همکاران (۲۰) نشان دادند که تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد در آفتابگردان موجب افزایش محتوای کلروفیل a, b و کاروتن می‌شود. سید شریفی (۳۷) گزارش کرد که در سویا باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد موجب کاهش اسیدهای چرب اشباع (پالمیتیک و استئاریک اسید) و افزایش اسیدهای چرب غیراشباع (اولئیک، لینولئیک و لینولنیک اسید) شد. بانو و فاطیما (۳) اظهار داشتند که تلقیح بذور ذرت با سویه‌های باکتری سودوموناس محتوای پرولین گیاه را نسبت به شاهد افزایش دادند. بخش عمده اسیدهای چرب روغن کلزا را اسیدهای چرب غیراشباع تشکیل می‌دهند (۳۲). کیفیت روغن کلزا توسط نسبت بین اسیدهای چرب نظیر لینولئیک، لینولنیک، اولئیک، استئاریک، اروسیک و پالمیتیک اسید تعیین می‌شود. سطح زیر کشت کلزا در اردبیل ۴۷۰۰ هکتار (۴۴۱۱ هکتار تحت زراعت دیم و ۲۸۹ هکتار آبی) با میزان تولید ۹۲۰۵ تن و میانگین عملکرد به ترتیب ۲۰۳۰ و ۸۷۲ کیلوگرم در هکتار در زراعت آبی و دیم است (۲۳). با توجه به گستردگی مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور و مواجه شدن بخشی از دوره رشد کلزا با محدودیت آبی و از طرفی با توجه به نقش باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد در کاهش یا تعدیل بخشی از اثرات خشکی، در این پژوهش اثر این عوامل بر عملکرد و برخی صفات بیوشیمیایی کلزا بررسی شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۵ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اردبیل با مختصات جغرافیایی 48° و 30° طول شرقی و

۱۰ روز یکبار، از گیاهان تحت تیمار و به‌طور تصادفی از سه برگ بالایی بوته و از سه قسمت هر برگ با استفاده از دستگاه (SPAD-502; Konica Minolta Sensing, Inc., Japan) اندازه‌گیری و میانگین داده‌های حاصل به‌عنوان محتوای کلروفیل یادداشت شد (۱۴).

اندازه‌گیری عملکرد کوانتومی (Fv/Fm)، ۴۵ روز بعد از کاشت و هر ۱۰ روز یکبار انجام شد. از گیاهان تحت تیمار به‌طور تصادفی سه برگ توسعه یافته (در فاصله زمانی ساعت ۱۰-۸ صبح) انتخاب و بعد از ۲۰ دقیقه تاریکی توسط کلیپس‌های مخصوص، شاخص عملکرد با استفاده از دستگاه (Chlorophyll fluorometer; Optic Science-OS-30 USA) اندازه‌گیری شد (۱۷). اندازه‌گیری هدایت روزنه‌ای برگ، ۴۵ روز بعد از کاشت و هر ۱۰ روز یکبار انجام شد. از گیاهان تحت تیمار به‌طور تصادفی سه برگ توسعه انتخاب و با استفاده از دستگاه پرومتر (Porometer AP4, Delta-T Devices Ltd., Cambridge, UK) اندازه‌گیری شد (۱۷).

محتوای اسیدهای چرب دانه بر اساس روش AOAC (۲) استخراج شدند. میزان پرولین برگ با استفاده از روش باتز و همکاران (۴) تعیین شد. عملکرد دانه از سطحی معادل یک مترمربع از خطوط اصلی هر کرت بعد از حذف اثر حاشیه‌ای برآورد شد. برای تجزیه داده‌ها از نرم‌افزار SAS و برای رسم نمودارها و شکل‌ها از نرم‌افزار Excel استفاده شد. میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال $P < 0.05$ مقایسه شدند.

نتایج و بحث

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد تأثیر سطوح آبیاری و باکتری‌های افزاینده رشد بر عملکرد، محتوای پرولین، پروتئین دانه، پروتئین اندام هوایی، اروسیک، آراشیدیک، لینولئیک، ایکوزانوائیک، پالمیتولئیک و اولئیک اسید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. اثر تیمار سطوح آبیاری در باکتری‌های افزاینده رشد بر عملکرد، مقادیر پرولین، اروسیک، آراشیدیک، لینولئیک و ایکوزانوائیک اسید معنی‌دار شد (جدول ۲).

۳۸° و ۱۵' عرض شمالی با ارتفاع ۱۳۵۰ متر از سطح دریا به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. عوامل مورد بررسی شامل سطوح آبیاری (قطع آبیاری در ۵۰ درصد مرحله گل‌دهی و تشکیل خورجین به‌عنوان محدودیت شدید آبی، قطع آبیاری در ۵۰ درصد مرحله تشکیل دانه به‌عنوان محدودیت ملایم آبی، آبیاری کامل به‌عنوان شاهد) و کاربرد باکتری‌های محرک رشد در چهار سطح (عدم تلقیح بذر با باکتری به‌عنوان شاهد، تلقیح با نیتروباکتر ایرانی‌کوم سویه ۱۰۱ (*Nitrobacter iranicum strain 101*)، سودوموناس پوتیدا سویه ۱۸۶ (*Pseudomonas putida strain 186*) و آزوسپریلیوم لیوفوروم سویه OF (*Azospirillum lipoferum strain OF*) بودند. باکتری‌ها از مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور تهیه شد. رقم مورد استفاده کلزا رقم جاکومو (Giacomo) بود که از شرکت کشت و صنعت مغان تهیه شد. عملکرد بالا در واحد سطح، یکنواختی در رسیدگی محصول و سهولت در برداشت از خصوصیات بارز این رقم است. برای تلقیح بذر، میزان هفت گرم مایه تلقیح که هر گرم آن دارای ۱۰۷ عدد باکتری زنده و فعال بود استفاده شد. همچنین از محلول صمغ عربی برای چسبندگی بهتر مایه تلقیح به بذر استفاده شد. تمام بذرها به‌مدت چهار ساعت در مایه تلقیح در شرایط تاریکی قرار گرفتند. کاشت در ۲۴ فروردین‌ماه در کرت‌هایی که حاوی پنج ردیف کاشت به طول شش متر بود با فاصله بین ردیفی ۲۵ سانتی‌متر و فاصله بذر از هم روی ردیف پنج سانتی‌متر انجام شد. تراکم کاشت ۸۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد که تراکم مطلوب و توصیه شده برای این رقم است. اولین آبیاری بعد از کاشت و آبیاری‌های بعدی بسته به شرایط محیطی و نیاز گیاه زراعی و سطوح مختلف محدودیت آبی انجام شد. در طول دوره رشد، علف‌های هرز به‌صورت دستی کنترل شدند. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده در جدول ۱ ذکر شده است.

