علوم گیاهان زراعی ایران
دورهٔ ۴۵، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۳۹۳ (ص ۴۱۷-۴۰۹)

اثر کاربرد سوپرجاذب بر عملکرد دانه و برخی خصوصیات فیزیولوژیکی هیبریدهای کلزا در شرایط تنش کمبود آب پایان فصل

ساناز وزیری[۱] و احمد نادری[۲*]
۱. کارشناس ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات خوزستان
۲. دانشیار، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۹/۲۲ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۱/۱/۲۷)

چکیده

کاربرد سوپرجاذب‌ها برای به تأخیر انداختن شرایط کمبود آب به‌منظور کاهش خسارت ناشی از تنش کمبود آب، از جمله روش‌های مدیریت آب و خاک در شرایط مذکور به‌شمار می‌رود. به‌منظور بررسی اثر کاربرد سوپرجاذب بر عملکرد و اجزای آن، مقادیر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و روابط آبی دو رقم کلزا در وضعیت تنش کمبود آب پایان فصل، مطالعه‌ای به‌صورت آزمایش کرت‌های دوبار خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در اهواز در سال زراعی ۱۳۸۸-۸۹ اجرا شد. تیمارها شامل دو سطح آبیاری بدون محدودیت آب و تنش خشکی پایان فصل به‌عنوان عامل اصلی، دو هیبرید ۳۰۸ و ۴۰۱ کلزا به‌عنوان عامل فرعی و سه سطح صفر، ۷۵ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کاربرد سوپرجاذب به‌عنوان عامل فرعی- فرعی بودند. عملکرد دانه، اجزای عملکرد دانه و برخی خصوصیات فیزیولوژیکی شامل مقدار آب نسبی برگ، نشت مواد از غشای سلولی و مقدار دو آنزیم آنتی‌اکسیدان سوپراکسید دیسموتاز و گلوتاتیون پراکسیداز اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد به‌جز شاخص برداشت، اثر تیمار آبیاری بر عملکرد دانه، سایر اجزای عملکرد و خصوصیات فیزیولوژیکی معنی‌دار بود. تفاوت هیبریدها فقط برای عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه معنی‌دار شد. اثر کاربرد سوپرجاذب فقط برای دو صفت عملکرد بیولوژیکی و وزن هزاردانه معنی‌دار نشد. اثر متقابل هیبرید×سوپرجاذب و آبیاری×سوپرجاذب برای عملکرد دانه و سایر صفات معنی‌دار شد. میانگین عملکرد دانه در دو تیمار آبیاری کامل و تنش خشکی پایان فصل به‌ترتیب ۲۹۴۸ و ۱۳۴۵ کیلوگرم در هکتار بود. در شرایط تنش کمبود آب پایان فصل، مقادیر آنزیم‌ها و مقدار نسبی آب برگ کاهش و مقدار نشت مواد از غشای سلولی افزایش یافت. با توجه به مقایسهٔ عملکرد دانه و اجزای آن و همچنین صفات فیزیولوژیکی مورد مطالعه در این تحقیق کاربرد سوپرجاذب سبب کاهش بخشی از خسارت ناشی از اثر کمبود آب در شرایط تنش خشکی پایان فصل شد.

واژه‌های کلیدی: آب نسبی برگ، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت، غشای سلولی.

مقدمه

روغن‌ها از ترکیبات اساسی در تغذیهٔ انسان به‌شمار می‌روند. در سال‌های گذشته به موازات برنامه‌های به‌نژادی برای بهبود ژنتیکی عملکرد در شرایط کمبود آب، کاربرد سوپرجاذب‌ها به‌عنوان یک گزینهٔ جانشین کاهش خسارت ناشی از این تنش در گیاهان زراعی از

* تلفن: ۰۹۱۶۱۱۱۵۵۲۸
E-mail: ah_naderi36@yahoo.com

جمله کلزا مورد توجه قرار گرفته است. در شرایط تنش کمبود آب به‌دلیل افزایش میزان فعالیت رادیکال آزاد اکسیژن، پراکسید هیدروژن (H_2O_2) به‌عنوان یک مادهٔ اکسیدکننده تولید می‌شود و خسارت شدید به غشاهای سلولی وارد می‌کند. یکی از واکنش‌های گیاه برای کاهش خسارت ناشی از تجمع این رادیکال، افزایش مقدار و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت است، به‌طوری‌که افزایش مقدار و فعالیت این آنزیم‌ها به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی تحمل به شرایط مذکور در نظر گرفته می‌شود (Foyer & Noctor, 2003).

گزارش شده است که در اثر تنش کمبود آب، به‌علت آسیب به غشای سلولی، مایع سلولی و واکوئلی و محتویات سلول به بیرون تراوش می‌کنند (Vannozi & Larner, 2007). ژنوتیپ‌هایی با نشت یونی کمتر، به شرایط تنش کمبود آب متحمل‌تر ارزیابی می‌شوند (Foyer & Noctor, 2003). بررسی اثر رژیم‌های مختلف رطوبتی خاک در مرحلهٔ گلدهی کلزا نشان داد که با افزایش شدت تنش رطوبتی، محتوای نسبی آن (RWC)[1] به‌طور معنی‌دار کاهش یافت (Murrien & Peltonen-Sainio, 2006). کاهش مقدار نسبی آب برگ در کلزا، در شرایط کمبود آب به کاهش هدایت روزنه‌ای و کاهش عملکرد در اثر کم شدن فتوسنتز منجر شد (Lawson, 2005). El-Harris *et al*. (2007) گزارش دادند با افزایش سوپرجاذب در کلزا، فعالیت گلوتاتیون پراکسیداز، وزن هزاردانه، تعداد دانه در هر خورجین و عملکرد دانه افزایش یافت. Jensen *et al*. (2007) نتیجه گرفتند که با افزایش میزان کاربرد سوپرجاذب، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن هزاردانه در کلزا به‌صورت خطی افزایش یافت. افزایش تعداد خورجین در واحد سطح (Girma *et al*., 2008; Singh *et al*., 2008) و عملکرد دانهٔ کلزا (Girma *et al*., 2008; Mullen *et al*., 2008) در اثر کاربرد سوپرجاذب گزارش شده است. نتایج مطالعات Challinor *et al*. (2008) نیز نشان داد که کاربرد سوپرجاذب سبب افزایش طول خورجین و تعداد دانه در خورجین شد. در مطالعه‌ای اثر سوپرجاذب بر عملکرد دانهٔ هیبریدهای کلزا معنی‌دار گزارش شد و حداکثر مقدار روغن دانه در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب به‌دست آمد (Sayre *et al*., 2007). در بررسی اثر مقادیر مختلف سوپرجاذب بر عملکرد دانهٔ هیبریدهای کلزا مشاهده شد که با افزایش میزان سوپرجاذب، عملکرد دانه و عملکرد روغن افزایش یافت (Chang *et al*., 2004).

