تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد پانزدهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۱

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2021.3740.1908

مقاله پژوهشی

بررسی تلقیح ازتوباکتر و قطع آبیاری بر عملکرد و برخی خصوصیات فیزیولوژیک ارقام کلزا

مسعود غلامی[۱]، سیدعطاءاله سیادت[۲*]، احمد کوچک‌زاده[۳]، محمدرضا مرادی تلاوت[۳]، مسعود رفیعی[۴]

۱. دانشجوی دکتری زراعت، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
۲. استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
۳. دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
۴. استادیار پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان
پرولین
قندهای محلول
کاروتنوئید
کلروفیل

تاریخ دریافت:
۱۳۹۹/۰۷/۰۷

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۰/۰۷/۱۷

تاریخ انتشار:
تابستان ۱۴۰۱
۱۵(۲): ۳۷۵-۳۹۲

چکیده

به‌منظور ارزیابی عملکرد دانه و محتویات سلولی کلزا در تلقیح با ازتوباکتر و قطع آبیاری، آزمایشی در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵، به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. تیمارها شامل قطع آبیاری از مراحل ۳۰ درصد گل‌دهی و ۳۰ درصد خورجین‌دهی و آبیاری مطلوب، تلقیح بذور با ازتوباکترکروکوکوم سویه‌های ۶۳، ۷۰ و بدون تلقیح و ارقام کلزا شامل نپتون، اکتان و اکاپی (شاهد) بودند. اثر قطع آبیاری بر عملکرد، پرولین، قندهای محلول، پروتئین، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و رنگیزه‌های فتوسنتزی معنی‌دار شد. اثر ازتوباکتر بر همه صفات مزبور غیر از عملکرد و پرولین معنی‌دار گردید. ارقام کلزا ازنظر عملکرد، قندهای محلول، آنزیم کاتالاز و کلروفیل b و کلروفیل کل متفاوت بودند اما در تجمع پرولین، پروتئین، آنزیم پراکسیداز، کاروتنوئید، کلروفیل a و نسبت کلروفیل a/b اختلاف نداشتند. بیشترین میزان پرولین، قندهای محلول، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در قطع آبیاری از ۳۰ درصد گل‌دهی و بیشترین پروتئین و رنگیزه‌های فتوسنتزی از آبیاری مطلوب به دست آمد. ازتوباکتر باعث افزایش پروتئین، کلروفیل و کاروتنوئید گردید. ارقام هیبرید اکتان و نپتون ازنظر آنزیم کاتالاز و کلروفیل نسبت به رقم اکاپی برتر بودند اما رقم اکاپی ازنظر قندهای محلول نسبت به ارقام هیبرید اکتان و نپتون برتری داشت. بیشترین عملکرد دانه با ۴۵۵۹ کیلوگرم در هکتار از آبیاری مطلوب به دست آمد. با قطع آبیاری از مراحل ۳۰ درصد خورجین‌دهی و ۳۰ درصد گل‌دهی عملکرد دانه به ترتیب ۵/۹۹ درصد و ۲۳/۶۵ درصد کاهش داشت. ارقام هیبرید اکتان و نپتون با عملکرد دانه ۴۵۸۴ و ۴۲۹۰ کیلوگرم در هکتار نسبت به رقم اکاپی، به ترتیب ۲۴/۷ و ۱۹/۶ درصد برتر بودند. درنتیجه قطع آبیاری باعث کاهش عملکرد و رنگیزه‌های فتوسنتزی شد اما محتویات سلولی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را افزایش داد. چون ازتوباکتر، قندهای محلول، پروتئین، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، رنگیزه‌ها و تا حدودی عملکرد را افزایش داد، می‌تواند برای بهبود تغذیه کلزا استفاده شود.

مقدمه

کلزا یکی از مهم‌ترین منابع روغن نباتی در ایران است (Omidi, 2010). این گیاه، دارای جایگاه سوم دانه‌های روغنی بعد از روغن نخل و سویا در جهان است (FAO, 2011). روغن کلزا حاوی کمترین اسیدهای چرب اشباع در بین روغن‌های گیاهی است (Din, et al., 2011). یکی از مشکلات توسعه کشت کلزا تنش خشکی است (Mendham and Salisbury, 1995). تنش خشکی در مرحله زایشی، ۳۰ درصد روغن، پروتئین و عملکرد دانه کلزا را کاهش می‌دهد (Sinaki et al., 2007). در تنش خشکی در کلزا، آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و گلوتاتیون پراکسیداز افزایش داشت (Hamrahi, 2008). تحمل کلزا به تنش خشکی متوسط است و از سیستم مهار گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن در تحمل تنش استفاده می‌نماید (Scandalios, 1993). کلزا فعالیت آنزیم‌ها را در پاسخ به

* نگارنده پاسخگو: سیدعطاءاله سیادت. پست الکترونیک: seyedatasiadat@yahoo.com

تنش افزایش می‌دهد، این واکنش‌ها ممکن است برای غلبه بر اثرات زیان‌بار و بلندمدت، کافی نباشد. در کلزا مهار پراکسید هیدروژن با آنزیم سوپراکسید دیسموتاز، تابع ژنوتیپ است (Tohidi Moghaddam et al., 2009). افزایش شدت خشکی منجر به افزایش فعالیت آنزیمی کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز و خنثی شدن رادیکال‌های آزاد در کلزا می‌شود. کاهش تولید کاتالاز، شدت اثر تنش خشکی را افزایش می‌دهد (Omidi, 2010; Kalantar ahmadi et al., 2015).

نقش آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز و کاتالاز، کاهش غلظت هیدروژن پراکسید و سوپراکسید است (Zhao et al., 2005; Saneoka, et al., 2004). گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر شامل سوپراکسید، هیدروکسیل، الکوکسی، پراکسید هیدروژن و اکسیژن ساده در شرایط عادی تولید می‌شوند ولی تولید بیش‌ازحد آن‌ها مضر است (Esfandiari, 2007). این یون‌ها با پروتئین، چربی و اسید دئوکسی ریبونوکلئیک واکنش نشان می‌دهند و باعث آسیب اکسیداتیو در سلول‌ها می‌شوند. گیاهان برای کاهش این اثر مخرب، مکانیسم‌های متفاوتی ازجمله سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیر آنزیمی دارند (Agarwal and Pandey, 2004). بخش آنزیمی شامل کاتالاز، اسکوربات پراکسیداز، گلوتاتیون پراکسیداز، پرولین و گوآیاکول پراکسیداز است (Foyer and Noctor, 2002). بخش غیر آنزیمی شامل سیستئین، اسکوربات، توکوفرول، کاروتنوئیدها، فلاونوئیدها، مانیتول‌ها و پلی‌فنل‌ها است (Blokhina et al., 2003). کاتالاز و پراکسیداز، پراکسید هیدروژن را به آب و اکسیژن تجزیه می‌کنند. تنش اکسیداتیو باعث غیرفعال شدن آنزیم‌های کلروپلاست، کاهش میزان فتوسنتز برگ، تخریب پروتئین و ازهم‌گسیختگی غشاء می‌شود (Sairam, 2000).

تنش خشکی در کلزا موجب افزایش قندهای محلول، بالا رفتن پتانسیل اسمزی و جذب آب می‌گردد. افزایش غلظت پرولین و قندهای محلول در ارقام کلزا، متفاوت است و میزان آن به مقاومت به خشکی ارقام مرتبط است (Mirzaee et al., 2013). افزایش پرولین در تنش، نتیجه تجزیه پروتئین و کاهش رشد است. تجمع پرولین در پاسخ به خشکی، راه‌حلی برای جذب آب در سلول است (Ashraf, and Foolad, 2007). اکسیژن فعال، سبب پراکسیداسیون چربی‌های غشاء، تخریب پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک و کاهش کلروفیل می‌شود. ارقام دارای کلروفیل بیشتر، مقاومت بیشتری به تنش دارند (Gregersen and Holm, 2007). تنش کم‌آبی میزان رنگ‌دانه‌های کلروفیل، کاروتنوئید و آنتی‌سیانین را کاهش می‌دهد (Mihailović et al., 1997). پتانسیل اسمزی با تبدیل پلی‌ساکاریدهای نامحلول به قندهای محلول مانند الیگوساکاریدها، ساکارز و گلوکز تنظیم می‌شود (Hendry, 1993).

روش‌های زیستی تغذیه گیاه و حفظ ساختار طبیعی سیستم زنده خاک، امری ضروری است. کودهای زیستی مانند ازتوباکتر علاوه بر اثرات مثبتی که بر خاک دارند، از جنبه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی نیز سودبخش بوده و می‌توانند جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی باشند (Khavazi et al., 2005). باکتری‌های افزاینده رشد، علاوه بر سازگاری با محیط‌زیست، سبب تحمل گیاه به تنش‌ها می‌شوند (Deepak Bhardwaj et al., 2014). با بررسی اثر خشکی انتهای فصل و تلقیح کودهای زیستی، می‌توان ارقام سازگار کلزا را در شرایط تنش به‌وسیله پاسخ آنتی‌اکسیدانی آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز، تجمع پرولین و میزان رنگیزه‌های مختلف، شناسایی نمود و با کاهش مصرف آب و کودهای شیمیایی، عملکرد اقتصادی مطلوب را به دست آورد. لذا جهت بررسی واکنش ارقام کلزا به کاربرد ازتوباکترکروکوکوم در شرایط قطع آبیاری و مطالعه اثرات متقابل بر عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک و تغییرات مواد سلولی، آزمایشی اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی سراب چنگایی خرم‌آباد، به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۴ تکرار اجرا شد. عامل قطع آبیاری در کرت‌های اصلی، شامل قطع آبیاری از مراحل ۳۰ درصد گل‌دهی و توسعه ۳۰ درصد خورجین‌ها و آبیاری معمولی بر اساس نیاز گیاه، حجم آب در هر بار آبیاری برای تیمار آبیاری کامل از رابطه زیر محاسبه گردید.

$$Vw=(FC-PWP)\times BD\times A\times D/Ea \qquad [۱]$$

که در آن Vw: حجم آب آبیاری (مترمکعب)، FC: درصد وزنی رطوبت خاک در حالت ظرفیت مزرعه ۲۸٪، PWP: درصد وزنی رطوبت خاک در زمان آبیاری ۱۴٪، BD: وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب) ۱،۲۵، A: مساحت کرت آزمایشی (مترمربع)، D: عمق ریشه (متر)، Ea: راندمان کاربرد آب آبیاری هستند.

پس از محاسبه‌ی مقدار آب لازم، با استفاده از لوله انتقال آب دارای کنتور تا رسیدن به حد ظرفیت مزرعه آبیاری انجام شد. مجموع آبیاری پاییزه، بارش سال زراعی و آبیاری برای تیمار آبیاری کامل (شاهد)، به میزان ۶۸۴۳ مترمکعب بود. تلقیح بذور با ازتوباکترکروکوکوم شامل سویه‌های ۶۳ و ۷۰ و بدون تلقیح (شاهد) و ارقام کلزا شامل ارقام هیبرید نپتون، اکتان و رقم اکاپی (شاهد) به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. پیش از کاشت جهت تعیین جمعیت ازتوباکتر خاک، نمونه‌گیری و اندازه‌گیری‌های لازم به عمل آمد. جمعیت باکتری‌های بومی خاک ۱۰۳×۱/۵ و در هر گرم مایه تلقیح ۱۰۷×۹/۸ سلول در هر گرم برآورد شد. باکتری ازتوباکترکروکوکوم از بانک ریزجانداران مفید بخش بیولوژی خاک مؤسسه تحقیقات خاک و آب تهیه شد. برای انجام تلقیح، بذور به مدت ۳۰ دقیقه در سوسپانسیون باکتری غوطه‌ور شدند، سپس در سایه خشک و کشت گردیدند (Milosevic, 2012).

