

تأثیر پلیمر سوپر جاذب بر عملکرد، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز)

و پایداری غشاء سیتوپلاسمی در گیاه دارویی خردل تحت شرایط تنش کم آبی

مهدی رحمانی^{۱*}، داوود حبیبی^۲، امیر حسین شیرانی‌راد^۳، جهانفر دانشیان^۴، سید علیرضا ولد آبادی^۴،

مسعود مشهدی‌اکبربوچار^۵، امیرحسین خلعتبری^۱

چکیده

سوپرجاذب‌ها قادرند آب را تا چندین برابر حجم خود جذب و نگهداری کنند. این تحقیق با اهداف بررسی تأثیر سطوح مختلف تنش کم‌آبی و سوپرجاذب بر عملکرد، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و پایداری غشاء سیتوپلاسمی گیاه دارویی خردل در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج در سال زراعی ۱۳۸۶-۸۷ اجرا گردید. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. تیمارها شامل پنج سطح تنش کم‌آبی (آبیاری پس از ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A، قطع آبیاری از مراحل ساقه‌دهی، گل‌دهی، خورجین‌دهی و پرشدن دانه) و سه سطح سوپر جاذب A۲۰۰ (۰، ۵ و ۷ درصد وزنی) بودند. صفات مورد بررسی شامل عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، وزن صد دانه، همچنین میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز) بودند. نتایج حاصل نشان داد که اثر تنش کم‌آبی بر کلیه صفات در سطح ۱ درصد معنی‌دار گردید و اثر سوپرجاذب بر عملکرد دانه، آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز و پایداری غشاء سیتوپلاسمی در سطح ۱ درصد و بر عملکرد بیولوژیک، وزن صد دانه و شاخص برداشت در سطح ۵ درصد معنی‌دار گردید. اثر متقابل تنش کم‌آبی و سوپرجاذب برای هیچ یک از صفات معنی‌دار نشد. آبیاری شاهد با مصرف ۷ درصد سوپرجاذب با میانگین ۵/۸۰۳ و ۲۵/۷۸ تن در هکتار به ترتیب بیش‌ترین عملکرد دانه و بیولوژیک را به خود اختصاص دادند. قطع آبیاری از مرحله ساقه‌دهی با عدم مصرف سوپرجاذب با میانگین ۲۰۶/۱ و ۵۲۳۱ واحد فعالیت بین‌المللی بر میلی‌گرم پروتئین بیش‌ترین میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز و با میانگین ۲۶۸۳ میکروزیمنس بر سانتی‌متر کم‌ترین پایداری غشاء سیتوپلاسمی را به خود اختصاص دادند.

کلمه‌های کلیدی: تنش کم‌آبی، سوپرجاذب، خردل، عملکرد، وزن صد دانه، شاخص برداشت، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، پایداری غشاء

سیتوپلاسمی

۱- کارشناسی‌ارشد زراعت دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان

۲- استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

۳- استاد پژوهش بخش دانه‌های روغنی مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج

۴- استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان

۵- عضو هیأت علمی دانشگاه تربیت معلم تهران

* مسئول مکاتبه. Rahmani.mehdi@Gmail.Com

تاریخ دریافت: زمستان ۱۳۸۷ تاریخ پذیرش: تابستان ۱۳۸۸

خردل^۱ با نام علمی *Sinapis alba* L. گیاهی یک ساله و علفی از خانواده‌ی چلیپاییان^۲ می‌باشد. این گونه با عدد کروموزومی ۲۴، *Brassica hirta* نیز نامیده می‌شود. در اروپا به خردل سفید و در شمال آمریکا به خردل زرد معروف است (امیدبگی، ۱۳۷۹؛ شیرانی‌راد و دهشیری، ۱۳۷۷).

به هر عامل محیطی که به طور بالقوه برای موجود زنده نامساعد باشد، تنش گفته می‌شود (کوچکی و نصیری‌محللاتی، ۱۳۷۳). خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده‌ی رشد گیاهان در سراسر جهان و شایع‌ترین تنش محیطی است که تقریباً تولید ۲۵٪ اراضی جهان را محدود ساخته است (کهن‌مو، ۱۳۷۴؛ هاشمی‌دزفولی، ۱۳۷۳). کمبود آب بیش‌ترین سهم را در کاهش عملکرد گیاهان زراعی دارد (عظیم‌زاده، ۱۳۷۱). به گفته‌ی Levitt (1980) خشکی می‌تواند در اثر وجود یک یا چند عامل آب و هوایی که موجب کمبود آب در داخل گیاه می‌شوند، به وجود آید. کاهش مقدار آب در دسترس گیاه منجر به تنش خشکی و بروز تغییرات نامناسب مرفولوژیک و فیزیولوژیک در گیاه می‌شود. خسارت وارده به گیاهان زراعی در اثر تنش‌های حرارتی، خشکی و شوری در سطح جهان گسترده‌تر بوده و دلایل زیادی وجود دارد که صرف نظر از نوع تنش، گیاه به صورت مستقیم و غیر مستقیم با تنش خشکی مواجه خواهد شد (هاشمی‌دزفولی و همکاران، ۱۳۷۴).

پلیمرها ترکیبات سنتتیک آلی بوده و به صورت مصنوعی تولید می‌شوند و از پلی‌آکریلات‌پتاسیم و کوپلیمرهای پلی‌اکریل‌آمید ساخته شده و می‌توانند در تماس با آب آن را سریعاً تا چندین برابر حجم خود جذب و نگهداری کنند و قابلیت نگهداری آب را در خاک مورد نظر افزایش دهند و در نهایت با کاهش تنش ناشی از خشکی سبب ارتقاء رشد گیاه شوند (روشن، ۱۳۸۱). این مواد بی‌بو، بی‌رنگ و بدون خاصیت آلایندگی خاک، آب و بافت گیاه می‌باشند (اله‌دادی، ۱۳۸۱). پور اسماعیل و همکاران (۱۳۸۵) در بررسی که روی گیاه لوبیا قرمز انجام دادند، اظهار داشتند تنش خشکی سبب کاهش عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، وزن صد دانه و پایداری غشاء سیتوپلاسمی و افزایش سطح فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (شامل کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز) شده در حالی که مصرف پلیمر سوپر جاذب به مقدار ۷٪، به دلیل کاهش اثرات تنش خشکی سبب افزایش عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، وزن صد دانه و پایداری غشاء سیتوپلاسمی و کاهش فعالیت این آنزیم‌ها شده است. آنها