برای تعیین محتوای پروتئین دانه از روش سه مرحله‌ای کج‌لدا (هضم، تقطیر و تیتراسیون) استفاده شد (۳۷). اندازه‌گیری محتوای کلروفیل برگ، ۴۵ روز بعد از کاشت و هر

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی خاک مورد استفاده

آهک	رس	سیلت	شن	کربن آلی	نیتروژن	سفر	پتاسیم	pH	عصاره اشباع	بافت
			(درصد)			(میلی گرم بر کیلوگرم)			(درصد)	
۱/۲۵	۳۷/۵	۲۰	۴۲/۵	۰/۲۹	۰/۱۶	۲۶/۶	۵۸۴	۷/۶	۵۴/۹	لومی رسی

عملکرد دانه

مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین عملکرد (۱/۶۲ تن در هکتار) در حالت آبیاری کامل و کاربرد آزوسپریلیوم و کمترین آن (۰/۵۴ تن در هکتار) در شرایط عدم تلقیح و قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و تشکیل خورجین به‌دست آمد (جدول ۳). بخشی از افزایش عملکرد به واسطه کاربرد باکتری‌های محرک رشد هم در شرایط آبیاری کامل و هم محدودیت آبی را می‌توان به افزایش محتوای کلروفیل، بهبود عملکرد کوانتومی و هدایت روزنه‌ای در این شرایط نسبت داد (شکل‌های ۱، ۲ و ۳). محدودیت آبی می‌تواند محتوای کلروفیل را به دلیل تولید اکسیژن فعال و افزایش اتیلن کاهش دهد (۳۵). در چنین شرایطی به نظر می‌رسد به دلیل کاهش دریافت تابش خورشید در اثر کاهش میزان کلروفیل (۵) عملکرد کاهش یابد. ولی باکتری‌های محرک رشد حاوی ACC دی‌آمیناز با کاهش ساخت اتیلن، موجب کاهش تجزیه کلروفیل و افزایش عملکرد دانه می‌شوند (۳۸). برخی پژوهشگران از دلایل افزایش عملکرد در کاربرد باکتری‌های محرک رشد را، به کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب و ساختمان گرانوله‌ای خاک، افزایش فعالیت‌های میکروبی و آنزیمی و آزادسازی عناصر غذایی موجود در کلونیدهای خاک نسبت داده‌اند (۳۸). ملا و همکاران (۲۶) سنتز هورمون‌های محرک رشد از جمله اکسین، جیبرلین و سیتوکینین توسط باکتری‌های محرک رشد را مهم‌ترین عامل افزایش رشد و در نتیجه افزایش عملکرد دانه گزارش کردند. بوتار و همکاران (۶) گزارش کردند قطع آبیاری به‌طور معنی‌داری موجب کاهش عملکرد کلزا شد و عملکرد دانه را بین ۴۵ تا ۵۸ درصد نسبت به آبیاری کامل کاهش داد.

محتوای کلروفیل

بررسی روند تغییرات محتوای کلروفیل در شکل ۱ نشان می‌دهد که این تغییرات در تمام تیمارها روند نزولی نسبتاً مشابهی داشت، به طوری که مقدار این شاخص در مراحل اولیه نمونه‌برداری بالا بود ولی در ادامه به دلیل نزدیک شدن به مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی و همچنین پیر شدن برگ‌ها، روند نزولی داشت. نتایج نشان داد در اثر کاربرد باکتری‌های محرک رشد، روند تغییرات عدد کلروفیل متر نوسان کمتری نشان داد. به طوری که ۱۲۵ روز پس از کاشت، بیشترین محتوای کلروفیل برگ (۳۲/۹) در ترکیب تیماری آبیاری کامل و تلقیح بذر با آزوسپریلیوم و کمترین آن (۲۰/۲) در ترکیب تیماری عدم کاربرد باکتری در شرایط قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و تشکیل خورجین به‌دست آمد (شکل ۱). کاهش محتوای کلروفیل در شرایط تنش خشکی به افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز نسبت داده شده است (۲۲). همچنین کاهش در محتوای کلروفیل در اثر تنش خشکی به علت افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول است که این رادیکال‌ها موجب پراکسیداسیون و تجزیه این رنگدانه‌ها می‌شوند (۳۵). در این بررسی میزان عملکرد کوانتومی در اثر تنش خشکی کاهش یافت (شکل ۳) که به نظر می‌رسد این کاهش تا حدی به واسطه کاهش محتوای کلروفیل در اثر تجزیه آن باشد. کافی و رستمی (۱۵) در گلرنگ گزارش کردند در شرایط تنش ملایم خشکی، افزایش در عدد کلروفیل متر مشاهده می‌شود در حالی که با افزایش شدت تنش، از رنگ سبز برگ‌ها کاسته شده و محتوای کلروفیل نیز کاهش می‌یابد. اعتمادی و همکاران (۱۹) بیان داشتند که کاربرد باکتری‌های محرک رشد محتوای کلروفیل گلرنگ را افزایش داد و اظهار داشتند که باکتری‌ها از

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس تأثیر سطوح آبیاری و باکتری‌های محرک رشد بر عملکرد و برخی شاخص‌های بیوشیمیایی کلزا

میانگین مربعات											
منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد	پروتئین	پروتئین دانه	پروتئین اندام هوایی	اروسیک اسید	آرآشیدیک اسید	لینولیک اسید	یکوازانوئیک اسید	پالمیتوئیک اسید	اولیک اسید
تکرار	۲	۰/۰۹**	۰/۳۶**	۰/۰۰۵ ^{ns}	۳/۰۶**	۰/۶۰۳**	۰/۰۸۱**	۱۲/۱۷**	۰/۱۸**	۰/۰۵۳**	۵۲۵/۹۳**
سطوح آبیاری	۲	۱/۲۰۷**	۰/۱۰۹**	۵/۶۲**	۱۵/۷۶**	۰/۴۲**	۰/۰۵۲**	۷/۹۷**	۰/۰۹**	۰/۰۴۶**	۷۷/۱۳**
باکتری‌های محرک رشد	۳	۰/۳۲۳**	۰/۴۴**	۱/۰۷**	۳/۱۹**	۰/۹۴**	۰/۰۰۹**	۲/۳۳**	۰/۰۵**	۰/۰۱**	۱۹/۲۲**
سطوح آبیاری × باکتری	۶	۰/۰۹۵**	۰/۰۹۵**	۰/۰۵۲ ^{ns}	۰/۲۹ ^{ns}	۰/۰۵**	۰/۰۰۲**	۰/۵۴**	۰/۰۰۶**	۰/۰۰۴ ^{ns}	۵/۷۳**
اشنابه آزمایشی	۲۲	۰/۰۰۱	۰/۰۲۴	۰/۰۴۴	۰/۱۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۱	۰/۰۷۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۲	۰/۰۷۴
ضریب تغییرات (/)	-	۳/۹۲	۱۸/۶	۳/۳۴	۲/۹۲	۲/۸۳	۱/۳۵	۲/۹۴	۳/۲۳	۶/۲۸	۵/۴