در سال‌های گذشته تحقیقات در زمینهٔ کاربرد سوپرجاذب‌ها در برخی گیاهان زراعی انجام گرفته است. با توجه به تنوع ژنتیکی هیبریدهای کلزا از یک سو و اثر متقابل شرایط محیطی از سوی دیگر، پژوهش در این زمینه ضروری به‌نظر می‌رسد. بررسی‌ها نشان داد که در این زمینه پژوهش‌های کاربردی در گیاه روغنی کلزا در خوزستان صورت نگرفته است. این تحقیق با هدف مطالعهٔ اثر کاربرد سوپرجاذب بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه و برخی خصوصیات فیزیولوژیکی هیبریدهای کلزا انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۱۳۸۸-۸۹ در مزرعهٔ تحقیقاتی در شمال اهواز با طول جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقهٔ شرقی و عرض جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقهٔ شمالی به ارتفاع پنج متر از سطح دریا اجرا شد. برخی خصوصیات خاکشناسی مزرعه در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول۱. مشخصات خاک مزرعهٔ محل تحقیق

عمق خاک	مشخصه						
	هدایت الکتریکی عصارهٔ اشباع خاک (میلی‌موس بر سانتی‌متر)	pH	مواد آلی خاک (٪)	ذرات تشکیل‌دهندهٔ خاک (٪)			بافت خاک
				رس	لای	شن	
۳۰-۰	۵/۴	۸/۴	۰/۸۳	۴۱	۳۹	۲۱	رسی لومی
۶۰-۳۰	۵/۱	۸/۱	۰/۷۷	۴۲	۴۰	۱۸	رسی لومی

1. Relative Water Content

تحقیق به‌صورت آزمایش کرت‌های دو بار خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار اجرا شد. تیمارهای تحقیق شامل دو سطح آبیاری بدون محدودیت آب براساس وضعیت ظاهری گیاه و تنش خشکی پایان فصل به‌صورت عدم آبیاری از مرحلهٔ گلدهی تا رسیدگی کامل به‌عنوان عامل اصلی، دو هیبرید ۳۰۸ و ۴۰۱ کلزا به‌عنوان عامل فرعی و سه سطح صفر، ۷۵ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کاربرد سوپرجاذب به‌عنوان عامل فرعی- فرعی بود. سوپرجاذب گرانولار مورد مصرف مارک 2001F ساخت کارخانهٔ Hydrosorb آمریکا بود. زمین مزرعهٔ آزمایشی با یک شخم سنگین پاییزه و دو دیسک عمود بر هم تهیه شد. کودهای پایه NPK براساس آزمون خاک مزرعه محاسبه شد و تمام کودهای پتاسی و فسفری و نیمی از کود نیتروژنی به‌صورت پایه و در زمان تهیهٔ زمین با خاک مزرعه آزمایشی مخلوط شد. پس از تسطیح زمین، کاشت بذور هر هیبرید روی خطوط به‌صورت کپه‌ای به فاصلهٔ پنج سانتی‌متر انجام گرفت. هر کرت فرعی- فرعی شامل پنج خط به طول پنج متر با فاصلهٔ خطوط ۷۵ سانتی‌متر به مساحت ۱۸/۷۵ متر مربع بود، که دو خط به‌عنوان حاشیه، دو خط جهت عملکرد و یک خط برای نمونه‌برداری در نظر گرفته شد. فواصل بین کرت‌های اصلی در هر تکرار و بین تکرارها دو متر در نظر گرفته شد. با توجه به دامنهٔ توصیه‌شده برای کلزا در شرایط آب‌وهوایی خوزستان، کاشت در تاریخ ۱۳۸۸/۹/۱۰ و آبیاری اول بلافاصله پس از کاشت انجام گرفت. پس از تنک کرت‌های آزمایشی ۲۰ روز پس از سبز شدن، بقیهٔ کود نیتروژنه به‌صورت کود سرک از منبع اوره به زمین اضافه شد. مقدار سوپرجاذب برای هر کرت آزمایشی محاسبه و در حاشیهٔ حدود ۱۰ سانتی‌متر از بوته‌ها و در عمق حدود ۱۰-۱۵ سانتی‌متری خاک در مرحلهٔ شروع گلدهی جایگذاری شد و پس از آن آبیاری انجام گرفت. برای اندازه‌گیری مقدار آب نسبی برگ ۱۵ و ۲۵ روز پس از مصرف سوپرجاذب، از برگ‌های جوان کاملاً توسعه‌یافتهٔ کرت‌های آزمایشی نمونه‌برداری شده و نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شدند. وزن تازهٔ برگ‌ها (FW) با ترازوی حساس توزین شد. نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر و در دمای ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد آزمایشگاه قرار داده شدند. وزن نمونه‌های آماس‌شده (SW) با ترازوی حساس توزین و پس از آن نمونه‌ها در داخل آون در دمای ۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند و وزن خشک (DW) آنها توزین شد. مقدار آب نسبی برگ هر نمونه از رابطهٔ زیر محاسبه شد:

$$RWC=[(FW-DW)/(SW-DW)]\times 100$$

به‌منظور اندازه‌گیری نشت شیرهٔ سلولی[1] (CML) به‌عنوان معیاری از پایداری غشای سیتوپلاسمی، پنج نمونه به ابعاد ۲×۲ سانتی‌متر از برگ هر کرت در آزمایشگاه تهیه شد. نمونه‌های تهیه‌شده از هر کرت در لولهٔ آزمایش حاوی ۱۰ میلی‌لیتر محلول مانیتول با پتانسیل اسمزی ۲- مگاپاسکال به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند و پس از آن میزان هدایت الکتریکی محلول هر لوله به‌وسیلهٔ دستگاه ECمتر اندازه‌گیری شد. با ارسال نمونه از برگ‌های هر کرت به مؤسسهٔ تحقیقات بیوتکنولوژی کشاورزی، مقدار دو آنزیم آنتی‌اکسیدان سوپراکسید دیسموتاز[2] (SOD) گلوتاتیون پراکسیداز[3] (GPX) تعیین شد. تعداد خورجین در بوته با شمارش خورجین‌های ۱۰ بوته از هر کرت و محاسبهٔ میانگین آنها برآورد شد. در زمان رسیدگی کامل گیاه که با توجه به وضعیت ظاهری گیاه در محدوده دههٔ اول اردیبهشت بود، پس از حذف حاشیه‌ها، پس از حذف نیم متر از بالا و نیم متر از پایین دو خط میانی، محصول هر کرت آزمایشی از سطح شش متر مربع کف‌بر و وزن بیوماس به‌عنوان عملکرد بیولوژیکی و محصول دانهٔ هر کرت به‌عنوان عملکرد دانه در نظر گرفته شد. با شمارش دانه‌های ۵۰ خورجین از محصول هر کرت، تعداد دانه در خورجین برآورد و وزن هزاردانه تعیین شد. شاخص برداشت از نسبت عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیکی و ضرب آن در عدد صد محاسبه شد. داده‌ها براساس مدل آماری آزمایش کرت‌های دوبار خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت و برای آزمون فرض صفر، پس از تجزیهٔ واریانس براساس مقایسهٔ میانگین مربعات، میانگین صفات مورد بررسی در

1. Cell Membrane Leakage
2. Super Oxide Dismutase
3. Glutathione Peroxides

تحقیق براساس روش حداقل تفاوت معنی‌دار با شاهد مقایسه شد. همبستگی صفات و رگرسیون ساده و چندگانه به روش گام‌به‌گام پیش‌رونده (Stepwise) با استفاده از نرم‌افزارهای آماری SAS و Minitab انجام گرفت. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌های تحقیق در جدول ۲ نشان داده شده است. اثر تیمار آبیاری به‌جز شاخص برداشت بر سایر صفات معنی‌دار بود؛ تفاوت هیبریدها فقط از نظر عملکرد بیولوژیکی معنی‌دار شد؛ اثر کاربرد سوپرجاذب برای عملکرد بیولوژیکی، وزن هزاردانه، آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز و مقدار آب نسبی برگ معنی‌دار نشد، درحالی‌که برای عملکرد دانه و سایر صفات معنی‌دار شد؛ اثر متقابل هیبرید×آبیاری و هیبرید × سوپرجاذب، به‌جز وزن هزاردانه و تعداد دانه در خورجین، برای سایر صفات معنی‌دار شد؛ اثر متقابل آبیاری×سوپرجاذب و اثر متقابل سه‌گانهٔ سوپرجاذب×هیبرید×آبیاری بر عملکرد دانه و اجزای آن معنی‌دار شد؛ اثر آبیاری بر مقدار نسبی آب برگ، مقدار نشت مواد به‌عنوان معیاری از پایداری غشای سیتوپلاسمی و مقدار آنزیم‌ها معنی‌دار بود. در حالی‌که اثر متقابل هیبرید×سوپر جاذب بر این صفات معنی‌دار بود، اثر کاربرد سوپرجاذب فقط از نظر میزان آنزیم‌ها معنی‌دار نبود. اثر متقابل آبیاری×هیبرید×سوپرجاذب بر میزان آب نسبی برگ، مقدار نشت مواد و میزان آنزیم‌ها معنی‌دار شد. معنی‌دار شدن آبیاری و اثرهای متقابل حاصل از ترکیب تیمار آبیاری با هیبرید و سوپرجاذب را می‌توان به نقش و اثر تیمار آبیاری بر صفات مورد بررسی منتسب کرد. اثر معنی‌دار تنش کمبود آب بر عملکرد دانه، اجزای آن و تغییر در میزان متابولیت‌های بافت گیاهی درکلزا گزارش شده است (Vannozi & Larner, 2007). با توجه به معنی‌دار بودن اثر متقابل سه‌گانهٔ سوپرجاذب×هیبرید×آبیاری بر عملکرد دانه و اجزای آن، مقایسهٔ میانگین عملکرد دانه و صفات وابسته به آن در اثر متقابل سه‌گانه انجام گرفت که نتایج در جدول ۳ نشان داده شده است. بیشترین عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه به‌ترتیب با ۷۰۸۵ و ۳۱۶۹ کیلوگرم در هکتار در ترکیب تیماری بدون محدودیت آب و کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب از هیبرید ۳۰۸ به‌دست آمد. عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه در اثر تنش خشکی پایان فصل در هر دو هیبرید به‌شدت کاهش یافت.