جهت تهیه بستر کاشت، دو بار آبیاری، شخم عمیق، پخش کودهای سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم به ترتیب به میزان ۱۰۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار، دو دیسک عمود بر هم و تسطیح انجام گرفت. جوی و پشته‌هایی با فاصله ۵۰ سانتی‌متر ایجاد و روی هر پشته دو خط به فاصله ۲۵ سانتیمتر کشت شد. فاصله بین کرت‌های فرعی یک، کرت‌های اصلی دو و بین بلوک‌ها سه متر منظور شد. هر کرت اصلی شامل نه کرت فرعی به طول چهار متر، عرض یک و نیم متر و شامل شش خط کشت بود. بذور به‌صورت یکنواخت و بیشتر از تراکم موردنیاز در عمق یک تا دو سانتی‌متر کاشته شدند. اولین آبیاری در تاریخ ۱۳۹۵/۸/۱ برابر با تاریخ کاشت تعیین گردید. برای جلوگیری از نفوذ آب به کرت‌های مجاور، پشته‌هایی با ارتفاع و عرض مناسب ایجاد شد. پس از سبز شدن در مراحل ۳-۲ و ۶-۴ برگی تنک انجام شد و فواصل بوته‌ها روی خطوط کاشت ۱۰ سانتی‌متر و تراکم بوته به میزان ۴۰ بوته در مترمربع فراهم شد. برای اعمال تیمارهای قطع آبیاری، از مراحل ۳۰ درصد گل‌دهی و ۳۰ درصد خورجین‌دهی تا انتهای دوره رشد، آبیاری انجام نشد اما در تیمار آبیاری معمولی، آبیاری بر اساس نیاز صورت گرفت.

نمونه‌برداری برای تعیین میزان پروتئین، قندهای محلول، پرولین، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، کلروفیل و کاروتنوئید از بافت سبز اندام‌های هوائی شامل برگ و ساقه انجام گرفت. برای اندازه‌گیری پرولین، ۵۰۰ میلی‌گرم از مواد گیاهی هموژن منجمد شد و در یک میلی‌لیتر آب استریل در ۵۰۰۰ دور در دقیقه به مدت پنج دقیقه سانتریفوژ قرار داده شد. ۱۰۰ میکرولیتر عصاره با اسید نین‌هیدرین به مدت یک ساعت در ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد مخلوط شد و واکنش در حمام یخ متوقف گردید. مخلوط واکنش تکان داده شد و چگالی نوری در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر مشخص شد. سطح محتوای پرولین با استفاده از منحنی استاندارد برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر تعیین شد (Bates et al., 1973). برای اندازه‌گیری کاتالاز، عصاره پروتئینی تهیه و یک گرم بافت تر اندام هوایی منجمد شده در هاون چینی محتوی ۵ میلی‌لیتر بافر تریس (۰/۰۵ مولار pH=۷/۵) به مدت ۳۰ دقیقه در حمام یخ ساییده شد. سپس نمونه‌ها در لوله به مدت ۳۰ دقیقه در ۱۵۰۰۰ دور، سانتریفوژ انجام و صاف شدند و تغییرات در ۲۴۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد و فعالیت آنزیمی محاسبه گردید (Aebi, 1984). فعالیت آنزیم پراکسیداز با اکسیداسیون گایاکول در حضور H2O2 تعیین و افزایش جذب در ۴۷۰ نانومتر ثبت شد (Hernandez et al., 2000). برای اندازه‌گیری رنگیزه‌های فتوسنتزی ۱۰۰ میلی‌گرم از بافت تر برگ‌های بالای پوشش گیاهی توسط ازت مایع فریز گردید. مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی با استن ۸۰ درصد استخراج و اندازه‌گیری کلروفیل a،b و کاروتنوئید با دستگاه اسپکتروفتومتر به ترتیب در طول‌موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر انجام و با استفاده از رابطه‌های زیر محاسبه گردید (Arnon, 1967).

$$Chl.a = 19.3\ (A663) - 0.86\ (A645)\ v/100w \quad [۲]$$

$$Chl.b = 19.3\ (A645) - 3.6\ (A663)\ v/100w \quad [۳]$$

$$Car = 100\ (A470) - 3.27\ (mg\ Chl.a) - 104\ (mg\ Chl.b)\ /227 \quad [۴]$$

برای اندازه‌گیری قند ۲۰ میلی‌گرم بافت خردشده در ۴ میلی‌لیتر بافر به مدت پنج دقیقه در ۹۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ و دو میلی‌لیتر از کلروفورم و آب مقطر به آن اضافه شد. دو میلی‌لیتر از نمونه با یک میلی‌لیتر آب مقطر، یک میلی‌لیتر فنل ۵٪ و پنج میلی‌لیتر اسیدسولفوریک مخلوط شد. بعد از ظهور رنگ صورتی تیره، در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه در داخل آون نگهداری شد. نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد در حمام آب قرار گرفتند و جذب در ۴۹۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Du bois et al.,1956). برای تعیین میزان پروتئین،

یک میلی‌لیتر از محلول برادفورد، به همراه ۱۰۰ میکرولیتر عصاره‌ی آنزیمی پس از مخلوط شدن کامل، در دستگاه اسپکتروفتومتر قرار گرفت و جذب محلول در طول‌موج ۵۹۵ نانومتر ثبت شد. غلظت پروتئین برحسب میلی‌گرم بر گرم بافت تازه با استفاده از منحنی استاندارد محاسبه شد (Bradfod, 1976). برای محاسبه عملکرد دانه، بوته‌های فضای عملکرد به مساحت سه مترمربع، برداشت شدند و با جداسازی، دانه‌ها در رطوبت ۱۲ درصد توزین و عملکرد دانه محاسبه شد. برای تجزیه واریانس از نرم‌افزار SAS 9.1.3 استفاده و میانگین‌ها با آزمون دانکن مقایسه شدند.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد اثرات ساده رژیم آبیاری بر عملکرد دانه معنی‌دار شد به‌گونه‌ای که قطع آبیاری باعث کاهش عملکرد می‌شود، هرچه تیمار قطع آبیاری زودتر اعمال شود کاهش عملکرد بیشتر است. هرچند اثر ساده ازتوباکترکروکوکوم بر عملکرد دانه معنی‌دار نبود اما تا حدودی عملکرد دانه را افزایش داد. ارقام کلزا ازنظر عملکرد دانه اختلاف معنی‌داری با هم داشتند و رقم هیبرید اکتان بیشترین عملکرد دانه را داشت. دو رقم هیبرید اکتان و نپتون نسبت به رقم اکاپی (شاهد) با اختلاف معنی‌دار، عملکرد بیشتری داشتند. بررسی برهمکنش تیمارها نشان داد بیشترین پروتئین در تیمار آبیاری نرمال و تلقیح با ازتوباکتر و کمترین پروتئین نیز از تیمارهای بدون تلقیح و قطع آبیاری به دست آمد. در تیمار قطع آبیاری از مرحله ۳۰ درصد گل‌دهی و آبیاری نرمال به ترتیب بیشترین و کمترین غلظت پرولین مشاهده شد. قطع آبیاری باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز گردید اما تلقیح با ازتوباکتر، میزان آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز را کاهش داد. قطع آبیاری باعث کاهش کلروفیل a، b و کل شد. اثر متقابل قطع آبیاری، باکتری و رقم بر کلروفیل a نشان داد که ارقام هیبرید نپتون و اکتان در تلقیح با سویه ۷۰ در تیمار آبیاری نرمال، بیشترین میزان کلروفیل a را تولید نمودند. بیشترین میزان کلروفیل b در ارقام هیبرید اکتان و نپتون در سویه‌های ۶۳ و ۷۰ در آبیاری نرمال و کمترین میزان کلروفیل b نیز از رقم هیبرید اکتان در تیمار بدون ازتوباکتر و قطع آبیاری از ۳۰ درصد گل‌دهی ایجاد شد. رقم هیبرید اکتان در آبیاری نرمال و سویه ۷۰، بیشترین مجموع کلروفیل را داشت. بیشترین کاروتنوئید از رقم هیبرید اکتان در سویه ۶۳ و آبیاری نرمال به دست آمد. در شرایط تنش کم‌آبی و بدون باکتری، میزان کلروفیل b کاهش یافت. رقم اکاپی نسبت به ارقام هیبرید نپتون و اکتان قند بیشتری تولید نمود. هرچه زمان قطع آبیاری زودتر باشد، غلظت قند در بافت سبز بیشتر می‌شود.

عملکرد دانه

اثر متقابل قطع آبیاری و ارقام بر عملکرد دانه کلزا در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). ارقام مختلف کلزا واکنش متفاوتی به تنش رطوبتی انتهای فصل نشان می‌دهند (Ghodrati, 2013). عملکرد دانه ارقام هیبرید اکتان و نپتون در آبیاری نرمال به ترتیب ۵۲۵۸/۳ و ۴۷۴۲/۲ کیلوگرم در هکتار بود که به ترتیب ۳۰/۰۶ و ۱۷/۲۱ درصد از رقم شاهد در این رژیم آبیاری بیشتر بود. در تیمار قطع آبیاری از مرحله ۳۰ درصد خورجین‌دهی عملکرد دانه رقم هیبرید نپتون بالاتر بود و ارقام هیبرید نپتون و اکتان با ۴۶۹۹/۷ و ۴۵۶۷/۷ کیلوگرم در هکتار به ترتیب ۲۳/۵۷ و ۲۱/۳۶ درصد نسبت به شاهد برتر بودند و رقم هیبرید اکتان در آبیاری نرمال بیشترین عملکرد دانه را تولید نمود (جدول ۲). با افزایش آبیاری، رقم هیبرید اکتان، نسبت به تیمارهای قطع آبیاری از مراحل ۳۰ درصد گل‌دهی و ۳۰ درصد خورجین‌دهی، به ترتیب ۲۵/۳۴ و ۱۳/۱۳ درصد، افزایش عملکرد دانه داشت. افزایش عملکرد دانه رقم اکاپی در آبیاری نرمال نسبت به قطع آبیاری از مراحل ۳۰ درصد گل‌دهی و خورجین‌دهی به ترتیب ۱۶/۰۷ و ۲/۳۳ درصد بود. همچنین افزایش عملکرد رقم هیبرید نپتون نسبت به قطع آبیاری از مراحل ۳۰ درصد گل‌دهی و خورجین‌دهی به ترتیب ۲۷/۶۵ و ۱ درصد بود و رقم هیبرید نپتون در تیمار قطع آبیاری از مرحله ۳۰ درصد خورجین‌دهی، عملکرد بالاتری داشت. در تیمار آبیاری نرمال عملکرد رقم هیبرید اکتان نسبت به ارقام نپتون و اکاپی به ترتیب ۹/۸۱ و ۳۰/۰۶ درصد برتری نشان داد و رقم اکاپی نسبت به رقم هیبرید نپتون ۲۲/۴۵ درصد کاهش داشت (جدول ۲). گزارش شده است که قطع آبیاری از ابتدای گل‌دهی باعث کاهش ۲۵ درصدی عملکرد دانه و آبیاری نرمال باعث برتری ویژگی‌های کمی و کیفی کلزا می‌شود (Ghodrati, 2013). قطع آبیاری در مراحل گل‌دهی و خورجین‌دهی اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه کلزا دارد و هر چه زمان قطع آبیاری زودتر باشد، عملکرد دانه کمتر است (Jabbari et al., 2015). تنش رطوبتی در مراحل گل‌دهی

جدول ۱. تجزیه واریانس اثر مایه تلقیح ازتوباکتر بر میزان عملکرد دانه، پرولین، قندهای محلول غیر ساختاری، پروتئین، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز و پراکسیداز و رنگیزه‌های فتوسنتزی اندام هوائی ارقام کلزا (*Brassica napus* L.) در شرایط قطع آبیاری

Table 1. Analysis of variancesof the effect of azotobacter inocullum on yeild, proline, unstructured soluble sugars, protein, catalase and peroxidase antioxidant enzymes photosynthetic pigments content of canola (*Brassica napus* L.) cultivars in terminal cessation of irrigation condition.