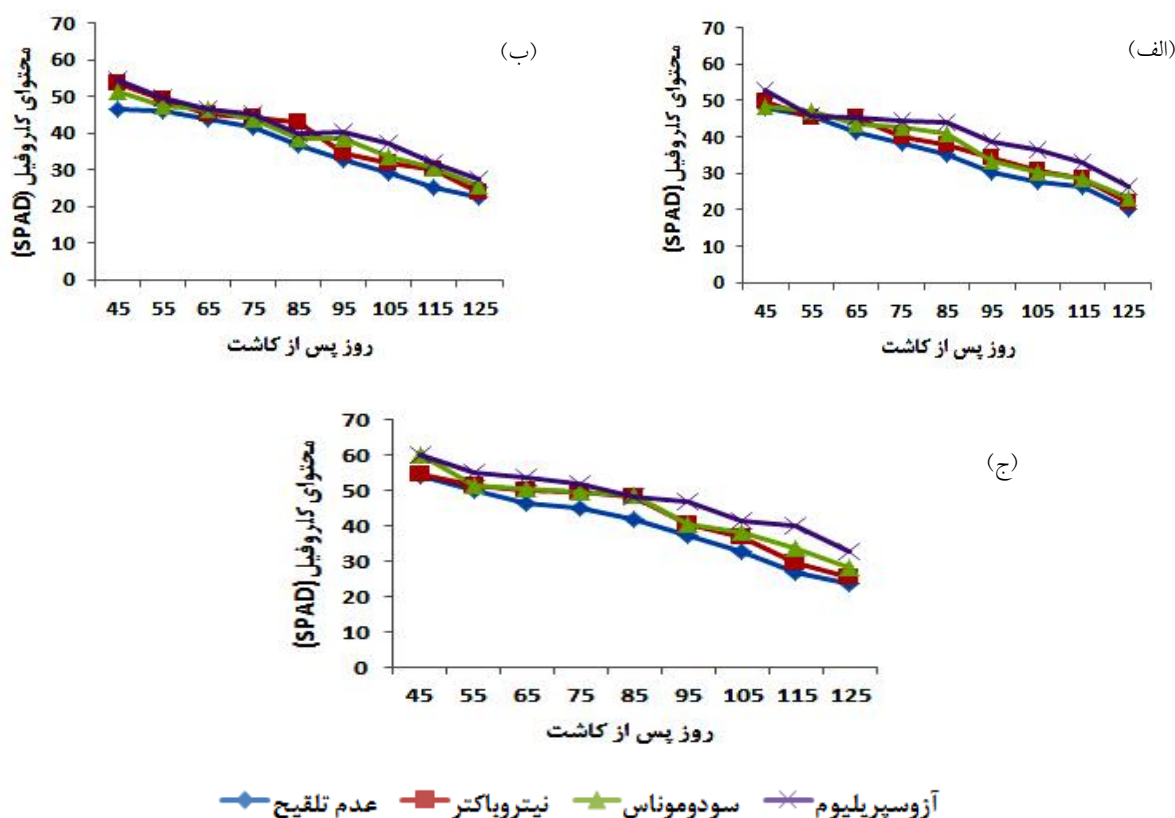
** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns، *

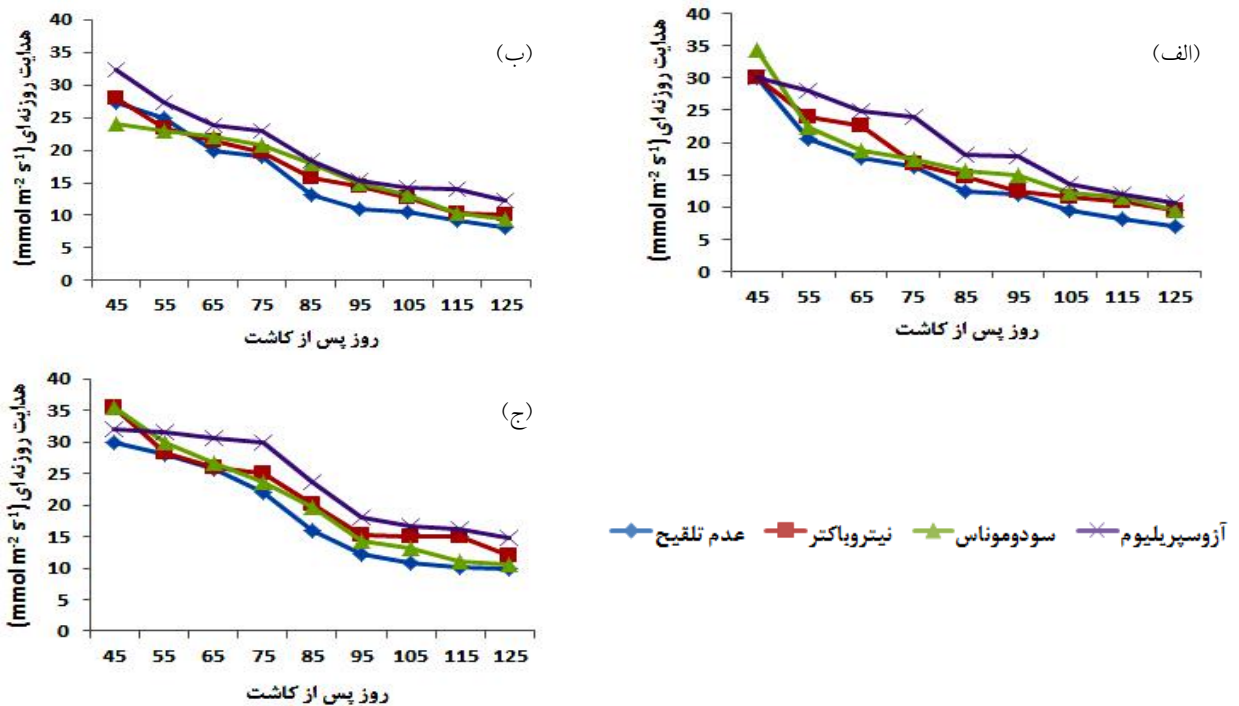
جدول ۳. نتایج مقایسه میانگین اثر محدودیت آبی در باکتری‌های محرک رشد بر عملکرد، محتوای پرولین و اسیدهای چرب دانه کلزا