جدول ۲. نتایج واریانس داده‌های مربوط به صفات هیبریدهای کلزا براساس میانگین مربعات تحت تأثیر تیمارهای آب و مقادیر مختلف سوپرجاذب

منابع تغییرات	درجهٔ آزادی	عملکرد بیولوژیکی	عملکرد دانه	شاخص برداشت	وزن هزاردانه	تعداد خورجین در بوته	تعداد دانه در غلاف	گلوتاتیون پراکسیداز	سوپراکسید دیسموتاز	مقدار نسبی آب	پایداری غشای
تکرار	۳	۲۹/۳۷ ns	۳۲/۹۸ ns	۲۷/۷۶ ns	۲۶/۲۶ ns	۲۴/۲۶ ns	۲۵/۵۵ ns	۱۸/۹۸ ns	۱۵/۶۶ns	۲۵/۲۱ ns	۲۹/۶۵ ns
آبیاری(A)	۱	۱۶۱/۶۱**	۱۹۰/۵۹**	۲۹/۳۱ ns	۱۷۱/۲۵**	۹۵/۷۵*	۸۱/۷۶*	۱۶۱/۵۱**	۲۶۳**	۲۶۴/۲۴**	۲۸۶/۲۱**
خطای A	۳	۳/۸۴	۴/۸۰	۵/۹۸	۴/۶۷	۴/۸۹	۵/۱۹	۴/۹۷	۵/۷۷	۵/۹۸	۶/۷۸
هیبرید(B)	۱	۳۲/۱۲*	۲۸/۳۲*	۱۷/۵۲ ns	۲۱/۳۵ ns	۱۷/۲۷ ns	۱۹/۲۵ ns	۱۷/۲۷ ns	۲۱/۱۷ ns	۱۹/۵۲ ns	۲۱/۴۵ ns
آبیاری × هیبرید	۱	۶۷/۵۱**	۶۱/۲۷**	۶۹/۷۱**	۱۹/۲۷ ns	۸۱/۲۵**	۱۲/۶۷ ns	۸۱/۶۷**	۸۹/۶۶**	۸۱/۹۱**	۹۱/۵۷**
خطای B	۶	۳/۲۹	۳/۹۵	۴/۹۷	۴/۲۶	۴/۲۵	۴/۴۵	۴/۳۳	۵/۲۶	۴/۶۸	۵/۹۸
سوپرجاذب (C)	۲	۵/۲۶ ns	۱۴/۴۵*	۴۲/۴۵**	۱۱/۲۹	۲۹/۳۵**	۳۱/۲۹**	۸/۶۹ ns	۲۳/۲۱*	۸/۷۱ns	۳۹/۶۱**
آبیاری × سوپرجاذب	۲	۱۹/۲۱**	۴۲/۲۷**	۳۴/۳۶**	۱۹/۲۵*	۳۹/۶۴**	۲۲/۲۱*	۱۸/۸۹*	۳۲/۱۷**	۳۴/۳۸**	۶۱/۴۲**
رقم × سوپرجاذب	۲	۲۱/۰۲**	۳۱/۸۹**	۲۹/۴۲**	۹/۶۷ ns	۲۸/۶۹**	۷/۷۱ ns	۹/۹۶ ns	۱۰/۷۱ ns	۹/۹۴ ns	۱۰/۱۷ ns
آبیاری× هیبرید× سوپرجاذب	۲	۲۷/۶۹**	۲۸/۵۱**	۲۹/۶۱**	۷۱/۳۶**	۱۵/۵۱*	۱۵/۳۹*	۱۹/۲۷*	۳۶/۵۴**	۳۱/۲۱**	۱۹/۲۱*
خطای C	۲۴	۲/۹۹	۳/۴۵	۴/۲۸	۳/۹۵	۳/۷۸	۳/۸۹	۳/۷۷	۴/۶۸	۳/۹۹	۴/۸۱
C. V.%		۱۶	۱۳	۶	۵	۱۴	۸	۵	۴	۵	۳

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال خطای ۵ و ۱ درصد. ns: معنی‌دار نیست.

جدول ۳. میانگین عملکرد دانه، اجزای آن و صفات فیزیولوژیکی در اثر متقابل تیمارهای تحقیق

تیمارهای تحقیق			عملکرد دانه و اجزای آن						صفات فیزیولوژیکی			
تیمار آبیاری	هیبریدها	مقدار سوپرجاذب (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد بیولوژیکی (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	شاخص برداشت (٪)	وزن هزاردانه (گرم)	خورجین در بوته	دانه در خورجین	گلوتاتیون پراکسیداز (واحد در گرم پروتئین)	سوپراکسید دیسموتاز (واحد در گرم پروتئین)	مقدار نسبی آب (٪)	پایداری غشای (میلی‌موس بر سانتی‌متر)
آبیاری کامل	۳۰۸	(شاهد)	۶۸۴۱c†	۲۹۴۴c	۴۳c	۳/۱۶c	۳۴۸c	۲۷c	۸/۲۶c	۶۹۷c	۸۲c	۹۲۷c
		۷۵	۶۹۵۱c	۳۰۷۱c	۴۴c	۳/۲۲c	۳۵۱c	۲۷c	۸/۳۰c	۷۰۵c	۸۷c	۸۹۰c
		۱۵۰	۷۰۸۵c	۳۱۶۹c	۴۵a	۳/۲۷c	۳۵۴c	۲۸c	۸/۳۵c	۷۱۸c	۸۸c	۸۵۷c
	۴۰۱	(شاهد)	۶۲۶۸c	۲۶۲۵e	۴۲c	۲/۹۴c	۳۴۵c	۲۶c	۸/۱۳c	۶۷۰c	۸۰c	۱۰۳۲c
		۷۵	۶۵۱۵c	۲۸۴۹c	۴۴c	۲/۹۹c	۳۴۹c	۲۷c	۸/۱۹c	۶۵۶c	۸۳c	۹۸۷c
		۱۵۰	۶۶۷۲c	۳۰۳۲ c	۴۵ a	۳/۰۷c	۳۵۲c	۲۷c	۸/۲۲c	۶۶۸c	۸۶c	۹۴۴c
تنش خشکی انتهای فصل	۳۰۸	(شاهد)	۴۲۷۹e	۱۲۴۶e	۲۹e	۲/۲۹e	۲۲۸e	۲۴e	۷/۲۶e	۵۴۵e	۵۹e	۱۱۵۳a
		۷۵	۴۵۶۱e	۱۴۳۸e	۳۲e	۲/۳۸e	۲۵۰e	۲۴e	۷/۵۲e	۵۶۷e	۶۱e	۱۱۱۸a
		۱۵۰	۴۸۰۲ e	۱۵۹۵ e	۳۳c	۲/۴۸e	۲۶۴e	۲۴e	۷/۸۴c	۵۹۶c	۶۴e	۱۰۵۷c
	۴۰۱	(شاهد)	۴۱۳۵ e	۱۱۷۱e	۲۸e	۲/۲۶e	۲۲۴e	۲۳e	۷/۱۰e	۵۱۳e	۵۸e	۱۲۷۴a
		۷۵	۴۲۳۹e	۱۲۱۸e	۲۹e	۲/۲۸e	۲۲۷e	۲۴e	۷/۲۱e	۵۳۸e	۵۹e	۱۲۳۲a
		۱۵۰	۴۳۱۹e	۱۴۰۲e	۳۲e	۲/۳۴e	۲۴۸e	۲۴e	۷/۴۵e	۵۵۸e	۶۳e	۱۱۸۰a
$LSD_{1\%}$			۶۳۱	۲۸۶	۲	۰/۲۳	۳۶	۲	۰/۶۳	۱۲۶	۱۷	۱۶۷