1- Mustard
2- Cruciferae

همچنین بیان داشتند که افزایش آنزیم‌های بالا در شرایط تنش خشکی نشان‌دهنده‌ی اثر این آنزیم‌ها در کاهش آسیب‌های تنش اکسیداتیو و نقش مهم آنها در مقابله با رادیکال‌های آزاد می‌باشد. رحمانی (۱۳۸۶) در آزمایش خود بر روی همیشه بهار بیان کرد که فاکتور زمان آبیاری، تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت داشت. تنش آبی موجب بسته شدن روزنه‌ها شد در نتیجه میزان فتوسنتز کاهش یافته و در نهایت تولید ماده خشک کم‌تر شد و میزان عملکرد کاهش یافت. کاهش میزان فتوسنتز خالص در شرایط تنش خشکی که بیانگر کاهش مقدار تولید ماده خشک در واحد سطح برگ و در نتیجه کاهش عملکرد می‌باشد، نشان می‌دهد که در اثر تنش خشکی، کارایی سطح برگ کاهش یافته است. کاهش پارامترهای رشدی و عملکرد گیاه تحت شرایط خشکی در سایر گیاهان مانند نعنای (حسنی، ۱۳۸۲)، گندم (Coy, 1987) و ریحان سبز (حسنی، ۱۳۸۲) نیز گزارش شده است. شریفی (۱۳۸۰) اظهار داشت که تعداد پنجه، سطح برگ، وزن خشک، رشد بخش هوایی، تعداد سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت تحت شرایط تنش خشکی در گیاه گندم کاهش یافته است. (Gupta et al (2001) اعلام کردند که تعداد دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و وزن خشک اندام هوایی در مرحله‌ی گرده افشانی با تنش خشکی گندم کاهش یافت. (Saleem (2003 بیان کرد که تنش خشکی در گندم، مقدار بیوماس، عملکرد کاه، ارتفاع بوته، طول خوشه و مقدار سنبلچه در خوشه را کاهش می‌دهد. (Jensen et al (1996 اعلام داشتند که تنش خشکی، سبب کاهش معنی‌دار عملکرد در کلزا شده است. عطایی (۱۳۸۳) در آزمایشی که بر روی گیاه نخود انجام داد اظهار داشت که تنش خشکی به‌طور معنی‌داری میزان فعالیت آنزیم کاتالاز و سوپر اکسید دیسموتاز را افزایش می‌دهد. نتایج ساعی و همکاران (۱۳۸۴) نشان داد که فعالیت آنزیم کاتالاز تحت تأثیر تنش خشکی نسبت به شاهد به طرز معنی‌داری افزایش می‌یابد. ایشان تعیین سطح فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را بعنوان یک پارامتر برای تعیین گونه‌های مقاوم به خشکی در سورگوم علوفه‌ای تشخیص دادند. عمان و همکاران (۱۳۸۴) نشان دادند که تنش خشکی سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان می‌شود. از این رو می‌توان از این آنزیم‌ها بعنوان شاخصی برای انتخاب ارقام متحمل به خشکی در آفتابگردان آجیلی استفاده کرد. (Jin et al (2006 اظهار کردند که با افزایش تنش خشکی، پس از ۲۴ ساعت میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در گیاه رز شاخه بریده افزایش می‌یابد. بیش‌تر تنش‌های محیطی در نهایت بر روی غشاء سیتوپلاسمی سلول آسیب می‌رسانند. برای نمونه سرما، خشکی و یا شوری با تأثیر روی غشاء سیتوپلاسمی و ایجاد آسیب به آن موجب خروج محتویات سلول گشته که در نهایت مرگ سلول را موجب می‌شود (حبیبی، ۱۳۷۲). به‌طور کلی تنش آبی بر روی غشاء سیتوپلاسمی تأثیر می‌گذارد و تنش شدید آب می‌تواند غشاء را نابود کند (هاشمی‌دزفولی و همکاران، ۱۳۷۴).

Vasquez *et al* (1990) با مطالعه‌هایی که بر روی گونه‌های مختلف لوبیا انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که مهم‌ترین راهبرد برای افزایش مقاومت گیاهان، پایداری غشاء یاخته بعد از اعمال تنش خشکی است. نتایج بدست آمده از بررسی انجام شده توسط روشن (۱۳۸۱) بر روی گیاه بادام زمینی حاکی از آن بود که کاربرد این ماده سبب کاهش میزان آب آبیاری شده و همچنین بکارگیری این پلیمر موجب افزایش عملکرد بادام‌زمینی به میزان ۲۵٪ نسبت به تیمار شاهد شده است. پس مصرف این ماده می‌تواند نقش مهمی در بهبود صفات کمی و کیفی گیاهان تولیدی داشته باشد. (Specht *et al* (2000) در طی بررسی‌هایی بر روی لوبیا قرمز به این نتیجه دست یافتند که مصرف پلیمر سوپر جاذب، برخی از صفات همچون عملکرد دانه و شاخص برداشت را به طور معنی‌داری افزایش می‌دهد. (Hutterman *et al* (1999) مشاهده کردند که مصرف سوپر جاذب ضمن کاهش تلفات ناشی از کم آبی، قادر به افزایش برخی صفات همچون تعداد دانه و وزن هزار دانه گندم شود. شفیع‌ی (۱۳۸۱) بر اساس تحقیقات صورت گرفته در رابطه با پلیمر سوپر جاذب بیان کرد که با استفاده از این مواد می‌توان علاوه بر رشد بهتر گیاه پانیکوم و کاهش تأثیر منفی نمک خاک بر گیاه تا حدود ۵۰٪ در مصرف آب نیز صرفه جویی کرد.

مواد و روش‌ها

برای بررسی تأثیر سطوح مختلف تنش کم آبی و سوپر جاذب A_{200} ^۱ بر عملکرد و اجزاء عملکرد گیاه دارویی خردل تحقیق در سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶ در محل مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج واقع در شهرستان ماهدشت کرج اجرا شد، این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل پنج سطح تنش کم آبی (آبیاری پس از ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A، قطع آبیاری از مرحله‌ی ساقه‌دهی، قطع آبیاری از مرحله‌ی گلدهی، قطع آبیاری از مرحله‌ی خورجین‌دهی، قطع آبیاری از مرحله‌ی پر شدن دانه) و سه سطح کاربرد سوپر جاذب (مقادیر ۰، ۵ و ۷ درصد وزنی) بودند. هر تکرار شامل ۱۵ کرت آزمایشی و هر کرت آزمایشی شامل سه پشته با فاصله‌ی ۶۰ سانتی‌متر و به طول ۴ متر بود. در روی هر پشته دو خط کاشت با فاصله ۳۰ سانتی‌متر از یکدیگر ایجاد شد که کشت بذرها روی ردیف با فواصل ۱ سانتی‌متری و عمق حداکثر ۲ سانتی‌متر انجام گرفت؛ که البته این مقدار بذر بیش از تراکم مطلوب و برای

۱- تولید شرکت رهاب رزین

اطمینان از سطح سبز بهینه کاشته شد، تا بعد از سبز شدن بذرها، با انجام عملیات تنک کردن، تراکم مطلوب در سطح آزمایش بدست آید. بین تکرارها ۶ متر فاصله برای ایجاد نهرهای آبیاری در نظر گرفته شد. در هر تکرار بین کرت‌ها سه پشته نکاشت برای جلوگیری از نشت آب آبیاری هر کرت به کرت‌های مجاور در نظر گرفته شد. مساحت کل مزرعه آزمایشی حدود ۱۲۵۳ متر مربع (با ابعاد $۵۲/۲ \times ۲۴$) بود. برای آماده‌سازی زمین، قبل از اجرای آزمایش، زمین مورد نظر آبیاری شد و بعد از گاورو شدن، بوسیله‌ی گاواهن برگردان‌دار شخم عمیق زده شد. سپس برای خرد شدن کلوخه‌ها و همچنین یکنواخت شدن وضعیت خاک مزرعه، زمین مذکور دیسک عمود بر هم زده شد و عملیات تسطیح پس از آن انجام شد. سپس مزرعه بوسیله‌ی فاروئر با فواصل ۶۰ سانتی‌متری جوی و پشته سازی شد و جوی‌های آبیاری اصلی در بالا و پایین هر تکرار بوسیله نهرکن ایجاد شد. قبل از انجام کاشت، نمونه‌برداری مرکب خاک از اعماق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متر انجام و نسبت به تعیین بافت خاک و میزان عناصر غذایی موجود در آن اقدام شد. کمبود عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم و گوگرد قبل از انجام عمل دیسک بوسیله‌ی کودپاش سانتریفیوژ به خاک اضافه شد. پس از آماده سازی زمین ابتدا مقادیر مورد نیاز ژل سوپر جاذب تهیه شد سپس بوسیله‌ی فاروئر دستی شیارهای عمیقی در دو طرف پشته ایجاد شد و ژل سوپر جاذب هر خط به طور یکنواخت درون شیار مربوطه قرار گرفت و با مقداری خاک روی ژل پوشانده شده و بذرها روی آن قرار گرفته و دوباره روی آن با خاک پوشانده شد و پس از انجام عملیات کاشت نسبت به آبیاری مزرعه اقدام شده و با فاصله زمانی کوتاهی دومین آبیاری برای بالا بردن درصد جوانه‌زنی انجام گرفت. آبیاری کرت‌ها بر اساس ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A صورت گرفت و پس از مشاهده‌ی هر یک از مراحل اقدام به قطع آبیاری کرت‌های مربوطه شد. پس از برداشت همه‌ی بوته‌های هر کرت آزمایشی، صفاتی شامل: عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، شاخص برداشت و وزن صد دانه اندازه‌گیری شدند. برای تعیین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در مساحت $۳/۶$ مترمربع، بوته‌های هر کرت آزمایشی به طور جدا گانه کف بر شدند و برای خشک شدن نهایی و رسیدن رطوبت به ۱۲٪، به مدت یک هفته در هوای آزاد نگهداری شدند. پس از گذشت یک هفته، قبل از جدا کردن دانه از خورجین، وزن کل بوته‌ها تعیین و بعنوان عملکرد بیولوژیک بر حسب تن در هکتار، ثبت شد. سپس بوسیله‌ی کمباین، اقدام به جداسازی دانه‌ها از خورجین شد. پس از جدا کردن دانه‌ها از خورجین، وزن دانه با ترازوی دقیق و با دقت یک هزارم گرم توزین و عملکرد دانه بر حسب تن در هکتار محاسبه شد. برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان ۱۰ روز پس از شروع پر شدن دانه‌ها، در هنگام صبح و قبل از گرم شدن هوا از برگ هر کرت آزمایشی طبق نقشه‌ی آزمایش، نمونه‌برداری شد. سعی بر آن بود که برگ‌ها کاملاً جوان و گسترده باشند. نمونه برگ در درون کیسه‌های مخصوصی قرار گرفت و در یخدانی قرار داده شد و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شد و

میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز (با استفاده از روش (Paglia (1997) و سوپراکسید دیسموتاز (با استفاده از روش (Misra et al (1972) اندازه‌گیری شد. پایداری غشاء سیتوپلاسمی با استفاده از دستگاه میکرو EC متر^۱ ساخت شرکت اکواسکن^۲ مدل CON5 و محلول مانیتول^۳ با فشار اسمزی ۲- بار از روش ساعی و همکاران (۱۳۸۴) اندازه‌گیری شد.

نتایج

عملکرد دانه

اثر عامل تنش کم آبی بر عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه‌ی میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح ۵٪ نشان داد که بیش‌ترین عملکرد دانه از آبیاری پس از ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک با میانگین ۵/۴۸۹ تن در هکتار بدست آمد که با قطع آبیاری از مرحله‌ی پر شدن دانه به بعد با میانگین ۵/۲۲۱ تن در هکتار در گروه آماری برتر قرار گرفتند. کم‌ترین عملکرد دانه نیز با میانگین ۲/۴۵۲ تن در هکتار از قطع آبیاری از مرحله‌ی ساقه‌دهی به بعد بدست آمد که با قطع آبیاری از مرحله‌ی گلدهی به بعد با میانگین ۲/۹۲۱ تن در هکتار در گروه آماری آخر قرار گرفتند (جدول ۳). اثر ساده‌ی سوپر جاذب بر عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه‌ی میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح ۵٪ نشان داد که بیش‌ترین عملکرد دانه از مقدار ۷٪ سوپر جاذب با میانگین ۴/۳۲۳ تن در هکتار بدست آمد که با مقدار ۵٪ سوپر جاذب با میانگین ۳/۹۹۴ تن در هکتار در یک گروه مشابه قرار گرفتند و کم‌ترین عملکرد دانه نیز با میانگین ۳/۶۳۸ تن در هکتار از عدم مصرف سوپر جاذب بود که با مقدار ۵ درصد سوپر جاذب با میانگین ۳/۹۹۴ تن در هکتار در یک گروه مشابه قرار گرفتند (جدول ۳).

اثر متقابل تنش کم آبی و کاربرد سوپر جاذب بر عملکرد دانه معنی‌دار نبود (جدول ۱). مقایسه‌ی میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح ۵٪ نشان داد که بیش‌ترین عملکرد دانه با میانگین ۵/۸۰۳ تن در هکتار از آبیاری پس از ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک و مصرف مقدار ۷٪ سوپر جاذب بدست آمد و کم‌ترین عملکرد دانه در هکتار نیز از قطع آبیاری از مرحله‌ی ساقه‌دهی به بعد و عدم مصرف سوپر جاذب با میانگین ۲/۳۲۴ تن در هکتار بدست آمد.

1- Micro EC Meter

2- EcoScan

3- Mannitol (C₆H₁₄O₆) M = 128/17 g/mol

تأثیرپذیری سوپر جاذب بر عملکرد دانه با افزایش شدت تنش افزایش یافت بطوریکه در تنش شدید تأثیر سوپر جاذب بر عملکرد دانه قابل توجه بود (جدول ۳).

عملکرد بیولوژیک

اثر عامل تنش کم آبی بر عملکرد بیولوژیک در سطح یک درصد معنی دار بود (جدول ۱). مقایسه‌ی میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح ۵٪ نشان داد که بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک از آبیاری پس از ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک با میانگین ۲۵/۰۸ تن در هکتار بدست آمد که همراه با قطع آبیاری از مرحله‌ی پر شدن دانه به بعد با میانگین ۲۴/۰۲ تن در هکتار در گروه آماری برتر قرار گرفتند. کم‌ترین عملکرد بیولوژیک نیز با میانگین ۱۵/۷۱ تن در هکتار از قطع آبیاری از مرحله‌ی ساقه‌دهی به بعد بدست آمد که با قطع آبیاری از مرحله‌ی گلدهی به بعد با میانگین ۱۶/۷۶ تن در هکتار در گروه آماری آخر قرار گرفتند (جدول ۳). اثر ساده‌ی سوپر جاذب بر عملکرد بیولوژیک در سطح ۵٪ معنی دار بود (جدول ۱). مقایسه‌ی میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح ۵٪ نشان داد که بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک از مقدار ۷٪ سوپر جاذب با میانگین ۲۱/۳۳ تن در هکتار بدست آمد که به همراه مقدار ۵٪ سوپر جاذب با میانگین ۲۰/۵۴ تن در هکتار در گروه آماری مشابهی قرار گرفتند و کم‌ترین عملکرد بیولوژیک نیز با میانگین ۱۹/۵۰ تن در هکتار از عدم مصرف سوپر جاذب بود که به همراه مقدار ۵٪ سوپر جاذب با میانگین ۲۰/۵۴ تن در هکتار در گروه آماری مشابهی قرار گرفتند (جدول ۳).

اثر متقابل تنش کم آبی و کاربرد سوپر جاذب بر عملکرد بیولوژیک معنی دار نبود (جدول ۱). مقایسه‌ی میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح ۵٪ نشان داد که بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک با میانگین ۲۵/۷۸ تن در هکتار از آبیاری پس از ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک و مصرف مقدار ۷٪ سوپر جاذب بدست آمد و کم‌ترین عملکرد بیولوژیک در هکتار نیز از قطع آبیاری از مرحله‌ی ساقه‌دهی به بعد و عدم مصرف سوپر جاذب با میانگین ۱۵/۵۱ تن بدست آمد. تأثیرپذیری سوپر جاذب بر عملکرد بیولوژیک با افزایش شدت تنش افزایش یافت بطوریکه در تنش شدید تأثیر سوپر جاذب بر عملکرد بیولوژیک قابل توجه بود (جدول ۳).