ترکیب تیماری	عملکرد (تن در هکتار)	پرولین (میکروگرم در گرم وزن تر)	لینولئیک اسید	ایکوزانوائیک اسید	اروسیک اسید	آراشیدیک اسید	اسید اولئیک
عدم تلقیح	۰/۹۲ ^d	۰/۴۱ ^g	۹/۶۷ ^{dce}	۱/۱ ^o d	۲ ^c	۰/۷۷ ^{fg}	۶۷/۳۴ ^c
آبیاری کامل	۱ ^c	۰/۴۹ ^{fg}	۹/۹۴ ^{bc}	۱/۲۷ ^b	۱/۹۹ ^{efg}	۰/۷۷ ^{gh}	۶۸/۲۱ ^b
سودوموناس	۱/۵ ^b	۰/۵۵ ^{efg}	۱۰/۲۴ ^{ab}	۱/۲۲ ^{bc}	۱/۹۵ ^{fg}	۰/۷۸ ^{fg}	۶۶/۲۷ ^d
آزوسپریلیوم	۱/۶۲ ^a	۰/۷۴ ^{def}	۱۰/۴۵ ^a	۱/۳۴ ^a	۱/۸۹ ^g	۰/۷۵ ^h	۶۹/۲۴ ^a
تنش در مرحله گل‌دهی و تشکیل خورجین	عدم تلقیح	۰/۷۱ ^{def}	۸/۱۹ ^f	۱/۰۷ ^d	۲/۷۱ ^b	۰/۸۶ ^c	۶۱/۱۸ ⁱ
نیتروباکتر	۰/۷۸ ^{ef}	۰/۷۸ ^{de}	۹/۳۹ ^{de}	۱/۰۹ ^d	۲/۳۳ ^d	۰/۸۴ ^d	۶۳/۷۷ ^g
سودوموناس	۰/۵۹ ^h	۱/۲۱ ^b	۹/۸۱ ^{bcd}	۱/۲ ^c	۲/۰۵ ^{ef}	۰/۷۹ ^f	۶۲/۵۸ ^h
آزوسپریلیوم	۰/۸۳ ^c	۱/۵۲ ^a	۱۰/۰۵ ^{abc}	۱/۲۸ ^{ab}	۱/۹۷ ^{fg}	۰/۷۸ ^{fg}	۶۶/۵۳ ^d
تنش در مرحله تشکیل دانه	عدم تلقیح	۰/۵۸ ^h	۸/۱۲ ^f	۱ ^c	۲/۸۹ ^a	۰/۹۴ ^a	۶۱/۰۸ ⁱ
نیتروباکتر	۰/۶۸ ^g	۱/۰۵ ^{bc}	۸/۱۶ ^f	۱/۰۴ ^{de}	۲/۵۲ ^c	۰/۹۲ ^b	۶۴/۴۲ ^f
سودوموناس	۰/۷۶ ^{cd}	۰/۸۴ ^{cd}	۸/۱۹ ^f	۱/۰۶ ^d	۲/۶۱ ^{bc}	۰/۹۳ ^{ab}	۶۲/۲۵ ^h
آزوسپریلیوم	۰/۹۶ ^{cd}	۱/۰۷ ^{bc}	۹/۳۲ ^e	۱/۱ ^d	۱/۹۹ ^{efg}	۰/۸۲ ^c	۶۵/۰۸ ^e
LSD	-	۰/۲۶	۰/۴۶	۰/۰۶	۰/۱	۰/۰۱۹	۰/۴۶

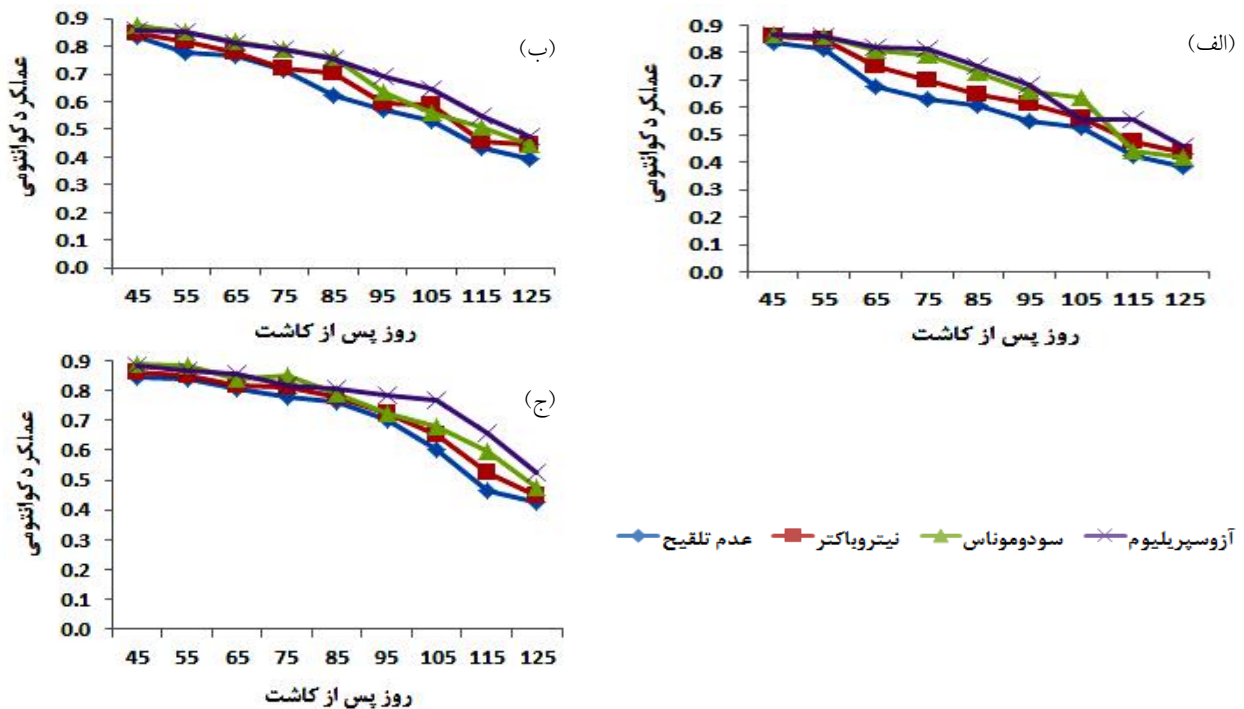
میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری با هم ندارند.



شکل ۱. اثر سطوح آبیاری و باکتری‌های محرک رشد بر روند محتوای کلروفیل برگ کلزا. الف) قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و تشکیل خورجین، ب) قطع آبیاری در مرحله تشکیل دانه و ج) آبیاری کامل



شکل ۲. اثر سطوح آبیاری و باکتری‌های محرک رشد بر روند هدایت روزانه‌ای برگ کلزا. الف) قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و تشکیل خورجین، ب) قطع آبیاری در مرحله تشکیل دانه و ج) آبیاری کامل



شکل ۳. اثر سطوح آبیاری و باکتری‌های محرک رشد بر روند عملکرد کوانتومی برگ کلزا. الف) قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و تشکیل خورجین، ب) قطع آبیاری در مرحله تشکیل دانه و ج) آبیاری کامل

طریق مکانیسم‌هایی مانند کاهش محتوای اتیلن، تأمین آهن از طریق تولید سیدروفورها، موجب پایداری بیشتر در محتوای کلروفیل برگ در مراحل انتهایی رشد می‌شوند.