†: c شاهد و بدون اختلاف معنی‌دار با شاهد، a و e به‌ترتیب بیش از ۱ درصد و کمتر از ۱ درصد نسبت به شاهد.

اگرچه در تیمارهای کاربرد سوپرجاذب کاهش این دو صفت در مقایسه با تیمار بدون کاربرد سوپرجاذب تا حدودی کمتر بود، کاربرد این ماده موجب جبران کامل کاهش عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه در اثر شرایط خشکی نشد. کاهش عملکرد دانه در اثر کمبود آب در کلزا گزارش شده است (Shabani *et al*., 2013). با توجه به بیشتر بودن میانگین عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه در ترکیب تیماری بدون محدودیت آب و کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب در هیبرید ۳۰۸، بیشترین شاخص برداشت به مقدار ۴۵ درصد نیز از این تیمار به‌دست آمد (جدول۳).

بیشتر بودن عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه و شاخص برداشت در ترکیب تیماری مذکور را می‌توان به توازن رابطهٔ منبع و مخزن فیزیولوژیکی نسبت داد. در ترکیب تیماری مذکور با بیشتر بودن تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین، اندازهٔ مخزن افزایش یافت که در نتیجه با توجه به تحریک فعالیت منبع در اثر بیشتر بودن ظرفیت مخزن از یک سو و فراهم بودن آب برای تداوم جریان و در نتیجه دوام فعالیت‌های متابولیکی گیاه از سوی دیگر، وزن هزاردانه در ترکیب تیماری مذکور در مقایسه با سایر تیمارها افزایش نشان داد (جدول۳).

کاهش عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه و در نتیجه سایر صفات مؤثر بر عملکرد در شرایط تنش خشکی را می‌توان به کاهش همهٔ اجزای تشکیل‌دهندهٔ عملکرد و به‌خصوص تعداد خورجین در بوته نسبت داد. نتایج این تحقیق در خصوص حساسیت بیشتر تعداد خورجین در بوته در مقایسه با سایر اجزای عملکرد نسبت به شرایط کمبود آب با یافته‌های Ahmadi & Bahrani (2009) و Shabani *et al*. (2013) مطابقت داشت. اگرچه از نظر فنولوژیکی، تعداد بالقوهٔ خورجین در بوته قبل از گرده‌افشانی یعنی قبل از زمان اعمال تنش در این تحقیق تشکیل می‌شود، تعدادی از خورجین‌های تشکیل‌شده در بوته در پاسخ به شرایط تنش خشکی پایان فصل ریزش یافتند. براساس نظریات ارائه‌شده در مورد کاربرد سوپرجاذب، اگرچه با مصرف این ماده به‌نظر می‌رسد که آزادسازی آب ذخیره‌شده در آن در مقایسه با شرایط بدون کاربرد این ماده، در زمان بیشتری صورت گرفته و در نتیجه با توجه به مقایسهٔ عملکرد دانه و اجزای آن تا حدودی از اثر تنش کمبود آب کاسته شد، اثر تنش کمبود آب به‌وسیلهٔ کاربرد سوپرجاذب به‌طور کامل جبران نشد. Girma *et al*. (2008) گزارش دادند افزایش میزان مصرف به‌ترتیب از ۶۰-۹۰ به ۹۰-۱۲۰ کیلوگرم در هکتار موجب افزایش معنی‌دار مادهٔ خشک کل و عملکرد دانه شد. این محققان بیان داشتند که

افزایش عملکرد دانه، اغلب به تعداد دانهٔ بیشتر در هر خورجین بستگی داشت. نتایج این تحقیق در خصوص اثر تنش کمبود آب و اثر تعدیل‌کنندهٔ سوپرجاذب در کاهش خسارت ناشی از تنش با یافته‌های El-Harris *et al.* (2007)، Mullen *et al.* (2008) و Singh *et al.* (2008) مطابقت داشت. این محققان گزارش دادند که کاربرد سوپرجاذب در کلزا، اثر معنی‌دار در افزایش تعداد خورجین، وزن هزاردانه، تعداد دانه در هر خورجین و عملکرد دانه داشت. Challinor *et al.* (2008) نتیجه گرفتند که که با افزایش کاربرد سوپرجاذب در کلزا تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن هزاردانه به‌صورت خطی افزایش یافتند.