شاخص برداشت

اثر عامل تنش کم آبی بر شاخص برداشت در سطح ۱٪ معنی دار شد (جدول ۱). مقایسه‌ی میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح ۵٪ نشان داد که بیش‌ترین شاخص برداشت با میانگین ۲۱/۸۴٪ از سطح ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک بدست آمد که با قطع آبیاری از مرحله‌ی پر شدن دانه به بعد با میانگین ۲۱/۷۵٪ در گروه آماری برتر قرار

گرفتند. کمترین شاخص برداشت نیز مربوط به قطع آبیاری از مرحله ساقه‌دهی به بعد با میانگین $0.15/57$ بود که در گروه آخر آماری قرار گرفت (جدول ۳). اثر عامل سوپر جاذب بر شاخص برداشت در سطح 0.5 معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه‌ی میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح 0.5 نشان داد که بیش‌ترین شاخص برداشت با میانگین $0.19/76$ از مصرف مقدار 0.7 سوپر جاذب بدست آمد که با مقدار 0.5 سوپر جاذب با میانگین $0.18/95$ در یک گروه آماری مشابه قرار گرفتند. کمترین شاخص برداشت با میانگین $0.18/24$ از عدم مصرف سوپر جاذب بدست آمد که با مقدار 0.5 سوپر جاذب در یک گروه آماری مشابه قرار گرفتند (جدول ۳).

اثر متقابل تنش کم آبی و کاربرد سوپر جاذب بر شاخص برداشت نیز معنی‌دار نشد (جدول ۱). مقایسه‌ی میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح 0.5 نشان داد که بیش‌ترین شاخص برداشت با میانگین $0.22/45$ از سطح 80 میلی‌متر تبخیر از تشتک و مصرف مقدار 0.7 سوپر جاذب بدست آمد و کمترین شاخص برداشت نیز با میانگین $0.14/99$ از قطع آبیاری از مرحله ساقه‌دهی به بعد و عدم مصرف سوپر جاذب حاصل شد (جدول ۳).

وزن صد دانه

اثر عامل تنش کم آبی بر وزن صد دانه در سطح 0.1 معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه‌ی میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح 0.5 نشان داد که بیش‌ترین وزن صد دانه با میانگین 0.791 گرم از آبیاری پس از 80 میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک بدست آمد که با قطع آبیاری از مرحله ساقه‌دهی پس از 80 میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک بدست آمد که با قطع آبیاری از مرحله ساقه‌دهی به بعد با میانگین 0.788 گرم در گروه آماری اول جای گرفتند و کمترین مقدار وزن صد دانه با میانگین 0.603 گرم از قطع آبیاری از مرحله ساقه‌دهی به بعد حاصل شد که با قطع آبیاری از مرحله ساقه‌دهی به بعد با میانگین 0.635 گرم در گروه آماری آخر قرار گرفتند (جدول ۳). اثر ساده‌ی سوپر جاذب بر وزن صد دانه در سطح 0.5 معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه‌ی میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح 0.5 نشان داد که بیش‌ترین وزن صد دانه با میانگین 0.723 گرم از مصرف مقدار 7 درصد سوپر جاذب بدست آمد که با مقدار 0.5 سوپر جاذب به میزان 0.7 در یک گروه آماری مشابه قرار گرفتند. کمترین وزن صد دانه با میانگین 0.679 گرم از عدم کاربرد سوپر جاذب بدست آمد که با مقدار 0.5 سوپر جاذب در گروه آماری آخر قرار گرفتند (جدول ۳).

اثر متقابل تنش کم آبی و کاربرد سوپر جاذب بر وزن صد دانه معنی‌دار نبود (جدول ۱). مقایسه‌ی میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح 0.5 نشان داد که بیش‌ترین وزن صد دانه با میانگین 0.801 گرم از 80 میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک و مصرف مقدار 0.7 سوپر جاذب بدست آمد و کمترین میزان وزن صد دانه با میانگین 0.582 گرم از قطع آبیاری از مرحله ساقه‌دهی به بعد و عدم مصرف سوپر جاذب بدست آمد. با افزایش شدت تنش نقش سوپر

جاذب در وزن صد دانه افزایش یافت بطوریکه در شرایط آبیاری مطلوب بیشترین وزن صد دانه از کاربرد مقدار ۷٪ سوپر جاذب بدست آمد که با مقدار ۵٪ سوپر جاذب در گروه آماری مشابهی قرار گرفتند (جدول ۳).

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان

آنزیم کاتالاز (Cat): اثر عامل تنش کم آبی بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه‌ی میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح ۵٪ نشان داد که بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز با میانگین فعالیت ۱۸۲ واحد فعالیت بین‌المللی بر میلی‌گرم پروتیین از قطع آبیاری از مرحله‌ی ساقه‌دهی به بعد بدست آمد که به تنهایی در گروه آماری برتر جای گرفت و کمترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز با میانگین فعالیت ۱۰۱ واحد فعالیت بین‌المللی بر میلی‌گرم پروتیین^۱ از سطح ۸۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک حاصل شد که با قطع آبیاری از مرحله‌ی پر شدن دانه به بعد با میانگین فعالیت ۱۰۷/۲ واحد فعالیت بین‌المللی بر میلی‌گرم پروتیین و قطع آبیاری از مرحله‌ی خورجین‌دهی به بعد با میانگین فعالیت ۱۱۲/۵ واحد فعالیت بین‌المللی بر میلی‌گرم پروتیین در گروه آماری آخر جای گرفتند (جدول ۴). اثر ساده‌ی سوپر جاذب بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه‌ی میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح ۵٪ نشان داد که بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز با میانگین فعالیت ۱۳۷/۸ واحد فعالیت بین‌المللی بر میلی‌گرم پروتیین از عدم مصرف سوپر جاذب بدست آمد که به تنهایی در گروه آماری برتر جای گرفت و کمترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز با میانگین فعالیت ۱۱۸/۷ واحد فعالیت بین‌المللی بر میلی‌گرم پروتیین از مصرف مقدار ۷٪ سوپر جاذب بدست آمد که با مصرف مقدار ۵٪ سوپر جاذب با میانگین فعالیت ۱۲۳/۵ واحد فعالیت بین‌المللی بر میلی‌گرم پروتیین در گروه آماری آخر جای گرفتند (جدول ۴).

اثر متقابل تنش کم آبی و کاربرد سوپر جاذب بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز معنی‌دار نشد (جدول ۲). مقایسه‌ی میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح ۵٪ نشان داد که بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز با میانگین فعالیت ۲۰۶/۱ واحد فعالیت بین‌المللی بر میلی‌گرم پروتیین از قطع آبیاری از مرحله‌ی ساقه‌دهی به بعد و عدم مصرف سوپر جاذب بدست آمد و کمترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز با میانگین فعالیت ۹۳/۹۰ واحد فعالیت بین‌المللی بر میلی‌گرم پروتیین از سطح ۸۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک و مصرف مقدار ۷٪ سوپر جاذب بدست آمد

1- u/mg.Protein

(جدول ۴). در شرایط آبیاری مطلوب افزایش مصرف سوپر جاذب تأثیر قابل توجهی نسبت به عدم مصرف نداشت اما در تنش متوسط و شدید افزایش مصرف سوپر جاذب سبب کاهش میزان فعالیت آنزیم کاتالاز شد.

آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (Sod): اثر عامل تنش کم آبی بر میزان فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه‌ی میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح ۵٪ نشان داد که بیش‌ترین میزان فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز با میانگین فعالیت ۴۰۸۱ واحد فعالیت بین‌المللی بر میلی‌گرم پروتیین از قطع آبیاری از مرحله‌ی ساقه‌دهی به بعد بدست آمد که به تنهایی در گروه آماری برتر قرار گرفت و کم‌ترین میزان فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز با میانگین فعالیت ۱۷۷۶ واحد فعالیت بین‌المللی بر میلی‌گرم پروتیین از سطح ۸۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک حاصل شد که با قطع آبیاری از مرحله‌ی پر شدن دانه به بعد با میانگین فعالیت ۱۹۸۷ واحد فعالیت بین‌المللی بر میلی‌گرم پروتیین در گروه آماری مشابهی جای گرفتند (جدول ۴). اثر ساده‌ی سوپر جاذب بر میزان فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه‌ی میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح ۵٪ نشان داد که بیش‌ترین میزان فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز با میانگین فعالیت ۲۹۱۰ واحد فعالیت بین‌المللی بر میلی‌گرم پروتیین از عدم مصرف سوپر جاذب بدست آمد که به تنهایی در گروه آماری برتر قرار گرفت و کم‌ترین میزان فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز با میانگین فعالیت ۲۳۰۸ واحد فعالیت بین‌المللی بر میلی‌گرم پروتیین از مصرف مقدار ۷٪ سوپر جاذب بدست آمد که با کاربرد مقدار ۵٪ سوپر جاذب با میانگین فعالیت ۲۴۸۸ واحد فعالیت بین‌المللی بر میلی‌گرم پروتیین در آماری آخر جای گرفتند (جدول ۴).

اثر متقابل تنش کم آبی و کاربرد سوپر جاذب بر میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز معنی‌دار نشد (جدول ۲). مقایسه‌ی میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح ۵٪ نشان داد که بیش‌ترین میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز با میانگین فعالیت ۵۲۳۱ واحد فعالیت بین‌المللی بر میلی‌گرم پروتیین از قطع آبیاری از مرحله‌ی ساقه‌دهی به بعد و عدم مصرف سوپر جاذب بدست آمد و کم‌ترین میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز با میانگین فعالیت ۱۷۰۶ واحد فعالیت بین‌المللی بر میلی‌گرم پروتیین از سطح ۸۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک و مصرف مقدار ۷٪ سوپر جاذب بدست آمد (جدول ۴). در شرایط آبیاری مطلوب افزایش مصرف سوپر جاذب تأثیر قابل توجهی نسبت به عدم مصرف نداشت اما در تنش متوسط و شدید افزایش مصرف سوپر جاذب سبب کاهش میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز شد.

پایداری غشاء سیتوپلاسمی^۱

برای محاسبه‌ی میزان پایداری غشاء سیتوپلاسمی، میزان هدایت الکتریکی (EC)^۲ محاسبه شد و همان‌طور که می‌دانید این دو با هم نسبت عکس دارند. اثر عامل تنش کم آبی بر میزان هدایت الکتریکی در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه‌ی میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح ۵٪ نشان داد که بیش‌ترین میزان هدایت الکتریکی (کم‌ترین پایداری غشاء سیتوپلاسمی) با میانگین ۲۴۹۸ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر^۳ از قطع آبیاری از مرحله‌ی ساقه‌دهی به بعد بدست آمد و کم‌ترین میزان هدایت الکتریکی (بیش‌ترین پایداری غشاء سیتوپلاسمی) با میانگین ۱۱۷۶ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر از سطح ۸۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک حاصل شد (جدول ۴). اثر ساده‌ی سوپر جاذب بر میزان هدایت الکتریکی در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه‌ی میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح ۵٪ نشان داد که بیش‌ترین میزان هدایت الکتریکی (کم‌ترین پایداری غشاء سیتوپلاسمی) با میانگین ۲۰۳۳ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر از عدم مصرف سوپر جاذب بدست آمد و کم‌ترین میزان هدایت الکتریکی (بیش‌ترین پایداری غشاء سیتوپلاسمی) با میانگین ۱۶۱۷ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر از مصرف مقدار ۷٪ سوپر جاذب بدست آمد که همراه مقدار ۵٪ با میانگین ۱۷۹۳ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر در گروه آماری آخر قرار گرفتند (جدول ۴).

اثر متقابل تنش کم آبی و کاربرد سوپر جاذب بر میزان هدایت الکتریکی معنی‌دار نشد (جدول ۲). مقایسه‌ی میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح ۵٪ نشان داد که بیش‌ترین میزان هدایت الکتریکی (کم‌ترین پایداری غشاء سیتوپلاسمی) با میانگین ۲۶۸۳ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر از قطع آبیاری از مرحله‌ی ساقه‌دهی به بعد و عدم مصرف سوپر جاذب بدست آمد و کم‌ترین میزان هدایت الکتریکی (بیش‌ترین پایداری غشاء سیتوپلاسمی) با میانگین ۱۰۱۱ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر از سطح ۸۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک و مصرف مقدار ۷٪ سوپر جاذب بدست آمد. در شرایط آبیاری مطلوب افزایش مصرف سوپر جاذب تأثیر قابل توجهی نسبت به عدم مصرف نداشت اما در تنش متوسط و شدید افزایش مصرف سوپر جاذب سبب کاهش میزان هدایت الکتریکی و در نتیجه افزایش پایداری غشاء سیتوپلاسمی شد (جدول ۴).

1- Cytoplasmic membrane stability
2- Electrical conductivity
3- $\mu\text{s/cm}$

بحث و نتیجه گیری

عملکرد دانه

با توجه به نتایج بدست آمده می توان گفت، تأثیر تنش کم آبی سبب کاهش سطح برگ، پیری زودرس برگها، کاهش تعداد برگها و از همه مهمتر کاهش میزان فتوسنتز در طول مرحله ی تنش شده است. علاوه بر این تنش آبی موجب بسته شدن روزنه ها شده در نتیجه میزان فتوسنتز کاهش یافته و در نهایت تولید ماده ی خشک کمتر شد و میزان عملکرد کاهش یافت. نتایج بدست آمده با نتایج حاصل از تحقیقات پور اسماعیل و همکاران (۱۳۸۵)، رحمانی (۱۳۸۶)، شریفی (۱۳۸۰)، Gupta et al (2001)، Saleem (2003) و Jensen et al (1996) برابری دارد. روند تغییرات عملکرد دانه از تعداد خورجین در گیاه پیروی کرد؛ بطوریکه در مقادیر بالاتر مصرف سوپر جاذب بیشترین عملکرد دانه بدست آمد.

بنابر نتایج بالا می توان گفت، کاربرد سوپر جاذب سبب افزایش طول دوره ی پر شدن دانه ها شده است که این، منجر به افزایش انتقال مواد آسیمیلاسیون در اندامهای رویشی می شود. همچنین در زمان شروع نمو زایشی، تشکیل دانه ها و دوره ی پر شدن دانه ها با انتقال مواد آسیمیلاسیون از اندامهای رویشی به اندامهای زایشی، افزایش عملکرد بذر را موجب خواهد شد. نتایج بدست آمده با نتایج حاصل از آزمایش های Specht et al (2000)، پور اسماعیل و همکاران (۱۳۸۵) و روشن (۱۳۸۶) برابری دارد.

عملکرد بیولوژیک

با توجه به نتایج بدست آمده می توان گفت، تأثیر تنش کم آبی سبب کاهش سطح برگ، پیری زودرس برگها، کاهش تعداد برگها و از همه مهمتر کاهش میزان فتوسنتز در طول مرحله ی تنش شده است. علاوه بر این تنش آبی موجب بسته شدن روزنه ها شده، در نتیجه میزان فتوسنتز کاهش یافته و در نهایت تولید ماده ی خشک کمتر شد و میزان عملکرد بیولوژیک کاهش یافت.