محتوای پرولین

تمامی باکتری‌ها در سطوح مختلف آبیاری در مقایسه با عدم کاربرد باکتری‌ها محتوای پرولین را افزایش دادند ولی در این بین کاربرد آزوسپریلیوم از کارایی بیشتری در مقایسه با دیگر باکتری‌ها برخوردار بوده است طوری که بیشترین محتوای پرولین (۱/۵۲ میکروگرم در گرم وزن تر) در حالت کاربرد آزوسپریلیوم و قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و تشکیل خورجین و کمترین آن (۰/۴۱ میکروگرم در گرم وزن تر) در شرایط آبیاری کامل و عدم تلقیح بذر به دست آمد (جدول ۳). افزایش محتوای پرولین در گیاهانی که تحت تنش قرار گرفته‌اند، نوعی سازگاری برای غلبه بر شرایط تنش است (۲۹). تحت شرایط تنش، پرولین می‌تواند عملکردهای متفاوتی مانند ایجاد تعادل اسمزی، حفاظت از ساختار پروتئینی و غشاء سلول، تثبیت ساختارهای درون سلولی و حذف رادیکال‌های آزاد را داشته باشد (۲۵). تجمع پرولین در شرایط تنش به دلیل فعال شدن بیوستنز و غیر فعال شدن تجزیه آن است و در همه اندامک‌های گیاهی تحت تنش، به‌ویژه در برگ‌ها افزایش می‌یابد که این امر به دنبال افزایش روند شکستن پروتئین‌ها و کاهش همزمان سنتز آنها صورت می‌پذیرد (۷)، در واقع باکتری‌های محرک رشد از طریق کمک به افزایش سنتز پرولین در کاهش خسارت‌های ناشی از رادیکال‌های آزاد و تنش اکسایشی در گیاهان نقش دارند (۳۸). دین و همکاران (۸) گزارش کردند که در شرایط تنش خشکی محتوای پرولین گیاهچه‌های کلزا افزایش می‌یابد.

محتوای اسیدهای چرب

مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین محتوای لینولئیک اسید (۱۰/۴۵ درصد)، ایکوزانوائیک اسید (۱/۳۴ درصد) و اولئیک

اسید (۶۹/۲۴ درصد) در حالت آبیاری کامل و کاربرد آزوسپریلیوم و کمترین آنها (به ترتیب ۸/۱۲ و ۱/۰۸ درصد) در شرایط عدم تلقیح و اعمال تنش در مرحله تشکیل دانه به دست آمد (جدول ۳). بیشترین محتوای آراشیدیک اسید (۰/۹۴ درصد) و اروسیک اسید (۲/۸۹ درصد) در حالت اعمال تنش در مرحله تشکیل دانه و عدم کاربرد باکتری و کمترین محتوای آنها (به ترتیب ۰/۷۵ و ۱/۸۹ درصد) در شرایط آبیاری کامل و تلقیح با آزوسپریلیوم مشاهده شد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر محدودیت آبی نشان داد که بیشترین محتوای پالمیتولئیک اسید (۰/۲۸۵ درصد) در شرایط آبیاری کامل و کمترین این صفت (۰/۱۹۵ درصد) در شرایط قطع آبیاری در مرحله تشکیل دانه به دست آمد (جدول ۴). اثر باکتری‌های محرک رشد نیز نشان داد که بیشترین محتوای پالمیتولئیک اسید (۰/۲۸۸ درصد) در حالت تلقیح بذر با آزوسپریلیوم و کمترین آن (۰/۲۰۴ درصد) در شرایط عدم تلقیح مشاهده شد (جدول ۴). به نظر می‌رسد با افزایش شدت تنش خشکی، رشد گیاه کاهش یافته و این کاهش رشد روی مواد منتقل شده به دانه‌ها و درنهایت روی اسیدهای چرب مؤثر است. سیبی و همکاران (۴۰) اظهار داشتند که با افزایش شدت تنش آبی، مقدار تنفس پایه در گیاه افزایش می‌یابد و گیاه برای تأمین بخشی از افزایش در انرژی نگهداری پایه از ذخایر چربی استفاده می‌کند و این امر موجب کاهش روغن و اسیدهای چرب به خصوص اسیدهای چرب غیر اشباع می‌شود.

کاربرد باکتری‌های محرک رشد تأثیر معنی‌داری بر ترکیب اسیدهای چرب اشباع غیر اشباع کلزا داشت، که با بررسی‌های استیر و سلیر (۱۶) مطابقت نشان داد. آنها اظهار داشتند که عناصر غذایی به خصوص نیتروژن در کاربرد باکتری‌های محرک رشد بر عکس کودهای شیمیایی به آهستگی آزاد شده و در طی فصل رشد در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. در نتیجه به دلیل شستشوی کم مواد غذایی موجب می‌شود تا انتهای فصل رشد عناصر غذایی مورد نیاز گیاه تأمین شود از طرفی میزان دسترسی به نیتروژن روی ترکیب اسیدهای چرب روغن تأثیر می‌گذارد

جدول ۴. نتایج مقایسه میانگین اثر محدودیت آبی و باکتری‌های محرک رشد بر محتوای پروتئین دانه، اندام هوایی و پالمیتولنیک اسید دانه کلزا

پالمیتولنیک اسید	پروتئین اندام هوایی (درصد)	پروتئین دانه	تیمار
۰/۲۸۵ ^a	۱۴/۲۲ ^a	۱۵/۰۶ ^c	آبیاری کامل
۰/۲۶۲ ^b	۱۱/۹۲ ^c	۱۵/۴۸ ^b	تنش در مرحله گل‌دهی و تشکیل خورجین
۰/۱۹۵ ^c	۱۳/۱۲ ^b	۱۶/۴ ^a	تنش در مرحله تشکیل دانه
۰/۰۱۳	۰/۳۲	۰/۱۷	LSD
۰/۲۰۴ ^c	۱۲/۳۶ ^c	۱۵/۲۱ ^c	عدم تلقیح
۰/۲۵ ^b	۱۳/۱۲ ^b	۱۵/۷۲ ^b	نیتروباکتر
۰/۲۴۷ ^b	۱۳/۰۵ ^b	۱۵/۶۱ ^b	سودوموناس
۰/۲۸۸ ^a	۱۳/۸۲ ^a	۱۶/۰۴ ^a	آزوسپریلیوم
۰/۰۱۵	۰/۳۷	۰/۲	LSD

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری با هم ندارند.

آن (۱۵/۲۱ درصد) در شرایط عدم تلقیح مشاهده شد (جدول ۴). گلیک و همکاران (۱۱) بهبود محتوای پروتئین دانه را در حالت تلقیح بذر با باکتری‌ها به تثبیت بیولوژیکی نیتروژن و فراهمی آن در زمان پر شدن دانه نسبت دادند. سید احمدی و همکاران (۳۶) اظهار داشتند که تنش خشکی موجب افزایش (۱۸/۵ درصد) پروتئین دانه کلزا شد. آنان اظهار داشتند که در هنگام رسیدگی به دلیل تسریع دوره رشدی گیاه و نبود فرصت کافی برای سنتز روغن از پروتئین‌های ذخیره شده در دانه، موجب می‌شود که درصد پروتئین دانه در اثر خشکی افزایش یابد. شهبازی و مقدم‌دوست (۳۹) علت افزایش محتوای پروتئین تحت شرایط تنش را، به تأثیر تنش در تحریک و افزایش پروتئین‌های موجود و یا سنتز پروتئین‌های جدید نسبت دادند.