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	عملکرد دانه grain yeild	پرولین اندام هوایی proline	قندهای محلول غیرساختاری unstructured soluble sugars	پروتئین اندام هوایی protein	پراکسیداز اندام هوایی peroxidase	کاتالاز اندام هوایی catalase
Block	بلوک	3	2983472 **	0.002 ^{ns}	20.68 ^{ns}	0.0015 ^{ns}	0.0006 ^{ns}	0.0267 **
Irrigation	آبیاری	2	11318330**	0.05 **	2118.8 **	0.105 **	0.35 **	0.061 **
Block × Irrigation	بلوک × آبیاری	6	878382*	0.002 ^{ns}	39.27 ^{ns}	0.0027 **	0.0018 ^{ns}	0.00044^{ns}
Bacteria	باکتری	2	725732^{ns}	0.001 ^{ns}	335.6 **	0.0627 **	0.137 **	0.024 **
Variety	رقم	2	12428648**	0.0002 ^{ns}	172.75 **	0.00025 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.0083 **
Bacteria × Irrigation	آبیاری × باکتری	4	187984^{ns}	0.025 **	314.9 **	0.0052 **	0.031 **	0.0059 **
Variety × Irrigation	رقم × آبیاری	4	950570*	0.0003 ^{ns}	85.13 **	0.00084 ^{ns}	0.0036 ^{ns}	0.0019 **
Bacteria × Variety	باکتری × رقم	4	109719^{ns}	0.00072 ^{ns}	12.77 ^{ns}	0.00024 ^{ns}	0.0017 ^{ns}	0.0007 ^{ns}
Bacteria × Variety × Irrigation	باکتری × رقم × آبیاری	8	198607^{ns}	0.00069 ^{ns}	9.37 ^{ns}	0.00017 ^{ns}	0.0025 ^{ns}	0.00036 ^{ns}
Error	اشتباه	72	368857	0.001	22.35	0.00088	0.002	0.00029
CV(%)	ضریب تغییرات		*14.78*	*9.46*	*8.72*	*7.25*	*7.8*	*3.48*

Table 1. Continued

جدول ۱. ادامه

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	Photosynthesis pigments content: کاروتنوئید Carotenoid	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی: کلروفیل کل Total Chlorophyll	نسبت کلروفیل $\frac{a}{b}$ Chlorophyll $\frac{a}{b}$ Ratio
Block	بلوک	3	0.0001 ^{ns}	0.0076 *	0.00021 ^{ns}	0.0091 *	0.140 ^{ns}
Irrigation	آبیاری	2	0.056 **	1.43 **	0.085 **	2.2 **	1.93 **
Block × Irrigation	بلوک × آبیاری	6	0.00039 ^{ns}	0.0013 ^{ns}	0.001 **	0.0013 ^{ns}	0.179 ^{ns}
Bacteria	باکتری	2	0.011 **	0.316 **	0.001 *	0.339 **	5.62 **
Variety	رقم	2	0.0016 ^{ns}	0.004 ^{ns}	0.0021 **	0.012 **	0.138 ^{ns}
Bacteria × Irrigation	آبیاری × باکتری	4	0.0033 **	0.243 **	0.0021 **	0.279 **	3.75 **
Variety × Irrigation	رقم × آبیاری	4	0.0027 **	0.0092 **	0.0021 **	0.014 **	0.44 **
Bacteria × Variety	باکتری × رقم	4	0.00015 ^{ns}	0.00098 ^{ns}	0.0021 **	0.0015 ^{ns}	0.50 **
Bacteria × Variety × Irrigation	باکتری × رقم × آبیاری	8	0.0016 *	0.014 **	0.0017 **	0.024 **	0.171 ^{ns}
Error	اشتباه	72	0.00036	0.0024	0.00026	0.0025	0.096
CV(%)	ضریب تغییرات		*5.36*	*7.18*	*6.8*	*5.44*	*10.85*

ns، *و** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns,*and**:non-significant, significant in 0.05 and 0.01 level, respectively

و خورجین‌دهی باعث کاهش جذب آب، کاهش سنتز و انتقال اسیمیلات‌ها می‌شود و اجزای عملکرد شامل وزن دانه، تعداد دانه، تعداد خورجین و تعداد شاخه‌های فرعی بارور و درنتیجه عملکرد دانه را کاهش می‌دهد.

ارقام هیبرید اکتان و نپتون با توجه به پتانسیل ژنتیکی، در تیمارهای قطع آبیاری، عملکرد دانه بیشتری تولید نمودند و برای کاشت در شرایط تنش رطوبتی مناسب‌ترند و در شرایط رطوبت کافی نیز عملکرد بالاتری دارند (Niknam et al., 2003 and Tahmasbi Sarvestani et al., 2003).

جدول ۲. مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل قطع آبیاری و رقم بر میزان عملکرد دانه، پرولین، قندهای محلول غیر ساختاری، پروتئین، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز و پراکسیداز و رنگیزه‌های فتوسنتزی اندام هوائی ارقام کلزا (*Brassica napus* L.) تحت اثر مایه تلقیح ازتوباکتر در شرایط قطع آبیاری انتهای فصل

Table 2. Meanes comparison of the irrigation and cultivar interaction effects on grain yield, proline, unstructured soluble sugars, protein, catalase and peroxidase antioxidant enzymes photosynthetic pigments content of rapeseed (*Brassica napus* L.)cultivars in terminal cessation of irrigation condition under effect of azotobacter inocullum

تیمار Treatment		عملکرد دانه Grain yeild	پرولین اندام هوایی Proline	قندهای محلول غیرساختار Unstructured soluble sugars	پروتئین اندام هوایی Protein	پراکسیداز اندام هوایی Peroxidase	کاتالاز اندام هوایی Catalase
		kg.ha^{-1}	mg.g^{-1} FW	mg.g^{-1} FW	mg.g^{-1} FW	nmol.min.g^{-1}	nmol.min.g^{-1}
I1	v1	3430.8 dc	0.429 a	65.96 a	0.381 b	0.654 a	0.535 a
	v2	3925.5 bc	0.417 ab	59.26 ab	0.364 b	0.661 a	0.530 a
	v3	3086.3 d	0.422 ab	62.43 ab	0.378 b	0.643 a	0.510 ab
I2	v1	4699.7 a	0.370 bc	50.52 cd	0.388 b	0.659 a	0.495 ab
	v2	4567.7 ab	0.372 bc	50.34 cd	0.376 b	0.622 a	0.534 a
	v3	3591.6 dc	0.383 abc	56.51 bc	0.380 b	0.635 a	0.495 ab
I3	v1	4742.2 a	0.347 c	46.11 d	0.464 a	0.461 b	0.433 c
	v2	5258.3 a	0.348 c	46.28 d	0.477 a	0.476 b	0.468 bc
	v3	3677.5 dc	0.349 c	50.08 cd	0.472 a	0.489 b	0.439 c

Table 2. Continued **جدول ۲. ادامه**

تیمارها Treatments		Photosynthesis pigments content / میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی				
		کاروتنوئید Carotenoid	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	نسبت کلروفیل $\frac{a}{b}$ Chlorophyll $\frac{a}{b}$ ratio
		mg.g^{-1} FW				
I1	v1	0.295 d	0.562 b	0.206 cd	0.770 b	2.801 ab
	v2	0.331 c	0.534 b	0.215 cd	0.794 b	2.445 b
	v3	0.324 cd	0.565 b	0.196 d	0.762 b	2.832 ab
I2	v1	0.355 bc	0.575 b	0.204 cd	0.775 b	2.880 ab
	v2	0.355 bc	0.598 b	0.215 cd	0.809 b	2.865 ab
	v3	0.405 a	0.575 b	0.226 c	0.798 b	2.583 ab
I3	v1	0.405 a	0.899 a	0.295 ab	1.192 a	3.060 ab
	v2	0.405 a	0.955 a	0.311 a	1.265 a	3.079 ab
	v3	0.379 ab	0.883 a	0.275 b	1.156 a	3.246 a

اعداد با یک حرف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن ندارند.

I1: قطع آبیاری از مرحله ۳۰ درصد گل‌دهی؛ I2: قطع آبیاری از مرحله ۳۰ درصد خورجین‌دهی؛ I3: آبیاری مطلوب؛ v1: نپتون؛ v2: اکتان؛ v3: اکاپی

Means followed by the same letters in each column are not significantly different by duncan's test
(I1: Irrigation withholding since 30% flowering stage, I2: Irrigation withholding since 30% pod forming stage, I3: Normal Irrigation v1: Neptun, v2: Octane and v3: Okapi)

پروتئین اندام هوایی

اثر متقابل قطع آبیاری و ازتوباکتر بر میزان پروتئین اندام هوایی معنی‌دار شد ($P<0.01$) (جدول ۱). رطوبت و ازتوباکتر، پروتئین بافت سبز کلزا را افزایش دادند. سویه‌های ۶۳ و ۷۰ در تیمار آبیاری نرمال، به ترتیب میزان ۰/۴۸۷ و ۰/۴۸۳ پروتئین برحسب mg g-1 FW تولید نمودند. فراهمی رطوبت و باکتری، نسبت به تیمار قطع آبیاری و بدون تلقیح ۳۴ درصد برتری نشان داد. کمترین پروتئین از تیمار بدون تلقیح با قطع آبیاری از مراحل ۳۰ درصد گل‌دهی و ۳۰ درصد خورجین‌دهی، به ترتیب به میزان ۰/۳۲۸ و ۰/۳۱۳ $mg.g^{-1}$ FW به دست آمد (جدول ۳). با وجود رطوبت، ازتوباکتر باعث افزایش جذب نیتروژن می‌شود و با تولید مواد تنظیم‌کننده رشد در سطح ریشه، سبب گسترش ریشه و افزایش جذب آب و عناصر غذایی ازجمله نیتروژن می‌شوند. نیتروژن در سنتز آمینواسید و پروتئین نقش دارد (Ashrafuzzaman Met al., 2009 and Sorouri et al., 2013). گزارش شده است ازتوباکتر توانایی سنتز اسیدهای آمینه آرجینین، لیزین، تریپتوفان، هیستیدین و بیوتین را دارد (Gonzalez-Lopez, 1983). در پاسخ به تنش اکسیداتیو ناشی از تنش خشکی در کلزا، برخی از پروتئین‌ها ازجمله آسکوربات و گلوتاتیون در سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه، به‌سرعت فعال شده و تولید می‌شوند (Deepak Bhardwaj et al., 2014). خشکی باعث افزایش پرولین، مانیتول، سوربیتول، بتائین، پلی‌آمین، گلایسین و قندهای محلول می‌شود (Arora et al., 2002; Molinari et al., 2007).