نتایج بدست آمده با نتایج حاصل از تحقیقات پور اسماعیل و همکاران (۱۳۸۵)، رحمانی (۱۳۸۶)، شریفی (۱۳۸۰)، Gupta et al (2001)، Saleem (2003) و Jensen et al (1996) برابری دارد. نتایج نشان می دهد، کاربرد سوپر جاذب سبب افزایش طول دوره ی رشد گیاه شد که منجر به افزایش انتقال مواد آسیمیلاسیون در اندامهای رویشی می شود. نتایج بدست آمده با نتایج حاصل از آزمایش های Specht et al (2000)، پور اسماعیل و همکاران (۱۳۸۵) و روشن (۱۳۸۶) برابری دارد.

شاخص برداشت

با توجه به اینکه شاخص برداشت تابعی از تقسیم عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک می‌باشد و به دلیل اینکه تعداد اندکی از گل‌ها در اثر تنش کم آبی به دانه تبدیل شده‌اند، بنابراین شاخص برداشت در اثر تنش کم آبی کاهش یافت. نتایج بدست آمده با نتایج حاصل از تحقیقات پور اسماعیل و همکاران (۱۳۸۵)، رحمانی (۱۳۸۶)، شریفی (۱۳۸۰) و Gupta *et al* (2001) برابری دارد. با توجه به نتایج می‌توان گفت، مصرف سوپر جاذب منجر به افزایش طول دوره‌ی رشد گیاه در شرایط تنش شد که این مسئله خود سبب افزایش انتقال آسمیلات‌ها به سمت دانه‌ها می‌شود. نتایج بدست آمده با نتایج حاصل از آزمایش‌های Specht *et al* (2000) و پور اسماعیل و همکاران (۱۳۸۵) برابری دارد.

وزن صد دانه

با توجه به نتایج حاصل می‌توان گفت، تنش کم آبی سبب کاهش وزن صد دانه شد، بطوریکه با افزایش شدت تنش از وزن دانه بیش‌تر کاسته شد. نتایج بدست آمده با نتایج حاصل از تحقیقات پور اسماعیل و همکاران (۱۳۸۵)، رحمانی (۱۳۸۶) و شریفی (۱۳۸۰) برابری دارد. بنابر نتایج بدست آمده می‌توان گفت، افزایش مصرف سوپر جاذب سبب توسعه‌ی بیش‌تر اندام‌های رویشی شد. به این لحاظ در مصرف مقادیر بالاتر سوپر جاذب بیش‌ترین وزن خشک نیز حاصل شد. بنابراین گیاه با تولید مواد آسمیلاتی بیش‌تر مواجه شد و توانست مواد بیش‌تری را به دانه‌ها بفرستد و در نتیجه وزن صد دانه افزایش یافت. نتایج بدست آمده با نتایج حاصل از آزمایش‌های Hutterman *et al* (1999) و Specht *et al* (2000) و پور اسماعیل و همکاران (۱۳۸۵) برابری دارد.

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان

آنزیم کاتالاز (Cat): بر اساس نتایج حاصل می‌توان گفت، افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در شرایط تنش به دلیل حیاتی بودن این آنزیم‌ها برای زنده ماندن سلول و ادامه یافتن فعالیت ارگانیزم‌های حیاتی می‌باشد. نتایج بدست آمده با نتایج حاصل از آزمایش‌های پور اسماعیل و همکاران (۱۳۸۵)، ساعی و همکاران (۱۳۸۴)، عطایی (۱۳۷۹)، عمان و همکاران (۱۳۸۴) برابری دارد. با توجه به نتایج بالا می‌توان گفت، مصرف سوپر جاذب سبب کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز شد که این به دلیل توانایی این ماده در کاهش خسارت تنش کم آبی است. نتایج بدست آمده با نتایج حاصل از آزمایش‌های پور اسماعیل و همکاران (۱۳۸۵) برابری دارد.

آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (Sod): با توجه به نتایج بالا می‌توان گفت، افزایش تنش سبب افزایش رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌شود. در نتیجه افزایش این متالوآنزیم، رادیکال‌های سمی را که دائماً بعنوان محصولات هوازی شکل می‌گیرند، جمع‌آوری می‌کند. نتایج بدست آمده با نتایج حاصل از آزمایش‌های پور اسماعیل و همکاران (۱۳۸۵)، Jin et al (2006)، عطایی (۱۳۷۹)، عمان و همکاران (۱۳۸۴) برابری دارد. بر اساس نتایج حاصل می‌توان گفت، مصرف سوپر جاذب در شرایط تنش کم آبی سبب کاهش تولید رادیکال‌های آزاد می‌شود، بنابراین با مصرف سوپر جاذب در شرایط تنش می‌توان از مقدار فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و در نتیجه از شدت تنش کاست. نتایج بدست آمده با نتایج حاصل از آزمایش‌های پور اسماعیل و همکاران (۱۳۸۵) برابری دارد.

پایداری غشاء سیتوپلاسمی

برای اندازه‌گیری میزان پایداری غشاء سیتوپلاسمی، میزان هدایت الکتریکی (EC)^۱ محاسبه شد و همان‌طور که می‌دانید این دو با هم نسبت عکس دارند. با توجه به نتایج می‌توان گفت، تنش کم آبی با تأثیری که بر روی غشاء سیتوپلاسمی می‌گذارد، سبب ایجاد آسیب بر روی غشاء سیتوپلاسمی می‌شود که این مسئله سبب نشت محتویات سلولی به فضای بین سلولی و در نهایت سبب مرگ سلول می‌شود. نتایج بدست آمده با نتایج حاصل از آزمایش‌های پور اسماعیل و همکاران (۱۳۸۵) برابری دارد. با توجه به نتایج بالا می‌توان گفت، مصرف سوپر جاذب در شرایط تنش کم آبی موجب کاهش خسارت ناشی تنش کم آبی بر غشاء سیتوپلاسمی می‌شود. نتایج بدست آمده با نتایج حاصل از آزمایش‌های پور اسماعیل و همکاران (۱۳۸۵) برابری دارد.

سپاسگزاری

از مسئولین محترم مزرعه تحقیقاتی و پرسنل آزمایشگاه دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان و کرج که ما را در انجام این پژوهش یاری داده‌اند کمال تشکر و قدردانی را داریم.

1- Electrical conductivity

جدول ۱- تجزیه واریانس ساده عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و وزن صد دانه

میانگین مربعات				درجه آزادی	منبع تغییرات
وزن صد دانه	شاخص برداشت	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه		
۰/۰۰۳ ^{ns}	۰/۳۲۸ ^{ns}	۰/۵۸۰ ^{ns}	۰/۰۳۰ ^{ns}	۲	بلوک
۰/۰۶۷ ^{**}	۶۸/۷۶۹ ^{**}	۱۵۸/۲۶۱ ^{**}	۱۶/۴۰۵ ^{**}	۴	تنش کم آبی
۰/۰۰۷ [*]	۸/۶۶۰ [*]	۱۲/۶۲۶ [*]	۱/۷۶۲ ^{**}	۲	سوپر جاذب
۰/۰۰۰ ^{ns}	۰/۱۵۶ ^{ns}	۰/۷۶۵ ^{ns}	۰/۰۵۱ ^{ns}	۸	تنش کم آبی × سوپر جاذب
۰/۰۰۲	۲/۳۳۰	۳/۰۰۶	۰/۲۸۰	۲۸	اشتباه
۶/۵۷	۸/۰۴	۸/۴۸	۱۳/۲۸	—	ضریب تغییرات (%)

ns ، * و ** به ترتیب بیان گر عدم اختلاف معنی دار، معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد می باشد.