نتایج نشان داد بیشترین محتوای پروتئین اندام هوایی (به ترتیب ۱۴/۲۲ و ۱۳/۸۲ درصد) در شرایط آبیاری کامل و تلقیح با آزوسپریلیوم و کمترین آن (به ترتیب ۱۱/۹۲ و ۱۲/۳۶ درصد) در شرایط قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و تشکیل خورجین و عدم کاربرد باکتری مشاهده شد (جدول ۴). کاهش محتوای پروتئین در شرایط تنش خشکی می‌تواند به دلیل تجزیه پروتئین‌ها در شرایط تنش و عدم سنتز مجدد آنها

طوری که بررسی‌های سید شریفی (۳۷) نشان داد تلقیح بذور سویا با باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد موجب افزایش معنی‌دار محتوای اسیدهای چرب غیراشباع (اولئیک اسید و لینولئیک اسید) و کاهش اسیدهای چرب اشباع (پالمیتیک اسید و استئاریک اسید) در مقایسه با تیمار شاهد شد. یونس و همکاران (۴۳) در سویا گزارش کردند تنش خشکی بر ترکیب اسیدهای چرب روغن اثر می‌گذارد، به گونه‌ای که با افزایش محدودیت آبی محتوای اسیدهای چرب اشباع (پالمیتیک و استئاریک اسید) افزایش و محتوای اسیدهای چرب غیراشباع کاهش می‌یابد. نوشین و همکاران (۳۱) در کلزا گزارش کردند که باکتری آزوسپریلیوم محتوای اولئیک اسید و لینولنیک اسید را افزایش داد ولی محتوای اروسیک اسید را کاهش داد.

محتوای پروتئین دانه و اندام هوایی

مقایسه میانگین تأثیر سطوح آبیاری نشان داد که بیشترین محتوای پروتئین دانه (۱۶/۴ درصد) در شرایط قطع آبیاری در مرحله تشکیل دانه و کمترین این شاخص (۱۵/۰۶ درصد) در شرایط آبیاری کامل به دست آمد (جدول ۴). همچنین اثر باکتری‌های محرک رشد نشان داد بیشترین محتوای پروتئین دانه (۱۶/۰۴ درصد) در حالت تلقیح بذر با آزوسپریلیوم و کمترین

موجب کاهش آبسزیک اسید و افزایش هدایت روزنه‌ای شده است. جلیلی و همکاران (۱۳) گزارش دادند که تلقیح بذور کلزا با باکتری‌های محرک رشد موجب افزایش هدایت روزنه‌ای شد. میا و همکاران (۲۱) اظهار داشتند که باکتری‌های محرک رشد موجب افزایش هدایت روزنه‌ای گیاهان می‌شوند.

عملکرد کوانتومی (Fv/Fm)

روند تغییرات عملکرد کوانتومی در پاسخ به کاربرد باکتری‌های محرک رشد در شرایط محدودیت آبی و آبیاری کامل از الگوی نسبتاً یکسانی برای تمام تیمارها تبعیت کرد (شکل ۳).

به نظر می‌رسد استفاده از باکتری‌های محرک رشد در هر دو شرایط محدودیت آبی و آبیاری کامل موجب بهبود فعالیت‌های فتوسنتزی گیاه شده است. در واقع باکتری‌های محرک رشد توانسته‌اند بیشترین کارایی فتوسنتزی را ثابت نگه دارند. ولی تفاوت بین تنش قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و تشکیل خورجین و آبیاری کامل به‌خصوص در مراحل آخر اندازه‌گیری معنی‌دار بود. عملکرد کوانتومی در شرایط قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و تشکیل خورجین به‌شدت روند کاهشی داشت، به‌طوری که در تمام تیمارهای مورد آزمایش (۱۲۵ روز پس از کاشت) بیشترین میزان عملکرد کوانتومی برگ (۰/۵۲۳) در ترکیب تیماری تلقیح بذر با آزوسپریلیوم در شرایط آبیاری کامل و کمترین آن (۰/۳۸۷) در ترکیب تیماری عدم تلقیح در شرایط قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و تشکیل خورجین به‌دست آمد (شکل ۳). بررسی‌های انجام شده توسط میاشیتا و همکاران (۲۴) نشان داد که فلورسانس کلروفیل، Fv/Fm، سرعت تعرق و هدایت روزنه‌ای با افزایش تنش خشکی در لوبیا کاهش یافت. جلیلی و همکاران (۱۳) اظهار داشتند کاربرد باکتری‌های محرک رشد موجب افزایش فلورسانس کلروفیل کلزا شد. آنها گزارش کردند که باکتری‌های محرک رشد احتمالاً از طریق بهبود جذب آب و افزایش در نمک‌های آلی تنظیم‌کننده اسمزی، موجب افزایش در رشد گیاه و در نتیجه افزایش عملکرد کوانتومی گیاه (Fv/Fm) شدند.

در این شرایط باشد (۱۸). تخریب پروتئین‌ها و انباشت برخی اسید آمینه‌های آزاد به‌منظور حفظ و تنظیم پتانسیل اسمزی سلول و کاهش سنتز پروتئین در شرایط تنش توسط موران و همکاران (۲۸) نیز گزارش شده است. در کل محتوای پروتئین بافت‌های گیاه تحت شرایط خشکی یا شوری به‌دلیل افزایش پروتئولیز و کاهش سنتز پروتئین کاهش می‌یابد. در این پژوهش به نظر می‌رسد که تنش خشکی موجب تجزیه و کاهش محتوای پروتئین‌ها در اندام‌های هوایی شده است. احتمالاً تجزیه و تخریب پروتئین‌ها و انباشت برخی آمینواسیدهای آزاد (از جمله پرولین) در شرایط تنش خشکی، برای تنظیم اسمزی سلول و کاهش تأثیر سوء تنش باشد. قربانلی و نیاکان (۱۲) بیان کردند که با تشدید میزان تنش در سویا، محتوای پروتئین‌های محلول، هم در ساقه و برگ و هم در ریشه کاهش یافت که این روند با افزایش محتوای پرولین همراه بود.

هدایت روزنه‌ای برگ

بررسی روند تغییرات هدایت روزنه‌ای برگ در بین تیمارهای آزمایش نشان داد که هدایت روزنه‌ای برگ در طول دوره رشد گیاه با گذشت زمان از روند کاهشی برخوردار بود (شکل ۲). به‌طوری که ۱۲۵ روز پس از کاشت، بیشترین هدایت روزنه‌ای برگ (۱۴/۷ میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه) مربوط به تیمار کاربرد آزوسپریلیوم در شرایط آبیاری کامل و کمترین آن (۷/۲ میلی‌مول بر مترمربع بر ثانیه) از تیمار عدم تلقیح با باکتری و قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و تشکیل خورجین به‌دست آمد (شکل ۲). که این یافته با نتایج به‌دست آمده از انگادی و انتز (۱) در مورد کاهش هدایت روزنه‌ای در گیاهانی که در معرض تنش خشکی بودند، مطابقت داشت. تحت شرایط محدودیت آبی، بسیاری از گیاهان روزنه‌های خود را می‌بندند تا با کاهش میزان تعرق، موجب محدود کردن آب از دست رفته به محیط شوند. این فرایند به‌واسطه اسید آبسزیک تولید شده در ریشه انجام می‌شود (۲۷). پیش‌تیمار بذر با باکتری موجب گسترش ریشه و دسترسی بهتر به منابع آبی شده و از این طریق

نتیجه گیری

سودوموناس و نیتروباکتر در مرحله گل‌دهی و تشکیل خورجین به ترتیب ۵۳/۷، ۹/۲ و ۴۴/۴ درصد و در مرحله تشکیل دانه به ترتیب ۶۵/۵، ۳۱ و ۱۷/۲ درصد موجب افزایش عملکرد شدند. طوری که بیشترین عملکرد در هنگام کاربرد باکتری آزوسپیریلیوم و آبیاری کامل و کمترین آن در هنگام عدم کاربرد باکتری و اعمال محدودیت آبی در مرحله گل‌دهی و تشکیل خورجین مشاهده شد. به نظر می‌رسد کاربرد باکتری‌های محرک رشد با تعدیل اثرات تنش می‌تواند در بهبود عملکرد دانه حتی تحت شرایط محدودیت آبی مؤثر باشد.