قندهای محلول

اثر متقابل قطع آبیاری و رقم بر قندهای محلول معنی‌دار شد ($P<0.01$) (جدول ۱). بیشترین قند محلول از رقم هیبرید نپتون در تیمار قطع آبیاری از مرحله ۳۰ درصد گل‌دهی و به میزان ۶۵/۹۶ $mg.g^{-1}$ FW به دست آمد. ارقام اکتان و اکاپی نیز در تیمار کمترین آبیاری به ترتیب با ۶۲/۴۳ و ۵۹/۲۶ $mg.g^{-1}$ FW در رتبه بعدی قرار گرفتند. کمترین قند محلول را تیمار آبیاری نرمال در سه رقم نپتون، اکتان و اکاپی به ترتیب با ۴۶/۱۱، ۴۶/۲۸ و ۵۰/۰۸ میلی‌گرم بر گرم ایجاد نمود (جدول ۲). واکنش رقم هیبرید نپتون به شرایط کمبود رطوبت، تجمع بیشتر قندهای محلول بود اما در رطوبت کافی، میزان قند محلول آن کاهش بیشتری داشت. اثر متقابل قطع آبیاری و باکتری بر قندهای محلول غیر ساختاری معنی‌دار شد ($P<0.01$) (جدول ۱). سویه ۶۳ در قطع آبیاری از مرحله ۳۰ درصد گل‌دهی، بیشترین تجمع قند محلول را به میزان ۶۴/۱۶ میلی‌گرم ایجاد نمود. کمترین قند محلول نیز در آبیاری نرمال و قطع آبیاری از مرحله ۳۰ درصد خورجین‌دهی در تلقیح با سویه ۶۳ به میزان ۴۶/۱۴ و ۴۳/۷۵ میلی‌گرم بر گرم به دست آمد (جدول ۳). به نظر می‌رسد در کاهش قند محلول، اثر آبیاری بیشتر از اثر ازتوباکتر بوده است. افزایش غلظت قندهای محلول یک پاسخ معمول به شرایط تنش خشکی است، با تأمین رطوبت در آبیاری نرمال، پتانسیل اسمزی تنظیم است و پلی‌ساکاریدهای نامحلول به قندهای محلول تبدیل نمی‌شوند (Hendry, 1993).

قندهای احیاکننده در کلزا تحت تنش کم‌آبی افزایش معنی‌داری داشت (Ahmadi Musavi et al., 2005). افزایش تنش خشکی در گندم سبب افزایش کربوهیدرات شد (Naeemi et al., 2018). با خشک شدن خاک، پتانسیل ماتریک گیاهان منفی شده و باعث جذب آب از محیط می‌شود. گیاهان با تجمع قندهای محلول سوربیتول، بتائین، اسیدهای آلی، پرولین و گلیسین، پتانسیل آبی خود را کاهش می‌دهند (Taize and Zeiger, 2006).

قندهای محلول در برگ‌های گیاهان تحت تنش خشکی ساخته می‌شوند (Molinari et al., 2007). خشکی سبب افزایش تنظیم‌کننده‌های اسمزی گلوکز، مانوز و رامنوز در کلزا می‌شود اما غلظت آن‌ها در ارقام مختلف با هم متفاوت است و به میزان مقاومت به خشکی ارقام کلزا مرتبط است (Mirzaee et al., 2013).

پرولین اندام هوایی

اثر متقابل قطع آبیاری و ازتوباکتر بر میزان پرولین معنی‌دار شد ($P<0.01$) (جدول ۱). سویه‌های ۶۳ و ۷۰ در قطع آبیاری از مرحله ۳۰ درصد گل‌دهی بیشترین پرولین را به ترتیب به میزان ۰/۴۴۷ و ۰/۴۴۵ میلی‌گرم بر گرم تولید نمودند و ازتوباکتر همراه با قطع آبیاری از مرحله ۳۰ درصد گل‌دهی باعث واکنش گیاه کلزا به‌صورت تجمع بیشتر پرولین گردیده است (جدول ۳).

جدول ۳. مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل قطع آبیاری و باکتری بر میزان عملکرد دانه، پرولین، قندهای محلول غیر ساختاری، پروتئین، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز و پراکسیداز و رنگیزه‌های فتوسنتزی اندام هوائی ارقام کلزا (*Brassica napus* L.) تحت اثر مایه تلقیح ازتوباکتر در شرایط قطع آبیاری انتهای فصل

Table 3. Meanes comparison of the irrigation and bacteria effects on grain yield, proline, unstructured soluble sugars, protein, catalase and peroxidase antioxidant enzymes photosynthetic pigments content of rapeseed *(Brassica napus* L.) cultivars in terminal cessation of irrigation condition under effect of azotobacter inocullum

تیمارها Treatments		عملکرد دانه Grain yeild	پرولین اندام هوایی Proline	قندهای محلول غیرساختاری Unstructured soluble sugars	پروتئین اندام هوایی Protein	پراکسیداز اندام هوایی Peroxidase	کاتالاز اندام هوایی Catalase
		$kg.ha^{-1}$	$mg.g^{-1}$ FW	$mg.g^{-1}$ FW	$mg.g^{-1}$ FW	$nmol.min.g^{-1}$	$nmol.min.g^{-1}$
I1	b1	3532.2 bc	0.447 a	64.16 a	0.400 c	0.657 bc	0.517 bc
	b2	3599.1 bc	0.445 a	61.39 a	0.395 c	0.617 cd	0.519 bc
	b3	3311.3 c	0.376 b	62.09 a	0.328 d	0.684 b	0.540 ab
I2	b1	4505 ab	0.326 c	43.75 c	0.437 b	0.551 ef	0.465 de
	b2	4153.2 abc	0.367 bc	52.4 b	0.395 c	0.597 de	0.495 cd
	b3	4200.8 abc	0.431 a	61.23 a	0.313 d	0.769 a	0.565 a
I3	b1	4662.8 a	0.351 bc	46.14 c	0.487 a	0.465 g	0.440 e
	b2	4664.6 a	0.348 bc	47.43 bc	0.483 a	0.432 g	0.436 e
	b3	4350.5 ab	0.346 bc	48.90 bc	0.444 b	0.528 f	0.464 de

جدول ۳. ادامه

Table 3. Continued

تیمارها Treatments		میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی Photosynthesis pigments content				
		کاروتنوئید Carotenoid	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total Chlorophyll	نسبت کلروفیل $\frac{a}{b}$ Chlorophyll $\frac{a}{b}$ ratio
		---------- $mg.g^{-1}$ FW ----------				
I1	b1	0.3483 bc	0.751 c	0.219 b	0.973 d	3.471 a
	b2	0.3266 c	0.601 e	0.214 b	0.814 ef	2.848 bc
	b3	0.2758 d	0.309 g	0.18 c	0.494 h	1.756 e
I2	b1	0.361 b	0.562 ef	0.220 b	0.777 fg	2.626 cd
	b2	0.361 b	0.674 d	0.205 bc	0.874 e	3.342 a
	b3	0.343 bc	0.512 f	0.221 b	0.732 g	2.361 d
I3	b1	0.404 a	0.814 c	0.292 a	1.103 c	2.825 bc
	b2	0.396 a	1.008 a	0.299 a	1.304 a	3.396 a
	b3	0.388 a	0.916 b	0.292 a	1.207 b	3.166 ab

اعداد با یک حرف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن ندارند.

I1: قطع آبیاری از مرحله ۳۰ درصد گل‌دهی؛ I2: قطع آبیاری از مرحله ۳۰ درصد خورجین‌دهی؛ I3: آبیاری مطلوب؛ b1: ازتوباکتر کروکوکوم سویه ۶۳؛ b2: ازتوباکتر کروکوکوم سویه ۷۰؛ b3: بدون ازتوباکتر

Means followed by the same letters in each column are not significantly different by duncan's test
(I1: Irrigation withholding since 30% flowering stage, I2: Irrigation withholding since 30% pod forming stage, I3: Normal Irrigation, b1: Azotobacter chroococcum 63, b2: Azotobacter chroococcum 70,b3: No Azotobacter)

تجمع پرولین از علائم مقاومت به تنش خشکی است (Ashraf and Foolad, 2007). کمترین میزان پرولین به مقدار ۰/۳۲۶ میلی‌گرم بر گرم از تیمار کمترین آبیاری و سویه ۶۳ حاصل شد که با سویه‌های باکتری در آبیاری نرمال تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳). گزارش شده است مقدار پرولین در بوته‌های کلزا تحت شرایط تنش خشکی در مقایسه با شرایط نرمال بیشتر است اما مقدار زیاد یا کم پرولین نمی‌تواند به‌عنوان یک معیار مقاومت و برتری در بین ژنوتیپ‌های کلزا باشد (Lotfi et al., 2015). بین ارقام برتر و ضعیف کلزا ازنظر مقاومت به خشکی تفاوتی در میزان پرولین نبود، بنابراین پرولین نمی‌تواند معیار مناسبی برای انتخاب ارقام مقاوم به خشکی باشد (Eyni Nargeseh et al., 2019).

بنابراین افزایش پرولین یک مشخصه سازگاری به تنش نیست و تنها یک علامت تنش است (Sanchez-Rodriguez et al., 2010). در شرایط آبیاری نرمال، ازتوباکتر اثر کمتری در تجمع پرولین گیاه کلزا داشت. تنش خشکی منجر به افزایش تراکم پرولین در کلزا می‌گردد (Nosrati, 2014). نتایج محققین نشان داده است در کلزا با قطع آبیاری در مراحل مختلف نموی تجمع پرولین افزایش داشته و با قطع آبیاری از زمان گل‌دهی بالاترین غلظت پرولین مشاهده شده است (Jabbari et al., 2014). تنش اسمزی سبب افزایش فعالیت پرولین در ارقام کلزا می‌شود (Omidi, 2010). گزارش شده است کلزا در تنش خشکی شدید میزان بیشتری پرولین را جهت محافظت از سلول‌ها تولید می‌نماید اما در تیمار خشکی کم، به دلیل موفقیت گیاه در تنظیم اسمزی درون‌سلولی، میزان پرولین افزایش ندارد (Bohner et al., 1995). تنش خشکی در گندم سبب افزایش فعالیت پرولین شده است (Naeemi et al., 2018).

پراکسیداز اندام هوایی

اثر متقابل قطع آبیاری و ازتوباکتر بر میزان پراکسیداز معنی‌دار شد ($P<0.01$) (جدول ۱). بیشترین فعالیت آنزیم پراکسیداز در تیمار بدون تلقیح ازتوباکتر در قطع آبیاری از مراحل ۳۰ درصد خورجین‌دهی با ۰/۷۶۹ و ۳۰ درصد گل‌دهی با ۰/۶۴۸ میکرومول H_2O_2 در دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین بود. تیمار قطع آبیاری از مرحله ۳۰ درصد گل‌دهی همراه با تیمارهای بدون تلقیح، سویه ۶۳ و سویه ۷۰ پراکسیداز بیشتری به میزان ۰/۶۸۴، ۰/۶۵۷ و ۰/۶۱۷ میکرومول ایجاد نمودند که نشان‌دهنده فعالیت بیشتر آنزیم پراکسیداز در شرایط تنش خشکی است. کمترین تجمع پراکسیداز نیز در تیمار آبیاری نرمال و سویه‌های ۶۳ و ۷۰ به ترتیب به میزان ۰/۴۶۵ و ۰/۴۳۲ به دست آمد (جدول ۳). تنش خشکی در گندم سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی شد (Naeemi et al., 2018). با قطع آبیاری از مراحل نموی کلزا، فعالیت پراکسیداز افزایش یافت و در شرایط شاهد و قطع آبیاری از ساقه‌دهی به ترتیب کمترین و بیشترین فعالیت آن مشاهده شد (Omidi, 2010 and Jabbari et al., 2014). ارقام کلزا ازنظر آنزیم پراکسیداز اختلاف ندارند، اما فعالیت آنزیم‌های دیگر در ارقام کلزا متفاوت است (Dehshiri and Pakniat, 2013; Jabbari et al., 2014).