جدول ۲- تجزیه واریانس ساده آنزیم کاتالاز و آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز و پایداری غشاء سیتوپلاسمی

میانگین مربعات			درجه آزادی	منبع تغییرات
پایداری غشاء سیتوپلاسمی	آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز	آنزیم کاتالاز		
۱۲۳۴۵۵/۱۰۲ ^{ns}	۱۲۰۷۳۸۰/۴۶۷ ^{ns}	۴۸۸/۲۸۲ ^{ns}	۲	بلوک
۲۴۹۰۹۸۱/۳۰۴ ^{**}	۷۵۰۶۸۲۴/۹۱۱ ^{**}	۹۷۲۰/۸۹۶ ^{**}	۴	تنش کم آبی
۶۵۵۱۳۰/۸۴۵ ^{**}	۱۴۳۲۷۰۴/۸ ^{**}	۱۴۸۶/۱۰۴ ^{**}	۲	سوپر جاذب
۷۴۲۵/۴۰۵ ^{ns}	۵۰۷۶۴۲/۰۷۸ ^{ns}	۱۸۴/۹۷۹ ^{ns}	۸	تنش کم آبی × سوپر جاذب
۶۶۹۹۰/۳۶۱	۲۲۵۴۲۶/۵۸۶	۲۴۲/۲۵۶	۲۸	اشتباه
۱۴/۲۷	۱۸/۴۸	۱۲/۲۹	—	ضریب تغییرات (%)

ns ، * و ** به ترتیب بیان گر عدم اختلاف معنی دار، معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد می باشد.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات ساده و متقابل کم آبی و سوپر جاذب بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و وزن صد دانه

تنش کم آبی	سوپر جاذب	عملکرد دانه (تن در هکتار)	عملکرد بیولوژیک (تن در هکتار)	شاخص برداشت (درصد)	وزن صد دانه (گرم)
I ₁	S ₁	۵/۴۸۹ a	۲۵/۰۹ a	۲۱/۸۴ a	۰/۹۷۱۴ a
		۲/۴۵۲ c	۱۵/۷۱ c	۱۵/۵۷ c	۰/۶۰۳۳ c
		۲/۹۲۱ c	۱۶/۷۶ c	۱۷/۳۰ b	۰/۶۳۵۷ c
		۳/۸۴۲ b	۲۰/۷۱ b	۱۸/۴۵ b	۰/۶۸۶۲ b
		۵/۲۲۱ a	۲۴/۰۲ a	۲۱/۷۵ a	۰/۷۸۸۳ a
شاهد	S ₁	۳/۶۳۸ b	۱۹/۵۰ b	۱۸/۲۴ b	۰/۶۷۹۵ b
	S ₂	۳/۹۹۴ ab	۲۰/۵۴ ab	۱۸/۹۵ ab	۰/۷۰۰۴ ab
	S ₃	۴/۳۲۳ a	۲۱/۳۳ a	۱۹/۷۶ a	۰/۷۲۳۱ a
I ₁	S ₁	۵/۱۱۶ abc	۲۴/۰۶ ab	۲۱/۳۲ ab	۰/۷۸۰۷ ab
	S ₂	۵/۵۴۷ ab	۲۵/۴۱ a	۲۱/۷۶ ab	۰/۷۹۲۳ ab
	S ₃	۵/۸۰۳ a	۲۵/۷۸ a	۲۲/۴۵ a	۰/۸۰۱۳ a
I ₂	S ₁	۲/۳۲۴ h	۱۵/۵۱ e	۱۴/۹۹ f	۰/۵۸۲۳ f
	S ₂	۲/۴۳۱ gh	۱۵/۷۹ e	۱۵/۳۷ ef	۰/۶۰۳۳ f
	S ₃	۲/۶۰۱ gh	۱۵/۸۲ e	۱۶/۳۵ def	۰/۶۲۴۳ ef
I ₃	S ₁	۲/۵۹۱ gh	۱۵/۸۶ e	۱۶/۳۰ def	۰/۶۱۵۳ ef
	S ₂	۲/۹۱۴ fgh	۱۶/۶۹ de	۱۷/۴۲ c-f	۰/۶۳۲۳ def
	S ₃	۳/۲۵۷ fgh	۱۷/۷۴ de	۱۸/۱۹ cde	۰/۶۵۹۳ def
I ₄	S ₁	۳/۳۸۸ efg	۱۹/۲۹ cd	۱۷/۵۱ c-f	۰/۶۵۶۷ def
	S ₂	۳/۸۶۴ def	۲۰/۹۶ bc	۱۸/۳۶ cd	۰/۶۸۹۳ cde
	S ₃	۴/۲۷۳ cde	۲۱/۸۷ bc	۱۹/۴۹ bc	۰/۷۱۲۷ bcd
I ₅	S ₁	۴/۷۶۸ bcd	۲۲/۷۷ ab	۲۱/۱۰ ab	۰/۷۶۲۳ abc
	S ₂	۵/۲۱۵ abc	۲۳/۸۷ ab	۲۱/۸۳ ab	۰/۷۸۴۷ ab
	S ₃	۵/۶۷۹ ab	۲۵/۴۳ a	۲۲/۳۱ ab	۰/۸۱۸۰ a

اعدادی که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک هستند فاقد تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد می‌باشند.

آبیاری معمول (شاهد)، آبیاری پس از ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A (I₁)

قطع آبیاری از مرحله ساقه‌دهی به بعد (I₂)

قطع آبیاری از مرحله گلدهی به بعد (I₃)

قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی به بعد (I₄)

قطع آبیاری از مرحله پر شدن دانه به بعد (I₅)

عدم کاربرد سوپر جاذب (شاهد) (S₁)

کاربرد مقدار ۵٪ سوپر جاذب (S₂)

کاربرد مقدار ۷٪ سوپر جاذب (S₃)

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات ساده و متقابل کم آبی و سوپر جاذب
بر آنزیم کاتالاز، آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز و پایداری غشاء سیتوپلاسمی

پایداری غشاء یتوپلاسمی (میکرو زیمنس بر سانتی متر)	آنزیم سوپر اکسید یسموتاز (واحد فعالیت بین المللی بر میلی گرم پروتیین)	آنزیم کاتالاز (واحد فعالیت بین المللی بر میلی گرم پروتیین)	سوپر جاذب	تنش کم آبی
۱۱۷۶ e	۱۷۷۶ d	۱۰۱/۰ c		I ₁
۲۴۹۸ a	۴۰۸۱ a	۱۸۲/۰ a		I ₂
۲۱۵۶ b	۲۶۸۹ b	۱۳۰/۶ b		I ₃
۱۷۶۴ c	۲۳۱۱ bc	۱۱۲/۵ c		I ₄
۱۴۷۸ d	۱۹۸۷ cd	۱۰۷/۲ c		I ₅
۲۰۳۳ a	۲۹۱۰ a	۱۳۷/۸ a	S ₁	شاهد
۱۷۹۳ b	۲۴۸۸ b	۱۲۳/۵ b	S ₂	
۱۶۱۷ b	۲۳۰۸ b	۱۱۸/۷ b	S ₃	
۱۳۶۱ ghi	۱۸۲۴ e	۱۰۷/۵ d	S ₁	I ₁
۱۱۵۶ hi	۱۷۹۸ e	۱۰۱/۶ d	S ₂	
۱۰۱۱ i	۱۷۰۶ e	۹۳/۹۰ d	S ₃	
۲۶۸۳ a	۵۲۳۱ a	۲۰۶/۱ a	S ₁	I ₂
۲۴۶۳ ab	۳۷۷۲ b	۱۷۳/۶ b	S ₂	
۲۳۴۸ abc	۳۲۴۲ bc	۱۶۶/۴ b	S ₃	
۲۴۵۵ ab	۲۹۸۲ bcd	۱۴۷/۲ bc	S ₁	I ₃
۲۱۳۴ bcd	۲۶۰۹ cde	۱۲۳/۱ cd	S ₂	
۱۸۷۸ def	۲۴۷۷ cde	۱۲۱/۵ cd	S ₃	
۱۹۶۸ cde	۲۴۳۱ cde	۱۱۸/۶ d	S ₁	I ₄
۱۷۴۱ d-g	۲۳۰۵ de	۱۱۰/۷ d	S ₂	
۱۵۸۴ e-h	۲۱۹۶ de	۱۰۸/۱ d	S ₃	
۱۶۹۹ d-g	۲۰۸۴ de	۱۰۹/۷ d	S ₁	I ₅
۱۴۷۳ f-i	۱۹۵۵ e	۱۰۸/۲ d	S ₂	
۱۲۶۲ ghi	۱۹۲۰ e	۱۰۳/۷ d	S ₃	

اعدادی که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک هستند بدون تفاوت معنی دار بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد می باشند.