با اعمال محدودیت آبی عملکرد، عملکرد کوانتومی، هدایت روزنه‌ای برگ، محتوای کلروفیل، لینولئیک، اولئیک، ایکوزانوائیک و پالمیتولئیک اسید کاهش ولی محتوای اروسیک و آراشیدیک اسید و پرولین افزایش یافت. کاربرد باکتری‌های محرک رشد منجر به افزایش عملکرد شد. نتایج نشان داد که قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و تشکیل خورجین و مرحله تشکیل دانه به ترتیب عملکرد دانه را ۴۶ و ۴۰/۴ درصد کاهش داد و استفاده از باکتری‌های محرک رشد آزوسپیریلیوم،

منابع مورد استفاده

1. Angadi, S. V. and M. H. Entz. 2002. Water relations of standard height and dwarf sunflower cultivars. *Crop Science* 42: 152-159.
2. AOAC. 1990. Method 988.05. Helrich, K. (Ed.). Official Methods of Analysis (15th Ed.). The Association of Official Analytical Chemists Inc. Arlington.
3. Bano, A. and M. Fatima. 2009. Salt tolerance in *Zea mays* L. following inoculation with Rhizobium and Pseudomonas. *Biology and Fertility of Soils* 45: 405-413.
4. Bates, L., S. R. P. Waldren and I. D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil* 39: 205-207.
5. Brevedan, R. E. and D. B. Egli, D. B. 2003. Short periods of water stress during seed filling, leaf senescence and yield of soybean. *Crop Science* 43: 2083-2088.
6. Buttar, G. S., H. S. Thind and M. S. Aujla. 2006. Methods of planting and irrigation at various nitrogen level affect the seed yield and water use efficiency in transplanted oil seed rape (*Brassica napus* L.). *Agricultural, Water Management* 85: 253-260.
7. Çiçek, N. and H. Çakırlar. 2002. The effect of salinity on some physiological parameters in two maize cultivars. *Bulgarian Journal of Plant Physiology* 28(1-2): 66-74.
8. Din, J., I. Soukhan and A. R. Gurmani. 2011. Physiological and agronomic response of canola varieties to drought stress. *Journal of Plant and Animal Sciences* 21: 78-82.
9. Etemadi, F., S. Madah Hosseini, H. Dashti and A. Akhgar. 2014. Investigation of the effect of plant growth promoting rhizobacteria on some growth indices and yield parameters of safflower under different soil salinity levels. *Journal of Crop Production and Processing* 4(11): 77-87. (In Farsi).
10. Ghobadi, M., M. Bakhshandeh, G. Fathi, M. H. Gharineh, K. Alamisaed, A. Naderi and V. Ghobadi. 2006. Short and long periods of water stress during different growth stages of canola (*Brassica napus* L.). Effect on yield, yield components, seed oil and protein contents. *Agronomy Journal* 5: 336-341.
11. Gillick, B. E., D. Penrose and M. Wenbo. 2001. Bacterial promotion of plant growth. *Biotechnology Advances* 19: 135-138.
12. Gorbanli, M. and M. Niakan. 2006. The effect of drought stress on soluble sugar, total protein, proline, phenolic compound, chlorophyll content and rate reductase activity in soybean (*Glycine max* L. cv. Gorgan 3). *Journal of Sciences* 18(56): 537-550. (In Farsi).
13. Jalili, F., K. Khavazi and H. Asadi Rahmani. 2012. Effects of fluorescent pseudomonades with ACC -deaminase activity on growth characteristics of canola (*Brassica napus* L.) under salinity condition. *Water and Soil Science* 21(2): 175-191. (In Farsi).
14. Jifon, J. L., J. P. Sylvertsen and E. Whaley. 2005. Growth environment and leaf anatomy affect nondestructive estimates of chlorophyll and nitrogen in Citrus sp. leaves. *Journal of American Society for Horticultural Science* 130: 152-158.
15. Kafi, M. and M. Rostami. 2008. Yield and oil content of three safflower (*Carthamus tinctories* L.) cultivars under drought in reproductive stage and irrigation with saline water. *Iranian Journal of Field Crops Research* 5(1): 121-