کاتالاز اندام هوایی

اثر متقابل قطع آبیاری و باکتری و همچنین قطع آبیاری و رقم بر کاتالاز اندام هوایی معنی‌دار شد ($P<0.01$) (جدول ۱). تیمار قطع آبیاری از مرحله ۳۰ درصد خورجین‌دهی بدون ازتوباکتر با ۰/۵۶۵ میکرومول H_2O_2 در دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین، بیشترین محتوای کاتالاز را داشت. تیمار قطع آبیاری از مرحله ۳۰ درصد گل‌دهی بدون ازتوباکتر و با سویه‌های ۷۰ و ۶۳ به ترتیب با تولید ۰/۵۴۰، ۰/۵۱۹ و ۰/۵۱۷ میکرومول، به دلیل تنش خشکی، بیشترین و تیمار آبیاری نرمال نیز بدون تلقیح و در تلقیح با ازتوباکتر به دلیل فراهم بودن رطوبت و کاهش میزان H_2O_2، کمترین فعالیت کاتالاز را داشتند (جدول ۳). بدون ازتوباکتر اثرات تنش خشکی تشدید و برای کاهش اثرات آن، فعالیت آنزیم کاتالاز بیشتر شده است. تنش خشکی، باعث فعالیت بیشتر آنزیم کاتالاز در کلزا گردید (Kalantar Ahmadi et al., 2015). ارقام هیبرید نپتون و اکتان در قطع آبیاری از مرحله ۳۰ درصد گل‌دهی و رقم هیبرید اکتان در تیمار قطع آبیاری از مرحله ۳۰ درصد خورجین‌دهی دارای بیشترین فعالیت کاتالاز به ترتیب به میزان ۰/۵۳۵، ۰/۵۳۰ و ۰/۵۳۴ میکرومول بودند (جدول ۲). فعالیت کاتالاز در ارقام هیبرید نپتون و اکتان در شرایط قطع آبیاری بیشتر از رقم اکاپی بود و عملکرد دانه و ماده خشک بالاتری نیز تولید کردند که با نتایج محققین دیگر مطابقت دارد (Tohidi Moghaddam et al., 2009). بیشترین کاتالاز در قطع آبیاری از مرحله ساقه‌دهی کلزا بوده است. واکنش ارقام کلزا به قطع آبیاری ازنظر آنزیم کاتالاز متفاوت است. نقش کاتالاز در کاهش پراکسیداسیون چربی‌ها، تحمل به خشکی، عملکرد و اجزای عملکرد، بیشتر از پرولین است (Jabbari et al., 2014).

کاروتنوئید اندام هوایی

اثر متقابل قطع آبیاری، باکتری و رقم بر کاروتنوئید معنی‌دار شد ($P<0.05$) (جدول ۱). بیشترین کاروتنوئید به میزان ۰/۴۳۰ میلی‌گرم بر گرم را رقم هیبرید اکتان در سویه ۶۳ و آبیاری نرمال و رقم هیبرید نپتون در سویه‌های ۷۰ و ۶۳ در آبیاری نرمال به ترتیب به میزان ۰/۴۱۲ و ۰/۴۰۷ میلی‌گرم بر گرم تولید نمودند. همه ارقام هیبرید نپتون، اکتان و اکاپی در تیمار بدون ازتوباکتر و کمترین آبیاری به ترتیب با ۰/۲۴۵، ۰/۳۰۰ و ۰/۲۸۲ میلی‌گرم بر گرم کمترین کاروتنوئید را داشتند (جدول ۵). تنش خشکی با تولید گونه‌های فعال

اکسیژن در تیلاکوئیدها باعث کاهش کلروفیل و کاروتنوئید می‌گردد (Farooq et al., 2009 and Sadaqat et al., 2003). کاروتنوئیدها نظیر لیکوپن، بتاکاروتن و گزانتوفیل‌ها در مقایسه با کلروفیل a و b علاوه بر نقش رنگیزه کمکی در فتوسنتز، به‌عنوان سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی در برابر تنش خشکی نقش دارند (Jaleel et al., 2009 and Jabbari et al., 2014). نتایج این آزمایش با نتایج محققین دیگر همخوانی دارد (Jabbari et al., 2014).

جدول ۴. مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل باکتری و رقم بر میزان عملکرد دانه، پرولین، قندهای محلول غیر ساختاری، پروتئین، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز و پراکسیداز و رنگیزه‌های فتوسنتزی اندام هوائی ارقام کلزا (*Brassica napus* L.) تحت اثر مایه تلقیح ازتوباکتر در شرایط قطع آبیاری انتهای فصل

Table 4. Meanes comparison of the bacteria and cultivars effects on grain yield, proline, unstructured soluble sugars, protein, catalase and peroxidase antioxidant enzymes photosynthetic pigments content of rapeseed *(Brassica napus* L.) cultivars in terminal cut off irrigation condition under effect of azotobacter inocullum

تیمارها Treatments		عملکرد دانه Grain yeild	پرولین اندام هوایی Proline	قندهای محلول غیرساختاری Unstructured soluble sugars	پروتئین اندام هوایی Protein	پراکسیداز اندام هوایی Peroxidase	کاتالاز اندام هوایی Catalase
		Kg.ha^{-1}	Mg.g^{-1} FW	Mg.g^{-1} FW	Mg.g^{-1} FW	nmol.min.g^{-1}	nmol.min.g^{-1}
B1	V1	4341.2 ^{ab}	0.447 ^{a}	64.16 ^{a}	0.400 ^{c}	0.657 ^{bc}	0.517 ^{bc}
	V2	4805.3 ^{a}	0.445 ^{a}	61.39 ^{a}	0.395 ^{c}	0.617 ^{cd}	0.519 ^{bc}
	V3	3553.5 ^{bc}	0.376 ^{b}	62.09 ^{a}	0.328 ^{d}	0.684 ^{b}	0.540 ^{ab}
B2	V1	4421.7 ^{ab}	0.326 ^{c}	43.75 ^{c}	0.437 ^{b}	0.551 ^{ef}	0.465 ^{de}
	V2	4551.8 ^{a}	0.367 ^{bc}	52.4 ^{b}	0.395 ^{c}	0.597 ^{de}	0.495 ^{cd}
	V3	3443.4 ^{bc}	0.431 a	61.23 ^{a}	0.313 ^{d}	0.769 ^{a}	0.565 ^{a}
B3	V1	4109.8 ^{abc}	0.351 ^{bc}	46.14 ^{c}	0.487 ^{a}	0.465 ^{g}	0.440 ^{e}
	V2	4394.4 ^{ab}	0.348 ^{bc}	47.43 ^{bc}	0.483 ^{a}	0.432 ^{g}	0.436 ^{e}
	V3	3358.4 ^{c}	0.346 ^{bc}	48.90 ^{bc}	0.444 ^{b}	0.528 ^{f}	0.464 ^{de}

Table 4. Continued **جدول ۴. ادامه**

تیمارها Treatments		Photosynthesis pigments content / میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی				
		کاروتنوئید carotenoid	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total Chlorophyll	نسبت کلروفیل $\frac{a}{b}$ Chlorophyll $\frac{a}{b}$ Ratio
		---------- mg.g^{-1} FW ----------				
B1	V1	0.3483 ^{bc}	0.751 ^{c}	0.219 ^{b}	0.973 ^{d}	3.471 ^{a}
	V2	0.3266 ^{c}	0.601 ^{e}	0.214 ^{b}	0.814 ^{ef}	2.848 ^{bc}
	V3	0.2758 ^{d}	0.309 ^{g}	0.18 ^{c}	0.494 ^{h}	1.756 ^{e}
B2	V1	0.361 ^{b}	0.562 ^{ef}	0.220 ^{b}	0.777 ^{fg}	2.626 ^{cd}
	V2	0.361 ^{b}	0.674 ^{d}	0.205 ^{bc}	0.874 ^{e}	3.342 ^{a}
	V3	0.343 ^{bc}	0.512 ^{f}	0.221 ^{b}	0.732 ^{g}	2.361 ^{d}
B3	V1	0.404 ^{a}	0.814 ^{c}	0.292 ^{a}	1.103 ^{c}	2.825 ^{bc}
	V2	0.396 ^{a}	1.008 ^{a}	0.299 ^{a}	1.304 ^{a}	3.396 ^{a}
	V3	0.388 ^{a}	0.916 ^{b}	0.292 ^{a}	1.207 ^{b}	3.166 ^{ab}

اعداد با یک حرف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن ندارند

b1: ازتوباکترکروکوکوم سویه ۶۳؛ b2: ازتوباکترکروکوکوم سویه ۷۰؛ b3: بدون ازتوباکتر؛ v1: نپتون؛ v2: اکتان؛ v3: اکاپی

Means followed by the same letters in each column are not significantly different by duncan's test
(b1: Azotobacter chroococcum 63, b2: Azotobacter chroococcum 70,b3: No Azotobacter, v1: Neptun, v2: Octane and v3: Okapi)

کلروفیل a

رنگیزه‌های فتوسنتزی شامل طیف وسیعی از رنگ‌دانه‌ها ازجمله کلروفیل a و b، نقش مهمی را ازنظر جذب نور و تولید انرژی ایفا می‌کنند و در فتوسنتز نقش دارند (Jaleel et al., 2009). اثرات متقابل قطع آبیاری، باکتری و رقم بر میزان کلروفیل a معنی‌دار شد (P<0.01) (جدول ۱). هر سه رقم در سویه ۷۰ در تیمار آبیاری نرمال با محتوای ۱/۰۱۵، ۱/۰۱۷ و ۰/۹۹۲ و رقم هیبرید اکتان بدون ازتوباکتر در آبیاری نرمال با ۱/۰۳۵ میلی‌گرم بیشترین میزان کلروفیل a را تولید نمودند (جدول ۵). تیمار آبیاری نرمال و ازتوباکتر، باعث تولید کلروفیل بیشتر شده است. کمترین میزان کلروفیل a از رقم هیبرید اکتان بدون ازتوباکتر در قطع آبیاری از مرحله ۳۰ درصد گل‌دهی به میزان ۰/۲۳۵ میلی‌گرم به دست آمد. کاهش میزان کلروفیل a به دلیل اثرات خشکی ناشی از قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی بود. نتایج مشابه دیگری نیز اعلام شده است (Jabbari et al., 2014). افزایش در کلروفیل a،b و کل می‌تواند به دلیل جذب بیشتر منگنز و آهن باشد. تنش کم‌آبی در کلزا باعث کاهش معنی‌دار مقدار کلروفیل a می‌شود (Ahmadi Musavi et al., 2005). افزایش تنش خشکی در گندم سبب کاهش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی شد (Naeemi et al., 2018). اثرات مفید تلقیح باکتری بر افزایش محتوای کلروفیل، به تثبیت نیتروژن توسط کودهای زیستی و کاهش محتوای اتیلن مربوط است زیرا افزایش اتیلن توسط تنش می‌تواند منجر به پیری برگ و کاهش کلروفیل شود. در حضور کودهای زیستی حاوی ACC دی‌آمیناز، ساخت اتیلن کاهش می‌یابد و با کاهش تجزیه کلروفیل، محتوای آن افزایش می‌یابد (Vessey, 2003). در شرایط خشکی مزرعه، تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد میزان کلروفیل را افزایش داده است (Heidari, et al., 2011).

کلروفیل b

اثر متقابل قطع آبیاری، باکتری و رقم بر میزان کلروفیل b معنی‌دار شد (P<0.01) (جدول ۱). بیشترین میزان کلروفیل b را رقم هیبرید اکتان در آبیاری نرمال و بدون ازتوباکتر به میزان ۰/۳۳۰ و همچنین ارقام هیبرید اکتان و نپتون در سویه‌های ۶۳ و ۷۰ در آبیاری نرمال به میزان ۰/۳۰۰ و ۰/۳۰۷ میلی‌گرم بر گرم و کمترین میزان کلروفیل b نیز از رقم هیبرید اکتان بدون ازتوباکتر در تیمار قطع آبیاری از مرحله ۳۰ درصد گل‌دهی به میزان ۰/۱۹۰ میلی‌گرم بر گرم به دست آمد (جدول ۵). گزارش شده است تنش کم‌آبی در گیاه کلزا باعث کاهش مقدار کلروفیل b می‌شود (Ahmadi Musavi et al., 2005). افزایش تنش خشکی در گندم سبب کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی شد (Naeemi et al., 2018). تأثیر تنش خشکی بر کلروفیل به ژنوتیپ‌های گیاه و شرایط محیطی بستگی دارد و با افزایش تنش خشکی در کلزا غلظت کلروفیل a و b افزایش یافت (Nasri, 2006; Sepehri and Golparvar, 2011). در شرایط تنش خشکی شدید آنزیم‌های کلروفیلاز و پراکسیداز افزایش یافته و مقدار کلروفیل کاهش می‌یابد و در گزارش‌های محققین دیگر به این موضوع اشاره شده است (Shariat and Assareh, 2008; Delkhosh, et al., 2006). اتلاف آب باعث افزایش انقباض سلول‌ها می‌شود که درنتیجه باعث افزایش محلول غلظت سلول می‌شود. شاید، تنش خفیف باعث افزایش غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ شود، اما تنش شدید تولید کلروفیل را متوقف می‌کند (Taize and Zeiger, 2006)؛ بنابراین گزارشی وجود دارد که با کاهش آبیاری و افزایش سطح تنش خشکی، محتوای کلروفیل در برگ کلزا افزایش می‌یابد که با نتیجه این آزمایش مطابقت ندارد (Dehshiri and Pakniat, 2013).