کاهش وزن هزاردانهٔ هیبریدهای مورد مطالعه در این تحقیق در اثر تنش کمبود آب پایان فصل قابل انتظار بود. الگوی تجمع مادهٔ خشک و تخصیص آن به اندام‌های مختلف در طول فصل رشد گیاه علاوه بر خصوصیات ژنتیکی به شرایط محیطی رشد گیاه نیز بستگی دارد. با توجه به اینکه فتواسیمیلاسیون جاری گیاه و انباشت مادهٔ خشک در اندام‌های رویشی و توزیع مجدد آن، اغلب تحت تأثیر و کنترل ورود و خروج دی‌اکسیدکربن در نتیجهٔ تداوم جریان تعرقی است، به‌نظر می‌رسد در اثر تنش خشکی پایان فصل در دورهٔ رشد گیاه از گلدهی تا رسیدگی فیزیولوژیکی، ورود این گاز به محیط داخلی گیاه در پاسخ به واکنش روزنه‌ها به شرایط مذکور، با محدودیت مواجه شده و در نتیجه فتواسیمیلاسیون گیاه کاهش یافته است. معنی‌دار نشدن اثر تیمار آبیاری و تفاوت هیبریدها برای شاخص برداشت را می‌توان به تغییرات به‌نسبت یکسان عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه منتسب کرد. میانگین کاهش عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه در اثر اعمال کمبود آب در پایان فصل در حدود ۳۳ درصد و میانگین کاهش وزن هزاردانه، تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین در اثر کمبود آب به‌ترتیب ۲۰، ۲۲ و ۷ درصد بود. با توجه به کاهش شدید وزن هزاردانه و تعداد خورجین در بوته به‌نظر می‌رسد کمبود آب سبب تغییر در الگوی منبع-مخزن در گیاه شد، به‌عبارت دیگر در اثر محدودیت آب، تعداد خورجین در بوته و اندازهٔ دانه به‌عنوان مؤلفه‌های تشکیل‌دهندهٔ مخزن از یک سو و فتواسیمیلاسیون جاری و انتقال مواد ذخیره‌ای به‌ترتیب به‌عنوان منابع اصلی و فرعی کاهش یافتند. نتایج این تحقیق در خصوص اثر کمبود آب بر عملکرد دانه و صفات وابسته به آن با یافته‌های Vannozi & Larner (2007) که گزارش دادند کمبود آب در کلزا موجب کاهش عملکرد دانه از طریق کم شدن تعداد خورجین در بوته شد، مطابقت داشت. Lee & Kim (2001) و Asseng *et al.* (2009) نیز گزارش دادند که تنش خشکی از طریق هر دو جزء عملکرد دانه یعنی تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین موجب کاهش عملکرد دانه شد.

میانگین مقدار آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و گلوتاتیون‌پراکسیداز، مقدار نسبی آب برگ و میزان هدایت الکتریکی در شرایط آبیاری کامل به‌ترتیب ۶۸۶، ۷/۲۴ واحد در گرم پروتئین، ۸۵ درصد و ۹۴۰ میلی‌موز بر سانتی‌متر و در شرایط تنش خشکی پایان فصل به‌ترتیب ۵۵۳، ۷/۴۰ واحد در گرم پروتئین، ۶۱ درصد و ۱۱۶۹ میلی‌موز بر سانتی‌متر بود (جدول۳). مقدار هر دو آنزیم و میانگین مقدار نسبی آب برگ در تیمار تنش خشکی پایان فصل نسبت به شرایط آبیاری کامل، کاهش و میزان هدایت الکتریکی به‌عنوان شاخصی از نشت مواد از سلول در اثر تخریب غشای سیتوپلاسمی، افزایش یافتند، اما با افزایش کاربرد سوپرجاذب در هر دو شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی پایان فصل، میانگین صفات فیزیولوژیکی مورد بررسی شامل گلوتاتیون پراکسیداز، سوپراکسیددسموتاز و مقدار نسبی آب برگ افزایش و میزان هدایت الکتریکی محلول سلولی کاهش نشان داد. اگرچه با کاربرد سوپرجاذب، مقادیر هر دو آنزیم و مقدار نسبی آب برگ، افزایش، و نشت مواد از سلول کاهش نشان داد، اثر تنش کمبود آب ناشی از عدم آبیاری در پایان فصل فقط از طریق کاربرد سوپرجاذب جبران نشد. El-Harris *et al.* (2007) گزارش دادند که کاربرد سوپرجاذب در کلزا با افزایش فعالیت گلوتاتیون پراکسیداز اثر معنی‌دار در افزایش تحمل گیاه در برابر تنش خشکی داشت، اما افزایش تحمل گیاه به تنش کمبود آب در اثر کاربرد سوپرجاذب موجب جبران کامل خسارت ناشی از این تنش نشد.

ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه و صفات وابسته

به آن در جدول ۴ نشان داده شده است. همبستگی عملکرد دانه با عملکرد بیولوژیکی، شاخص برداشت، وزن هزاردانه، تعدادخورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین مثبت و معنی‌دار بود. در تجزیهٔ رگرسیون به روش گام به گام (نتایج نشان داده نشده است)، عملکرد بیولوژیکی به‌تنهایی مهم‌ترین مؤلفهٔ مؤثر بر عملکرد دانه بود و درصد تغییرات عملکرد دانه به تغییرات عملکرد بیولوژیکی مرتبط شد. همچنین تعداد خورجین در بوته مهم‌ترین صفت مؤثر بر عملکرد بیولوژیکی بود و به‌تنهایی ۹۹ درصد تغییرات عملکرد بیولوژیکی را به خود اختصاص داد. بنابراین افزایش عملکرد دانه در کلزا از طریق افزایش تعداد خورجین در بوته امکان‌پذیر است. محققان دیگر نیز اثر معنی‌دار تعداد خورجین در بوته در تغییرات عملکرد دانه در کلزا را گزارش کرده‌اند (Khan *et al*., 2006; Akbar *et al*., 2007; Khayat *et al*., 2012; Tusar *et al*., 2012).