131. (In Farsi).
16. Khaliq, A. 2004. Irrigation and nitrogen management effects on productivity of hybrid sunflower (*Helianthus annuus* L.). PhD. Thesis, University of Agriculture. Faisalabad.
 17. Kheirizadeh Arough, Y., R. Seyed Sharifi and R. Seyed Sharifi. 2016. Bio fertilizers and zinc effects on some physiological parameters of triticale under water-limitation condition. *Journal of Plant Interactions* 11(1): 167-177.
 18. Levitt, J. 1980. Responses of Plant to Environmental Stresses. Academic Press, New York.
 19. Li, S., S. R. Pezeshki and S. Goodwin. 2004. Effects of soil moisture regimes on photosynthesis and growth in attail (*Typha latifolia*). *Acta Oecologica* 25: 17-22.
 20. Marius, S., A. Octavita, U. Eugen and A. Vlad. 2005. Study of a microbial inoculation on several biochemical indices in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Genetics and Molecular Biology* 12(2): 11-17.
 21. Mia, M. A. B., Z. H. Shamsuddin and M. Mahmood. 2010. Use of plant growth promoting bacteria in banana, a new insight for sustainable banana production. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 12: 459-467.
 22. Mihalovic, N. and M. Lazarevic. 1977. Chlorophyllaz activity in wheat (*Triticum aestivum* L.) leaves during drought and its dependence on the nitrogen on applied. *Field Crops Research* 9: 46-58.
 23. Ministry of Agricultural Jihad. 2016. Agricultural statistics of the first, second and third years of 2016. <http://www.maj.ir/index.aspx>.
 24. Miyashita, K., S. Tanakamaru, T. Maitani and K. Kimura. 2005. Recovery responses of photosynthesis, transpiration and stomatal conductance in kidney bean following drought stress. *Environmental and Experimental Botany* 53: 205-214.
 25. Molinari, H. B. C., C. J. Marur, J. C. Bepalhok, A. K. Kobayashi, M. Pileggi, F. P. P. Pereira and G. E. Vieira. 2004. Osmotic adjustment in transgenic Citrus rootstocks (*Carrizo citrange*) overproducing proline. *Plant Science* 167: 1375-1381.
 26. Molla, A. H., Z. H. Shamsuddin, M. S. Halimi, M. Morziach and A. B. Puteh. 2001. Potential for enhancement of root growth and nodulation of soybean co-inoculation with *Azospirillum* and *Bradyrhizobium* in laboratory systems. *Soil Biology and Biochemistry* 33: 457-463.
 27. Monneveux, P., D. Rekika, E. Acevedo and O. Merah. 2006. Effect of drought on leaf gas exchange, carbon isotope discrimination, transpiration efficiency and productivity in field grown durum wheat genotypes. *Plant Science* 170: 867-872.
 28. Moran, J. F., M. Becana, I. Ormaetxe, S. L. Frechilla, R. V. Klucasc and D. A. Tejo. 1994. Drought induces oxidative stress in pea plants. *Planta* 194: 346-352.
 29. Najafi, R., J. Vafabakhsh, Gh. Taheri, H. R. Zabihi. 2015. Effect of application of pseudomonas fluorescent strains on yield and yield components of rapeseed cultivars. *Iranian Journal of Field Crops Research* 13(2): 211-217. (In Farsi).
 30. Niazi, J. and R. Fouladmand. 2006. Irrigation regime and requirement of three different cultivars of rapeseed in Zarghan region, Fars province. *Journal of Sciences and Technologies of Agriculture and Natural Resources* 10(3): 71-81.
 31. Nosheen, A., A. Bano and F. Ullah. 2013. The role of plant growth promoting rhizobacteria on oil yield and biodiesel production of Canola (*Brassica napus* L.). *Energy Sources Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects* 35: 1574-1581.
 32. Ohara, N., Y. Naito, K. Kasama, T. Shindo, H. Yoshida, T. Nagata and H. Okuyama. 2009. Similar changes in clinical and pathological parameters in Wistar Kyoto rats after a 13-week dietary intake of canola oil or fatty acid composition-based interesterified canola oil mimic. *Food and Chemical Toxicology* 47: 157-162.
 33. Pham-Thi, A. T., C. Borrel-Flood, J. Vieira Da Sila, A. M. Justin and P. Mazliak. 1986. Effects of water stress on lipid metabolism in cotton leaves. *Journal of Photochemistry* 24: 723-727.
 34. Schoebitz, M., C. Mengual and A. Roldan. 2014. Combined effects of clay immobilized *Azospirillum brasilense* and *Pantoea dispersa* and organic olive residue on plant performance and soil properties in the revegetation of a semiarid area. *Science of the Total Environment* 466: 67-73.
 35. Schutz, H. and E. Fangmier. 2001. Growth and yield responses of spring wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Minaret) to elevated CO₂ and water limitation. *Environmental Pollution* 114: 187-194.
 36. Seyed Ahmadi, A., A. Bakhshandeh and M. H Gharineh. 2015. Evaluation physiological characteristics and grain yield canola cultivars under end seasonal drought stress in weather condition of Ahvaz. *Iranian Journal of Field Crops Research* 13(1): 71-80.
 37. Seyed Sharifi, R. 2016. Application of biofertilizers and zinc increases yield, nodulation and unsaturated fatty acids of soybean. *Zemdirbyste-Agriculture* 103(3): 251-258.
 38. Seyed Sharifi, R. and A. Namvar. 2015. Bio fertilizers in Agronomy. University of Mohaghegh Ardabili Press. Iran. (In Farsi).
 39. Shahbazi, M. and Z. Mohaghegh Doust 1996. Evaluating effects of NaCl on growth and accumulation of organic and inorganic matter in wheat. *Iranian Journal of Agriculture Science* 27: 70-87.
 40. Sibi, M., M. Mirzakhani and M. Gomaryan. 2012. Effects of water stress, zeolite and salicylic acid application on

- oil quantity and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Iranian Journal of Dynamic Agriculture* 9(2): 153-169. (In Farsi).
41. Sivasakthi, S., G. Usharani and P. Saranraj. 2014. Biocontrol potentiality of plant growth promoting bacteria- *Pseudomonas fluorescens* and *Bacillus subtilis*: A review. *African Journal of Agricultural Research* 9(16): 1265-1277.
42. Ullah, F., A. Bano and A. Nosheen. 2012. Effects of plant growth regulators on growth and oil quality of Canola (*Brassica napus* L.) under drought stress. *Pakistan Journal of Botany* 44(6): 1873-1880.
43. Younis, M. E., A. M. Gaber and M. El-Nimr. 2001. Plant growth, metabolism and adaptation of *Glycine max* and *Phaseolus vulgaris* subjected to anaerobic conditions and drought. *Egyptian Journal of Physiological Sciences* 23: 273-296.

Effect of Irrigation Levels and Plant Growth Promoting Rhizobacteria on Yield, Some Physiological and Biochemical Indices of Rapeseed (*Brassica napus* L.)

H. Vatan Doost¹, R. Seyed Sharifi^{2*} and Y. Kheirizadeh Arough³

(Received: November 7-2017 ; Accepted: September 10-2018)

Abstract

In order to study the effect of irrigation levels and plant growth promoting rhizobacteria on yield, some physiological and biochemical indices of rapeseed, a factorial experiment was conducted based on randomized complete block design with three replications in Agricultural Research Station of Ardabil, Ardabil, Iran in 2016. The factors included in the experiment were irrigation in three levels (irrigation withholding at 50% of flowering and pod formation stages, irrigation withholding at 50% of grain formation stage, full irrigation or control) and application of bio-fertilizers in four levels (no inoculation, inoculations with *Nitrobacter*, *Pseudomonas* and *Azospirillum*). Results showed that water limitation decreased yield, quantum yield, stomatal conductance, chlorophyll index, linoleic acid, eicosenoic acid and palmitoleic acid, but increased erucic acid, arashidic acid and proline contents. Mean comparisons showed that the highest grain yield (1.62 ton ha⁻¹), quantum yield (0.523), stomatal conductance (14.7 mmol m⁻² s⁻¹), chlorophyll content (32.9), linoleic acid (10.45%) and eicosenoic acid contents (1.34%) were obtained in inoculation with *Azospirillum* and full irrigation. The highest contents of erucic acid (2.89%) and arashidic acid (0.94%) were observed at no inoculation and irrigation withholding in grain formation stage. The maximum of proline content (1.52 µg g⁻¹ FW) was obtained in inoculation with *Azospirillum* and irrigation withholding at flowering and pod formation stage. It seems that application of plant growth promoting rhizobacteria leads to improving of some physiological traits such as quantum yield, chlorophyll content, stomatal conductance and proline content and can be recommended for profitable canola production under water limitation conditions.

Keywords: Chlorophyll Content, Fatty Acid, Quantum Yield, Rapeseed, Stomatal Conductance

1, 2, 3. PhD. Student, Professor and PhD. Graduate, Respectively, Department of Agronomy and Plant Breeding, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

*: Corresponding Author, Email: Raouf_ssharifi@yahoo.com