مجموع کلروفیل a + b

اثر متقابل قطع آبیاری و باکتری بر میزان کلروفیل a + b معنی‌دار شد (P<0.01) (جدول ۱). سویه ۷۰ در آبیاری نرمال باعث تولید ۱/۳۰۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر مجموع کلروفیل a + b شد که بیشترین میزان بود و کمترین مجموع کلروفیل a + b به میزان ۰/۴۹۴ میلی‌گرم بر گرم از تیمار بدون تلقیح ازتوباکتر در قطع آبیاری از مرحله ۳۰ درصد گل‌دهی به دست آمد (جدول ۳). اثر متقابل قطع آبیاری و رقم بر میزان کلروفیل a + b اندام هوایی معنی‌دار شد (P<0.01) (جدول ۱). ارقام در آبیاری نرمال ازنظر مجموع کلروفیل a + b نسبت به دو تیمار قطع آبیاری برتری داشتند (جدول ۲). اثر متقابل قطع آبیاری، باکتری و رقم بر مجموع کلروفیل a + b کلزا معنی‌دار شد (P<0.01) (جدول ۱). رقم هیبرید اکتان در آبیاری نرمال و سویه ۷۰ و بدون تلقیح و ارقام نپتون و اکاپی در تیمار آبیاری نرمال و سویه ۷۰ بیشترین میزان مجموع کلروفیل a + b را به دست آوردند (جدول ۵).

گزارش شده است که در شرایط تنش و تیمار با باکتری محرک رشد، تغییرات عدد کلروفیل کمتر شد و میزان

کلروفیل گندم با تلقیح بذر با باکتری آزوسپریلوم کاهش کمتری داشت (Haghbahari and Seyed Sharifi, 2014). تنش کم‌آبی در گیاه کلزا باعث کاهش مقدار کلروفیل a و b می‌شود بنابراین بر مقدار کلروفیل کل نیز اثر می‌گذارد (Ahmadi Musavi et al., 2005). افزایش تنش خشکی در گندم سبب کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی شد (Naeemi et al., 2018). با افزایش میزان تنش خشکی فعالیت آنزیم کلروفیلاز در برگ گندم زیاد شده و میزان کلروفیل را کاهش داده است (Lichtenthaler, 1987). تنش خشکی باعث کاهش میزان کلروفیل a، b و کل و افزایش اسیدآمینه پرولین در سویا شد (Kamrava et al.,2017).

جدول ۵. مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل قطع آبیاری، باکتری و رقم بر میزان عملکرد دانه، پرولین، قندهای محلول غیر ساختاری، پروتئین، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز و پراکسیداز و رنگیزه‌های فتوسنتزی اندام هوائی ارقام کلزا (*Brassica napus* L.) تحت اثر مایه تلقیح ازتوباکتر در شرایط قطع آبیاری انتهای فصل

Table 5. Meanes comparison of the irrigation withholding, bacteria and cultivars effects on grain yield, proline, unstructured soluble sugars, protein, catalase and peroxidase antioxidant enzymes photosynthetic pigments content of rapeseed *(Brassica napus* L.*)* cultivares in terminal cessation of irrigation condition under effect of azotobacter inocullum

تیمارها Treatments			عملکرد دانه Grain yeild	پرولین اندام هوایی Proline	قندهای محلول غیرساختاری Unstructured soluble sugars	پروتئین اندام هوایی Protein	پراکسیداز Peroxidase	کاتالاز Catalase
			kg.ha^{-1}	mg.g^{-1} FW	mg.g^{-1} FW	mg.g^{-1} FW	mol.min.g^{-1}	nmol.min.g^{-1}
I1	B1	V1	3277 ^{ef}	0.455 ^{ab}	67.925 ^{a}	0.402 ^{bc}	0.670 ^{bcd}	0.517 ^{bcd}
		V2	3961.6 $^{b-f}$	0.430 ^{abc}	61.973 ^{ab}	0.392 ^{bc}	0.675 ^{bcd}	0.530 $^{a-d}$
		V3	3357.5 ^{def}	0.457 ^{a}	62.59 ^{ab}	0.405 ^{bc}	0.627 $^{c-f}$	0.505 $^{b-e}$
	B2	V1	3654.1 $^{c-f}$	0.452 ^{ab}	63.738 ^{ab}	0.402 ^{bc}	0.605 $^{c-g}$	0.535 ^{abc}
		V2	3937.5 $^{b-f}$	0.430 ^{abc}	57.978 ^{abc}	0.392 ^{bc}	0.637 ^{cde}	0.535 ^{abc}
		V3	3205.8 ^{ef}	0.452 ^{ab}	62.450 ^{ab}	0.390 ^{bc}	0.610 $^{c-g}$	0.495 $^{b-f}$
	B3	V1	3360.7 ^{def}	0.380 $^{a-f}$	66.205 ^{a}	0.337 ^{cd}	0.687 ^{bc}	0.597 ^{a}
		V2	3877.5 $^{b-f}$	0.392 $^{a-f}$	57.82 ^{abc}	0.307 ^{d}	0.672 $^{f-j}$	0.532 $^{a-d}$
		V3	2695.6 ^{f}	0.355 $^{c-f}$	62.253 ^{ab}	0.340 ^{cd}	0.692 ^{bc}	0.532 $^{a-d}$
I2	B1	V1	5025.8 ^{abc}	0.327 ^{f}	42.368 ^{e}	0.450 ^{ab}	0.560 $^{e-i}$	0.452 ^{def}
		V2	4934.2 $^{a-d}$	0.315 ^{f}	41.950 ^{e}	0.425 ^{ab}	0.527 $^{g-k}$	0.487 $^{b-f}$
		V3	3555 $^{c-f}$	0.337 ^{ef}	46.920 ^{de}	0.435 ^{ab}	0.565 $^{e-i}$	0.455 ^{def}
	B2	V1	4601.6 $^{a-e}$	0.367 $^{c-f}$	51.325 ^{cde}	0.400 ^{bc}	0.597 $^{c-g}$	0.482 $^{b-f}$
		V2	4387.2 $^{a-e}$	0.372 $^{b-f}$	50.700 ^{cde}	0.395 ^{bc}	0.587 $^{d-h}$	0.517 ^{bcd}
		V3	3470.8 $^{c-f}$	0.362 $^{c-f}$	55.170 ^{bcd}	0.390 ^{bc}	0.607 $^{c-g}$	0.485 $^{b-f}$
	BB3	V1	4471.8 $^{a-e}$	0.415 $^{a-e}$	57.873 ^{abc}	0.315 ^{d}	0.820 ^{a}	0.550 ^{ab}
		V2	4381.7 $^{a-e}$	0.427 $^{a-d}$	58.388 ^{abc}	0.310 ^{d}	0.852 ^{ab}	0.597 ^{a}
		V3	3748.9 $^{c-f}$	0.450 ^{ab}	67.443 ^{a}	0.315 ^{d}	0.835 ^{ab}	0.547 ^{ab}
I3	B1	V1	4720.4 $^{a-e}$	0.347 $^{c-f}$	46.605 ^{de}	0.477 ^{a}	0.422 ^{l}	0.427 ^{ef}
		V2	5520 ^{a}	0.345 $^{c-f}$	44.743 ^{de}	0.490 ^{a}	0.475 $^{i-l}$	0.465 $^{c-f}$
		V3	3748.1 $^{c-f}$	0.360 $^{c-f}$	47.0 ^{de}	0.492 ^{a}	0.500 $^{h-l}$	0.427 ^{ef}
	B2	V1	5009.5 ^{abc}	0.347 $^{c-f}$	45.295 ^{de}	0.480 ^{a}	0.432 ^{kl}	0.420 ^{f}
		V2	5330.7 ^{ab}	0.352 $^{c-f}$	45.273 ^{de}	0.490 ^{a}	0.422 ^{l}	0.452 ^{def}
		V3	3653.7 $^{c-f}$	0.345 $^{c-f}$	51.733 ^{cde}	0.480 ^{a}	0.442 ^{jkl}	0.437 ^{ef}
	BB3	V1	4496.8 $^{a-e}$	0.347 $^{c-f}$	46.445 ^{de}	0.435 ^{ab}	0.527 $^{g-k}$	0.452 ^{def}
		V2	4924.1 $^{a-d}$	0.347 $^{c-f}$	48.820 ^{cde}	0.452 ^{ab}	0.532 $^{f-j}$	0.487 $^{b-f}$
		V3	3630.7 $^{c-f}$	0.342 ^{def}	51.448 ^{cde}	0.445 ^{ab}	0.525 $^{g-k}$	0.452 ^{def}

جدول ۵. ادامه

Table 5. Continued

تیمارها Treatments			میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی Photosynthesis pigments content				
			کاروتنوئید Carotenoid	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	مجموع کلروفیل a+b Total Chlorophyll	نسبت کلروفیل $\frac{a}{b}$ Chlorophyll $\frac{a}{b}$ Ratio
			---------- mg.g^{-1} FW ----------				
I1	B1	V1	0.352 e-h	0.735 de	0.192 fg	0.930 de	3.0832 a
		V2	0.337 ghi	0.760 cde	0.235 cde	0.997 cd	3.262 abc
		V3	0.355 e-h	0.760 cde	0.230 c-f	0.992 cd	3.320 abc
	B2	V1	0.287 j	0.587 fgh	0.212 c-g	0.797 fg	2.820 b-e
		V2	0.357 d-h	0.607 fg	0.220 c-g	0.825 efg	2.815 b-e
		V3	0.335 ghi	0.607 fg	0.210 c-g	0.820 fg	2.910 b-e
	B3	V1	0.245 k	0.365 j	0.212 c-g	0.582 i	1.752 gh
		V2	0.300 ij	0.235 k	0.190 g	0.425 j	1.250 h
		V3	0.282 j	0.327 jk	0.215 c-g	0.475 j	2.267 efg
I2	B1	V1	0.350 e-h	0.580 fgh	0.217 c-g	0.792 fg	2.745 c-f
		V2	0.360 d-h	0.607 fg	0.207 c-g	0.810 fg	3.020 bcd
		V3	0.372 b-h	0.497 hi	0.235 cde	0.730 gh	2.112 fg
	B2	V1	0.362 c-h	0.677 ef	0.197 efg	0.872 ef	3.492 ab
		V2	0.360 d-h	0.672 ef	0.212 c-g	0.877 ef	3.222 abc
		V3	0.360 d-h	0.672 ef	0.205 d-g	0.872 ef	3.312 abc
	BB3	V1	0.352 e-h	0.467 i	0.197 efg	0.662 hi	2.402 d-g
		V2	0.345 fgh	0.515 ghi	0.225 c-g	0.740 gh	2.355 d-g
		V3	0.332 hi	0.555 ghi	0.240 cd	0.792 fg	2.325 d-g
I3	B1	V1	0.407 ab	0.812 bcd	0.285 b	1.092 bc	2.877 b-e
		V2	0.430 a	0.815 bcd	0.297 ab	1.110 b	2.772 b-f
		V3	0.375 b-g	0.815 bcd	0.292 b	1.107 b	2.825 b-e
	B2	V1	0.412 ab	1.015 a	0.300 ab	1.312 a	2.825 b-e
		V2	0.402 abc	1.017 a	0.307 ab	1.322 a	3.312 abc
		V3	0.375 b-g	0.992 a	0.290 b	1.277 a	3.470 ab
	BB3	V1	0.395 a-d	0.870 b	0.302ab	1.172 b	2.900 b-e
		V2	0.382 b-f	1.035 a	0.330 a	1.365 a	3.152 abc
		V3	0.387 b-e	0.842 bc	0.245 c	1.085 bc	3.445 abc

اعداد با یک حرف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن ندارند

I1: قطع آبیاری از مرحله ۳۰ درصد گل‌دهی؛ I2: قطع آبیاری از مرحله ۳۰ درصد خورجین‌دهی؛ I3: آبیاری مطلوب؛ b1: ازتوباکترکروکوکوم سویه ۶۳؛ b2: ازتوباکترکروکوکوم سویه ۷۰؛ b3: بدون ازتوباکتر؛ v1: نپتون؛ v2: اکتان؛ v3: اکاپی.