جدول۴. ماتریس ضرایب همبستگی ساده بین عملکرد دانه و اجزای آن در کلزا

	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیکی	شاخص برداشت	وزن هزاردانه	خورجین در بوته
عملکرد بیولوژیکی	۰/۹۹**				
شاخص برداشت	۰/۸۹*	۰/۷۹**			
وزن هزاردانه	۰/۷۵**	۰/۹۸**	۰/۹۸**		
خورجین در بوته	۰/۹۸**	۰/۹۹**	۰/۹۹**	۰/۸۸**	
دانه در خورجین	۰/۸۸**	۰/۸۷**	۰/۸۷**	۰/۹۷**	۰/۹۶**

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال خطای ۵ و ۱ درصد. ns: معنی‌دار نیست.

ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه و صفات فیزیولوژیکی در جدول ۵ نشان داده شده است. همبستگی عملکرد دانه با گلوتاتیون پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز، پایداری غشای سیتوپلاسمی و مقدار آب نسبی برگ مثبت و معنی‌دار بود. همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد دانه با مقدار نسبی آب برگ از یک سو و همبستگی منفی و معنی‌دار بین مقدار نسبی آب برگ و مقدار نشت ماده از سلول از سوی دیگر (جدول۵)، نشان‌دهندهٔ اهمیت و قابلیت دسترسی به آب در گیاه برای پایداری غشای سلولی و تداوم جریان تعرقی و در نتیجه امکان ورود گاز دی‌اکسیدکربن به درون گیاه و بالمال حفظ فتواسیمیلاسیون جاری گیاه است. Singh *et al*. (2008) بیان داشتند که در کلزا تنش خشکی سبب کاهش پتانسیل کل آب برگ، درحالی‌که براساس گزارش Girma *et al*. (2008) پتانسیل آب و مقدار نسبی آب برگ در کلزا در شرایط تنش خشکی ملایم ثابت ماند. گزارش شده است که بیشتر بودن محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش آبی از اهمیت ویژه‌ای در پایداری فتوسنتز گیاه برای پرشدن دانه‌ها برخوردار بود و ژنوتیپ‌هایی که نشت یونی کمتری داشتند، به خشکی متحمل‌تر بودند (Blum, 1996; Derby *et al*., 2008). تداوم جریان تعرقی از طریق بهبود شرایط محیطی برای سهولت دسترسی گیاه به آب اهمیت ویژه‌ای در پایداری سنتز مواد در گیاه دارد. تغییر در ساخت متابولیت‌ها، تغییرات در فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان که نتیجهٔ آن حفاظت ساختارهای سلولی از جمله آنزیم‌ها است و تغییر در الگوی ساخت پروتئین‌ها از سازوکارهای سازگاری گیاهان به شرایط تنش محسوب می‌شود. این تغییرات به تداوم کارکرد آنزیم‌ها و در نتیجه پویایی فعالیت فیزیولوژیکی و متابولیکی از جمله فتوسنتز و ساخت مواد منجر می‌شود (Singh *et al*., 2008). تداوم جریان تعرقی در اثر آزادسازی تدریجی آب در خاک از یک سو و تداوم فعالیت‌های فیزیولوژیکی و متابولیکی در اثر افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانت‌ها از سوی دیگر، همبستگی بین عملکرد دانه با صفات فیزیولوژیکی مورد مطالعه در این تحقیق را همچنان که Singh *et al*. (2008) بیان داشتند، توجیه می‌کند. با توجه به همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد دانه با عملکرد بیولوژیکی و تعداد خورجین در بوته از یک سو و مقدار نسبی آب برگ از سوی دیگر، مدیریت‌های زراعی برای افزایش عملکرد دانهٔ کلزا باید بر ایجاد شرایط مناسب برای امکان دسترسی گیاه به آب استوار شود.

جدول ۵. ماتریس ضرایب همبستگی ساده بین عملکرد دانه و صفات فیزیولوژیکی مطالعه‌شده در کلزا

	عملکرد دانه	گلوتاتیون پراکسیداز	سوپراکسید دیسموتاز	پایداری غشای سیتوپلاسمی
گلوتاتیون پراکسیداز	۰/۹۵**			
سوپر اکسید دیسموتاز	۰/۸۷**	۰/۹۸**		
پایداری غشای سیتوپلاسمی	-۰/۹۴**	-۰/۹۶**	-۰/۹۷**	
مقدار آب نسبی برگ	۰/۹۹**	۰/۸۵**	۰/۸۷**	-۰/۹۳**

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال خطای ۵ و ۱ درصد. ns: معنی‌دار نیست.

نتیجه‌گیری کلی

تنش خشکی پایان فصل به‌شدت عملکرد دانه و اجزای آن را کاهش داد. کاهش عملکرد دانه در اثر تنش خشکی پایان فصل اغلب ناشی از کاهش شدید تعداد خورجین در بوته در اثر تنش بود. در شرایط تنش کمبود آب پایان فصل، مقادیر آنزیم‌ها و میزان نسبی آب برگ کاهش و مقدار نشت مواد از غشای سلولی افزایش یافت. کاربرد سوپرجاذب خسارت ناشی از اثر کمبود آب در شرایط تنش خشکی پایان فصل را تا حدی کاهش داد. سودمندی اقتصادی و اثرهای زیست‌محیطی کاربرد این مواد به تحقیقات بیشتر نیاز دارد.