Means followed by the same letters in each column are not significantly different by duncan's test
(I1: Irrigation withholding since 30% flowering stage, I2: Irrigation withholding since 30% pod forming stage, I3: Normal Irrigation, b1: Azotobacter chroococcum 63, b2: Azotobacter chroococcum 70,b3: No Azotobacter, v1: Neptun, v2: Octane and v3: Okapi)

در تنش خشکی، کلروفیل کم می‌شود اما ارقام با کلروفیل بیشتر، مقاوم‌تر هستند. کاروتنوئیدها غشاء کلروپلاست را با کاهش اکسیژن فعال و یا با مهار کلروفیل برانگیخته‌شده در مقابل تنش اکسیداتیو محافظت می‌کنند (Naeemi et al., 2018). کاهش در میزان 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 (Schutzand Fangmier, 2001). به نظر می‌رسد در شرایط قطع آبیاری فاکتورهای لازم جهت سنتز کلروفیل کاهش می‌یابد و در شرایط محدودیت آبی گیاه در طی روز با بسته نگاه‌داشتن روزنه‌ها، سعی در حفظ محتوی آب نسبی دارد، در این زمان انتقال الکترون در فتوسیستم II

مختل شده و در این وضعیت الکترون اضافی ناشی از فتولیز آب، موجب تولید اکسیژن فعال و خسارت به غشاء سلولی از طریق پراکسید شدن چربی‌ها، پروتئین‌ها و کاهش محتوی کلروفیل گیاه می‌گردد (Brevedan and Egli, 2003). کاهش غلظت کلروفیل را در شرایط تنش به افزایش فعالیت کلروفیلاز و ترکیبات فنلی نسبت دادند (Bates et al., 1973). تنش منجر به افزایش غلظت تنظیم‌کننده‌های رشد مانند آبسیزیک اسید و اتیلن می‌شود که تحریک‌کننده آنزیم کلروفیلاز هستند که کلروفیل تحت تأثیر این آنزیم تجزیه می‌شود (Orabi et al., 2010)

نسبت کلروفیل a/b

اثر متقابل قطع آبیاری و باکتری بر نسبت کلروفیل a/b اندام هوایی کلزا معنی‌دار شد ($P<0.01$) (جدول ۱). از سویه ۶۳ در قطع آبیاری از مرحله ۳۰ درصد گل‌دهی، سویه ۷۰ در قطع آبیاری از مرحله ۳۰ درصد خورجین‌دهی و سویه ۷۰ در آبیاری نرمال، بیشترین نسبت کلروفیل a/b به ترتیب ۳/۴۷۱، ۳/۳۴۲ و ۳/۳۹۶ به دست آمد (جدول ۳). به دلیل اثر افزایشی ازتوباکتر بر کلروفیل a نسبت به کلروفیل b، این نسبت افزایش یافت. در تیمار بدون ازتوباکتر همراه با قطع آبیاری زودتر، میزان کلروفیل a نسبت به کلروفیل b کاهش بیشتری داشت، به‌گونه‌ای که کمترین نسبت کلروفیل a/b از تیمار بدون تلقیح در قطع آبیاری از مرحله ۳۰ درصد گل‌دهی، به میزان ۱/۷۵۶ حاصل شد (جدول ۳). اثرات متقابل قطع آبیاری و رقم بر نسبت کلروفیل a/b اندام هوایی معنی‌دار شد ($P<0.01$) (جدول ۱). بیشترین نسبت کلروفیل a/b در رقم اکاپی از آبیاری نرمال به میزان ۳/۲۴۶ و کمترین نسبت نیز در رقم هیبرید اکتان در قطع آبیاری از مرحله ۳۰ درصد گل‌دهی به میزان ۲/۴۴۵ حاصل گردید (جدول ۲). اثر متقابل ازتوباکتر و رقم بر نسبت کلروفیل a/b اندام هوایی معنی‌دار شد ($P<0.01$) (جدول ۱). ژنوتیپ‌های نپتون و اکتان در تلقیح با سویه‌های ۶۳ و ۷۰ و رقم اکاپی در تلقیح با سویه ۷۰ بیشترین نسبت کلروفیل a/b را به دست آوردند. کمترین نسبت نیز مربوط به ارقام کلزا در تیمار بدون تلقیح بود (جدول ۴).

در انتهای رشد کلزا، با پیری و کاهش سبزینه‌گی برگ‌ها، کلروفیل a تجزیه می‌شود و غلظت کلروفیل b و کاروتنوئیدها از کلروفیل a بیشتر می‌شود. تنش خشکی غلظت کلروفیل b را بیشتر از کلروفیل a در گندم کاهش داد. خشکی باعث شکسته شدن کلروپلاست‌ها و کاهش میزان کلروفیل می‌شود (Ashraf et al., 1994). در شرایط خشکی، کلروفیل، پروتئین و چربی در گیاه ناپایدار شده، پلاستیدهای جدید کلروفیل‌های a،b و کاروتن در آن‌ها کاهش‌می‌یابد (Masinovsky et al., 1992).

نتیجه‌گیری نهایی

با توجه به نتایج، گیاه در مواجهه با تنش خشکی سعی در حفظ فشار اسمزی دارد و این کار را با افزایش سنتز اسمولیت‌هایی ازجمله پرولین و کربوهیدرات‌های محلول انجام می‌دهد. تلقیح با ازتوباکتر میزان آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز را کاهش داد. احتمالاً ازتوباکتر در سنتز موادی اثر داشته است که با حفظ ساختمان ماکرومولکول‌ها و غشاهای سلولی و ایفای نقش حفاظتی، مانع قرار گرفتن گیاه در شرایط سخت تنش شده‌اند. افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در حضور کودهای زیستی می‌تواند تا حد زیادی اثرات مخرب ناشی از تنش را در کاهش عملکرد تعدیل نماید. بخشی از افزایش عملکرد دانه در شرایط آبیاری کامل و کاربرد کودهای زیستی را می‌توان به افزایش محتوای کلروفیل نسبت داد. ارقام کلزا در تیمار آبیاری نرمال و تلقیح با ازتوباکتر به دلیل توانایی ازتوباکتر در سنتز اسیدهای آمینه، بیشترین پروتئین را تولید کردند زیرا کمترین پروتئین از تیمار بدون تلقیح و تیمارهای قطع آبیاری به دست آمد ازاین‌رو کاربرد ازتوباکتر می‌تواند برای بهبود تغذیه کلزا در شرایط قطع آبیاری توصیه شود. در تیمار قطع آبیاری از ۳۰ درصد گل‌دهی و آبیاری نرمال به ترتیب بیشترین و کمترین غلظت پرولین مشاهده شد که مربوط به نقش آن به‌عنوان اسمولیت در تنظیم اسمزی برای برقراری ثبات در ساختار غشاء و پروتئین و مهار رادیکال‌های آزاد در شرایط تنش است. قطع آبیاری باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان پراکسیداز و کاتالاز گردید که در پاک‌سازی رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول نقش دارند. سنتز این آنزیم‌ها در شرایط تنش می‌تواند تا حدودی از کاهش عملکرد جلوگیری نماید. قطع آبیاری، به دلیل افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز، باعث کاهش کلروفیل a، b و کل در مقایسه با آبیاری نرمال شد. تنش خشکی غلظت کلروفیل b را بیشتر از کلروفیل a کاهش می‌دهد. کاهش در میزان کلروفیل در اثر تنش خشکی به علت افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن است که موجب پراکسیداسیون و تجزیه این رنگ‌دانه‌ها می‌شوند؛ زیرا در شرایط قطع آبیاری،

فاکتورهای لازم جهت سنتز کلروفیل کاهش می‌یابد. در شرایط محدودیت آبی گیاه در طی روز با بسته نگاه‌داشتن روزنه‌ها، سعی در حفظ محتوای آب نسبی دارد، در این زمان انتقال الکترون در فتوسیستم II مختل شده و در این وضعیت الکترون اضافی ناشی از فتولیز آب، موجب تولید اکسیژن فعال و با پراکسید شدن چربی‌ها، پروتئین‌ها و کاهش محتوی کلروفیل، باعث خسارت به غشاء سلولی می‌گردد.

کاهش غلظت کلروفیل در شرایط تنش، احتمالاً به افزایش فعالیت کلروفیلاز و ترکیبات فنلی مربوط می‌شود. تنش منجر به افزایش غلظت تنظیم‌کننده‌های رشد مانند آبسیزیک اسید و اتیلن می‌شود که تحریک‌کننده آنزیم کلروفیلاز هستند و به‌این‌ترتیب کلروفیل تحت تأثیر این آنزیم تجزیه می‌شود.

.

ارقام هیبرید در تلقیح با ازتوباکتر و آبیاری کامل، بیشترین میزان کلروفیل a،b و کل و کاروتنوئید را تولید نمودند. در شرایط تنش کم‌آبی و بدون باکتری، میزان کلروفیل b کاهش یافت. بیشترین قند محلول و کمترین عملکرد دانه حاصل از رقم اکاپی نشان می‌دهد از قطع آبیاری بیشتر متأثر شده است. با قطع آبیاری، تجمع پرولین و کربوهیدرات‌های محلول در بافت سبز بیشتر شد به‌طوری‌که بیشترین قند در کمترین آبیاری، بدون ازتوباکتر و رقم اکاپی بود. بهره‌گیری از سویه-های بومی ازتوباکتر، این قابلیت را دارد که بخشی از نیاز گیاه کلزا به عناصر غذایی در شرایط عادی یا خشکی را فراهم نماید.

منابع

Aebi, H., 1984. Catalase in vitro. Methods in Enzymology. 105, 121-126.

Agarwal, S., Pandey, V,. 2004. Antioxidant enzyme responses to Nacl stress in Cassia angustifolia. Journal of Biology Plant. 48, 555-560.

Ahmadi Musavi, E.S., Manoochehri Kalantari, Kh. Turkzadeh, M., 2005. Effect of a kind of brasinosteroid (24-epibrassinolide) on the concentration of malonaldehyde, proline, sugar and photosynthetic pigments in rapeseed (*Brassica napus* L.) under water deficit stress. Iranian Journal of Biology. 18(4), 295-306. [In Persian with English Summary].

Ahmed, A., El-Aid Shamel, M., Alam, E., Waleed, M., 2018. Effect of organic and biofertilizationon vegetative growth, yield, and fruit qulity of Valencia orange trees. Journal of Productivity and Development. 23(1), 111-134.

Arora, A., Sairam, R.K., Srivastava, G., 2002. Oxidative stress and antioxidative system in plants. Current Science. 82, 1227-1238.

Arnon, A.N., 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal. 23, 112-121

Ashraf, M., Foolad, M.R., 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environmental and Experimental Botany. 59, 206–216.

Ashrafuzzaman, M., Akhtar, H., Razi, M., 2009. Efficiency of plant growth promoting bacteria for the enhancenment of rice growth. African Journal of Biotechnology. 8, 1247-1252.

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

Blokhina, O., Virolainen, E., Fagerstedt, K.V., 2003. Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review. Annales Botanici Fennici. 91, 179-194.

Bohner, H.J., Nelson, D., Jensen, R., 1995. Adaptation to Environmental Stresses. Plant Cell. 7, 1099-1111.

Bradfod, M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry. 72, 248-254

Deepak, B., Ansari, M., Ranjan, K., Narendra, T., 2014. Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soilfertility. plant tolerance and crop productivity. Microbial Cell Factories. 13, 66 - 66

Dixon, R.O.D., Wheeler, C.T., 1986. Nitrogen Fixation in Plants. Glasgow: Blackie; Chapman and Hall, NewYork.

Dehshiri, O., Pak Niat, H., 2013. Evaluation of oilseed rape genotypes (*Brassica napus* L.) based on chlorophyll and carotenoids contents

and antioxidant enzymes under drought stress conditions. Journal of Crop Production and Processing. 3(10), 69-77. [In persian with English Summary].

Delkhosh, B., Shirani Rad, A.H., Noor Mohammadi, Gh., Darvish, F., 2006. Effect of drought stress on yield and chlorophyll content of rapeseed cultivars. Agricultural Sciences. 2, 366-359. [In persian with English Summary] .

Din, J., Khan, S.U., Ali, I., Gurmani, A.R., 2011. Physiological and agronomic response of canola varieties to drought stress. The Journal of Animal and Plant Science. 21, 78– 83.

Esfandiari, E., Shekari, F., Shekari, F., Esfandiari, M., 2007. The effect of salt stress on antioxidant enzymes activity and lipid peroxidation on the wheat seedling. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. 35, 48-56.

Eyni Nargeseh, H., AghaAlikhani, M., Shirani Rad, A.H., Mokhtassi-Bidgoli, A., Modarres Sanavy, S.A.M., 2019. Physiological and agronomic response of rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes to late-season drought stress under Karaj climatic condition. Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production. 29(2), 79-95. [In Persian with English Summary].

Farooq, M., A., Kobayashi, N., D Basra, S. M. A., 2009. Plant drought Stress effects, mechanisms and management..29, 185-212.

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., Basra, S.M.A., 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management Agronomy for Sustinable Development. 29, 185–212.

Food and Agriculture Organization (F.A.O). 2011. Crop Production Statistics. http:// www.Fao.org.

Foyer, C.H., Noctor, G., 2002. Oxygen processing in photosynthesis: regulation and signaling. New Phytologist. 146, 359-388.

Gregersen, P.L., Holm, P., 2007. Transcriptome analysis of senescence in the flag leaf of wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Plant Biotechnology. 5, 192-206.

Ghodrati, Gh., 2012. Effect of drought stress on grain yield and quantitative characteristics of promising canola spring genotypes. Journal of Crop Physiology. 5(18), 82-67. [In Persian with English Summary].

Gonzalez-Lopez, J., Salmeron, V., Moreno, J., Ramos-Cormenzana, A., 1983. Amino acids and vitamins produced by azotobacter vinelandii atcc 12837 in chemically-defined media and dialysed soil media. Soil Biology and Biochemistry. 15(6), 711-713 .

Haghbahari, M., Seyed Sharifi, R., 2014. Study of quantity and quality, chlorophyll content and control of wheat growth attention in response to Seed pioneer with PGPR bacteria at soil salinity level. Science and Technology of Greenhouse Farms, Fifth Year, Number 18, 51-64.

Hagh Bahari, M., Seyed Sharifi, R., 2014. Study of quantitative and qualitative yield, chlorophyll content and some growth indices of wheat (*Triticum aestivum* L.) in response to seed inoculation with PGPR at different levels of soil salinity. Journal of Soil and Plant Interactions. 5(2), 51-65. [In Persian with English Summary].

Hendry, G., 1993. Evolutionary origins and natural functions of fructanc. New Phytologist, 123, 3-14.

Hamrahi, S., Habibi, D., Madani, H., Mashhadi Akbar Boojar, M., 2008. Effect of cycocel and micronutrients on antioxidants rates as indices of drought resistance of rapeseed. New Finding in Agriculture. 2(3), 316-329. [In Persian with English Summary].

Hernandez, J.A., Jimenez, A., Mullineaux, P., Sevilla, F., 2000. Tolerance of pea (*Pisum sativum* L.) to long- term salt stress is associated with induction of antioxidant defenses. Plant, Cell & Environment. 23, 853-862.

Jabbari, H., Akbari, A., Khosh kholgh Sima, N.A., Alahdadi, I., Shirani rad, A.H., Tabatabaee, S.A., Hamed, A., 2014 Comparison of antioxidant enzymes and proline roles in drought tolerance of rapeseed (Brassica napus L.). Journal of Oil Plants Production. 1(1), 15-31. [In Persian with English Summary].

Jaleel, C.A., Manivannan, P., Wahid Farooq, A., Aljuburi, M.H.J., Somasundaram, R., Paneerselvam, R., 2009. Drought Stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. International Journal of Agriculture and Biology. 11, 100-105.

Kalantar Ahmadi, S.A., Ebadi, A., Jahanbakhsh, S., Daneshian, J., Siadat, S.A., 2015. Changes in enzymatic and nonenzymatic antioxidant defense mechanisms of canola seedlings at different drought stress and nitrogen levels. Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 39, 601-612.

Kamrava, S., Babaeian Jolodar, N., Bagheri, N., 2017. Evaluation of drought stress on chlorophyll and proline traits in soybean Genotypes. Journal of Crop Breeding. 9, 95-104. [In Persian with English Summar].

Khavazi, K., Asadi Rahmani, H., Malakouti, M. J., 2005. Necessity of biofertilizer industrial production in the country (Collection of papers-Second Edition). Research Institute of Soil and Water, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Ministry of Agriculture, 439p. [In Persian].

Lichtenthaler, H., 1987. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. Methods in Enzymology. 148, 350-382.

Lotfi, R., Gharavi-Kuochebagh, P., Khoshvaghti, H., 2015. Biochemical and physiological responses of *Brassica napus* plants to humic acid under water stress. Russian Journal of Plant Physiology. 62, 480-486.

Masinovsky, Z., Lozovaya, G.I., Sivash, A.A., 1992. Some aspects of the early evolution of photosynthesis. Advances in Space Research. 12, 199-205.

Mendham, N.J., Salisbury, P.A., 1995. Physiology: Crop development, growth and yield. In: Kimber, D.S., Mcgregor, D.I. (eds.), Brassica Oilseeds: Production and Utilization. , CAB International, Wallingford. pp. 11-64.

Mihailović, N., Lazarević, M., Dželetović, Z., Vučković, M., Đurđević, M., 1997. Chlorophyllase activity in wheat (*Triticum aestivum* L.). Leaves during drought and its dependence on the nitrogen ion form applied. Plant Science. 129, 141-146.

Milosevic, N., Tintor, B., Protic, R., Cvijanovi, G., Dimitrijevi, T., 2012. Effect of inoculation with *Azotobacter chroococcum* on wheat yield and seed quality. Romanian Biotechnological Letters. 17, 7352-7357.

Mirzaee, M., Moieni, A., Ghanati, F., 2013. Effects of drought stress on the lipid peroxidation and antioxidant enzyme activities in two canola (*Brassica napus* L.) cultivars. Journal of Agricultural Science and Technology. 15, 593- 602.

Molinari, H.B.C., Marur, C.G., Daros, E., Campos, M.K.F., Carvalho, J.F.R.P., 2007. Evaluation of the stress-inducible production of proline intransgenic sugarcane (*Saccharum* spp.): osmotic adjustment, chlorophyll fluorescence and oxidative stress. Physiologia Plantarum. 130, 218-229.

Naeemi, T., Fahmideh, L., Fakheri, B., 2018. The Impact of drought stress on antioxidant enzymes activities, containing of proline and carbohydrate in some genotypes of durum wheat (*Triticum turgidu* L.) at seedling stage. Journal of Crop Breeding. 10(26), 22-31. [In Persian with English Summary].

Nosrati, Sh., Ghandian Zanjan, M., Eradatmand Asli, D., 2014. Fluctuations of proline concentration and soluble sugars content affected drought stress in canola (*Brassica napus* L.) seedlings. Journal of Applied Science and Agriculture. 9(2), 497-502.

Omidi, H., 2010. Changes of proline content and activity of antioxidative enzymes in two canola genotype under drought stress. American Journal of Plant Physiology. 5, 338-349.

Sairam, R.K., 2000. Induction of oxidative stress and antioxidant activity by hydrogen peroxide trearment in tolerant and susceptible Wheat genotypes. Biologia Plantarum. 43, 381-86.

Sadaqat, H.A., Tahir, M.H.N., Hussain, M.T., 2003. Physiogenetic aspects of drought tolerance in canola (*Brassica napus* L.). International Journal of Agriculture and Biology. 5, 611-614.

Saneoka, H., Moghaieb, R., Premachangra, G. S., Fujita, K., 2004. Nitrogen nutrition and water stress effects on cell membrane stability and leaf water relations in *Agrostis palustris* huds. Environmental and Experimental Botany. 52, 131–138.

Sanchez-Rodriguez, E., Rubio-Wilhelmi, M., Cervilla, L.M., Blasco, B., Rios, J.J., Rosales, M.A., Romero, L., Ruiz, J.M., 2010. Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants. Plant Science. 178, 30-40.

Sepehri, A., Golparvar, A.R, 2011. The effect of drought stress on water relations, chlorophyll content and leaf area in canola cultivars

(*Brassica napus* L.). Electronic Journal of Biology. 7, 49-53.

Scandalios, J.G., 1993. Oxygen stress and superoxide dismutases. Plant Physiology. 101, 7-12.

Shariat, A., Assareh, M.H., 2008. Effects of drought stress on pigments, prolin, soluble sugar and growth parameters on four Eucalyptus species. Pajouhesh & Sazandegi. 78, 139-148 [In Persian with English Summary].

Sinaki J.M., Heravan, E.M., Ra, A.H.S., Noormohammadi, Gh., Zarei, G., 2007. The effects of water deficit during growth stages of canola (*Brassica napus* L.). American-Eurasian Journal of Agriculyural and Environmental Sciences. 4, 417-422.

Soroori, M., Ehteshami, S., Rebiyi, M., Khavazi, K., 2013. Effect of cooperation of Azotobacter chroococcum strains on yield, yield components and qualitative indices of rapeseed (Brassica napus L.) in Rasht. Journal of Crops Improvement, 15(1), 149-162. [In Persian with English Summary].

Taize, L., Zeiger, E., 2006. Plant Physiology, 4th ed.; Sinauer Associates, Inc.: Sunderland, MA, USA.

Tahmasbi Sarvestani, Z., Jenner, C.F., McDonald, G., 2003. Dry matter and nitrogen remobilization of two wheat genotypes under post-anthesis water stress conditions. Journal of Agricultural Science Technology. 5, 21-29.

Tohidi-Moghadam, H.R., Shirani Rad, A.H., Nour-Mohammadi, G., Habibi, D., Mashhadi-Akbar-Boojar, M,. 2009. Effect of super absorbent application on antioxidant enzyme activities in canola (*Brassica napus* L.) cultivars under water stress Conditions. American Journal of Agricultural and Biological Sciences. 4, 215-223.

Vessey, K.J., 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. Plant and Soil. 255, 571–586.

Zhao, L.Y., Dong, X.P., Shan, L., 2005. The response mechanism ofactive oxygen species removing system to drought stress. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica. 25, 413–418.