REFERENCES

1. Ahmadi, M. & Bahrani, M.J. (2009). Yield and yield components of rapeseed as influenced by water stress at different growth stages and nitrogen levels. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environment Science*, 5(6), 755-761,
2. Akbar, M., Saleem, U.T., Yaqub, M. & Iqbal, N. (2007). Utilization of genetic variability, correlation and path analysis for seed yield improvement in *Brassica juncea L*. *Journal of Agricultural Research*, 45(1), 25-31.
3. Asseng, S., Jamieson, P.D. & Howden, S.M. (2009). Simulated rapeseed growth affected by rising absorbent polymers.*Field Crops Research*, 288, 445-453.
4. Blum, A. (1996). Crop. Response to drought and the interpretation. *Plant Growth Regul*, 20, 35-148.
5. Challinor, A.J., Wheeler, T.R., Craufurd, P.Q. & Slingo, J.M. (2008). Absorbent polymers influence to root uptake in oil crops.*Agricultural and Forest Meteorology*, 481, 394-401.
6. Chang, J.M., Clay, D.E., Carlson, C.G., Reese, C.L., Clay, S.A. & Ellsbury, M.M. (2004). Defining yield goals and management zones to minimize yield and nitrogen and phosphorus fertilizer recommendation. *Agronomy Jornal*, 96, 825-831.
7. Derby, N.E., Steele, D.D., Terpstra, J., Knighton, R.E. & Casey, F.X.M. (2008). Interactions of polymers and oxidative stress in antioxidant enzymes rate. *Agronomy Jornal*, 456,822-829.
8. El-Harris, M.K., Cochran, V.L., Elliott, L.F. & Bezdicek, D.F. (2007). Effect of polymers, and water deficit on biochemical cellular situation. `*Plant Physiololgical Journal*, 558, 261-270.
9. Flowers, M., Weiz, R., Heininger, R., Osmond, D. & Crozier, C. (2008).Superoxide dismutase in response to water deficit and root development. *Agronomy Jornal*, 612, 314-321.
10. Foyer, C.H. & Noctor, G.N. (2003). Redox seningand signaling assocrated with neactive oxygen in chloroplasts, peroisomes and mitochondria. *Phsiological Plantarum*, 119, 355-364.
11. Foyer, C.H., Lelandais, M. & Kunert, K.J. (1994). Photooxidative stress in plant. *Phsiological Plantarum*, 92, 690-717.
12. Girma, K., Teal, R.K., Freeman, K.W., Tubana, B., Holtz, S., Boman, R.K. & Raun, W.R. (2008).Yield accumulation with absorbent polymers in rapeseed (*Brassica napus* L.). *Plant Science*, 64, 543-550.
13. Herzog, H. & Gotz, K.P. (2004). Influence of water deficit on uptake and distribution of selenium in canola monitore by soil injected 15N. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 190,161-167.
14. Jensen, C.R., Morgensen, V.O., Mortensen G. & Fieldsend, M. (2007). Oxidants activity in crops.*Field Crops Research*, 311, 244-252.
15. Johnson, M.S. & Leah, R.T. (1990). Effect of superabsorbent polyacrylamide on efficency of water use by crop seedling. *Journal of Science and Food Agriciculture*, 52, 431-434.
16. Johnson, G.V. & Raun, W.R. (2008). Polymers application for increase water use efficiency in response to superoxide dismutase. *Agronomy Jornal*, 59, 735-743.
17. Khadem, S.H., Rousta, M.J., Chorom, M., Khadems, S.A. & Kasragan, A. (2010). The effect of different rates of super absorbent polymers and manure on corn nutrient uptake In: *19th world congress of soil science.*1-6. Aug.Brishane. Astrlia.
18. Khan, F.A., Ali, S., Shakeel, A., Saeed, A. & Abbas, G. (2006). Correlation analysis of some quantitative characters in *Brassica napus* L. *Journal of Agricultural Research*, 44 (1), 7-14.

19. Khayat, M., Lack, S. & Karami, H. (2012). Correlation and path analysis of traits affecting grain yield of canola (*Brassica napus* L.) Varieties. *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, 2(6), 5555-5562.
20. Lawson, A.N. (2005). *Emergence timing of volunteer canola in spring wheat fields in Manitoba.* M.Sc.thesis.Univ. of Manitoba, Winnipeg, MB.
21. Lee, D.H. & Kim, Y.S. (2001). The inductive response of the antioxidant enzymes by water deficit stress and selenium in crop plants. *Journal of Plant Physiology*, 770, 151-174.
22. Momoh, E.J.J. Zhou, W.J. & Kristiansson, B. (2002).Variation in the development of secondary dormancy in oilseed rape genotypes under conditions of stress. *Weed Research*, 42, 446-455.
23. Motavalli, P.P., Bundy, L.G. & Peterson, A.E. (2007). Nitrogen uptake and N mineralization with polymers applied in rapeseed (*Brassica napus* L.). *Journal of Agricultural Production*, 116, 211-219.
24. Mullen, R.W. Freeman, K.W., Raun, W.R. & Solie, J.B. (2008). The prevention of water deficit stress for yield protective in rapeseed (*Brassica napus* L.). *Agronomy Jornal*, 44, 781-780.
25. Murrien, S. & Peltonen-Sainio, P. (2006). Radiation–use efficiency of modern and old spring canola cultivars and its response to polymers in northern growing conditions.*Field Crops Research*, 96, 363-373.
26. Sayre, K.D., Rajaram, S. & Fischer, R.A. (2007). Yield improvement to assess antioxidant activity in rapeseed (*Brassica napus* L.). *Crop Science*, 91, 248-255.
27. Singh, D.P., Chaudhury, B.D. & Singh, P. (2008). Brassica cultivars differ response to selenium. *Field Crops Research*, 665, 251-258.
28. Tusar, P., Maiti, S. & Mitra, B. (2006).Variability correlation and path analysis of the yield attributing characters of *Brassica spp*. *Research on Crops*, 7(1), 191-193.
29. Vannozi, G. & Larner, F. (2007). Proline accumulation during drought stress in selenium treatments in rapeseed. *Journal of Plant Physiology*, 254(12), 256-270.