آبیاری معمول (شاهد)، آبیاری پس از ۸۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A (I₁)

قطع آبیاری از مرحله ساقه دهی به بعد (I₊)

عدم کاربرد سوپر جاذب (شاهد) (S₁)

قطع آبیاری از مرحله گلدهی به بعد (I₊)

کاربرد مقدار ۵٪ سوپر جاذب (S₊)

قطع آبیاری از مرحله خورجین دهی به بعد (I₊)

کاربرد مقدار ۷٪ سوپر جاذب (S₊)

قطع آبیاری از مرحله پر شدن دانه به بعد (I₊)

منابع

- امید بیگی، ر. ۱۳۷۹. تولید و فرآوری گیاهان دارویی، انتشارات استان قدس رضوی، جلد دوم
- پور اسماعیل، پ.، د. حبیبی، و م. مشهدی اکبربوجار. ۱۳۸۵. بررسی استفاده از پلیمر سوپر جاذب آب در افزایش عملکرد و فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت در ارقام مختلف لوبیا قرمز تحت تنش خشکی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج
- حبیبی، د. ۱۳۷۲. انتخاب پروژنی‌های مقاومت به خشکی و شوری چغندر قند در مرحله جوانه‌زنی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج
- حسینی، ع.، و ر. امیدبیگی. ۱۳۸۲. اثرات تنش آبی و شوری کلرورسدیم بر برخی از خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی ریحان رقم کشکنی لولو، پایان‌نامه دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
- رحمانی، ن. ۱۳۸۶. تأثیر زمان آبیاری و کاربرد نیترژن بر صفات کمی و کیفی گیاه دارویی همیشه بهار، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان
- روشن، ب. ۱۳۸۱. بررسی مصرف پلیمر سوپر جاذب بر افزایش کمی و کیفی محصولات کشاورزی، دومین دوره تخصصی - آموزشی کاربرد کشاورزی و صنعتی هیدروژل‌های سوپر جاذب پژوهشگاه پلیمر ایران
- ساعی، م.، د. حبیبی، م. مشهدی اکبربوجار، ع. محمودی، و م. اردکانی. ۱۳۸۴. تعیین سطح فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت بعنوان یک پارامتر در تعیین گونه‌های مقاوم سورگوم علوفه‌ای به تنش خشکی، چکیده مقالات اولین همایش بین‌المللی علوم زیستی ایران
- شریفی، ح. ر. ۱۳۸۰. الگوی رشد و ضرایب تخصیص ماده خشک در ارقام گندم دیم، پایان‌نامه دکترای زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
- شفیعی، ش. ۱۳۸۱. تأثیر پلیمر سوپر جاذب بر افزایش رطوبت خاک، بازدهی کود، رشد و استقرار گیاه پانیکوم، دومین دوره تخصصی کاربرد کشاورزی و صنعتی هیدروژل‌های سوپر جاذب پژوهشگاه پلیمر ایران
- شیرانی‌راد، ا. ح.، و ع. دهشیری. ۱۳۷۷. راهنمای کلاه، کاشت، داشت، برداشت، نشر آموزش کشاورزی

عطائی‌شیخ، ا. ۱۳۸۳. بررسی تنش خشکی بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و سطح فعالیت‌های آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در ارقام مختلف نخود، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

عظیم‌زاده، م. ۱۳۷۱. تعیین الگوی رشد در سه رقم گندم و دو رقم جو، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته زراعت، دانشگاه مشهد

عمان، ع.، د. حبیبی، م. مشهدی‌اکبربوچار، و ن. خدابنده. ۱۳۸۴. آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت بعنوان شاخصی برای انتخاب ژنوتیپ‌های مختلف آفتابگردان برای تحمل به خشکی، فصلنامه تخصصی زراعت و اصلاح نباتات ایران

کریمی، ا. ۱۳۷۲. بررسی تأثیر ماده اصلاحی ایگتا روی برخی خصوصیات فیزیکی خاک و رشد گیاه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، گروه خاک‌شناسی، دانشگاه تهران

کوچکی، ع.، و م. نصیری‌محلّاتی. ۱۳۷۳. اکولوژی گیاهان زراعی، جلد اول، روابط گیاه و محیط، جهاد دانشگاهی مشهد

کهن‌مو، م. ا. ۱۳۷۴. بررسی اثر فواصل آبیاری و شیوه توزیع کود ازت بر روند رشد و عملکرد سورگوم علوفه‌ای در کرج، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته زراعت، دانشگاه تربیت مدرس

الهدادی، ا. ۱۳۸۱. بررسی تأثیر کاربرد هیدروژل‌های سوپرجاذب بر کاهش تنش خشکی در گیاهان، دومین دوره تخصصی، آموزشی کاربرد کشاورزی و صنعتی هیدروژل‌های سوپرجاذب، پژوهشگاه پلیمر پتروشیمی ایران

هاشمی‌دزفولی، ا.، ع. کوچکی و م. بنایان، اول. ۱۳۷۴. افزایش عملکرد گیاهان زراعی (ترجمه) جهاد دانشگاهی مشهد

هاشمی‌دزفولی، ا. ۱۳۷۳. مفهوم کارآیی مصرف آب، پژوهش و سازندگی، شماره ۲۵ صفحه ۳۷-۳۴

Bajji, M., S. Lutts, and J. M. Kinet. 2001. Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars performing differently in and conditions. *Plant Sci.*, 160:669-681

Cox, W. J., and G. D. Jolliff. 1987. Water relation of sunflower and soybean under irrigated and dryland conditions. *Crop Sci.*, 27:553-557

Gupta, N. K., S. Gupta and A. Kumar. 2001. Effect of water stress on physiological attribute and their relationship with growth and yield of wheat cultivars and different stages. *Agron. J. and Crop sci.* 116:55-62

- Huttermann, A., K. Reise, M. Zomorodi and S. Wang.** 1999. The use of hydrogels for a forestation in semiarid regions pp. 147-177. Datong. Jinshatan. China
- Jensen, C.R., V.O. Mogensen, G. Mortensen, and J.K. Fieldsend.** 1996. Seed glucosinolate, oil and protein contents of field-grown rape (*Brassica napus* L.) affected by soil drying and evaporative demand. *Field Crops Res.*, 47: 93-105
- Jin, J., Sh. Ningwei, B. Jinhe, and G. Junping.** 2006. Regulation of ascorbate peroxidase at the transcript level is involved in tolerance to post harvest water deficit stress in the cut Rose (*Rosa hybrida* L.) CV. Samantha
- Levitt, R.H.M.** 1980. Responses of plants to Environmental stresses. Vol 2, Water, radiation salt and other stresses. Academic press, New York
- Misra, H.P., and I. Fridovich.** 1972. The Generation of super oxide radical during oxidation. *J.B. Chem*
- Paglia, D.** 1997. Studies on the quantitative trait loci. *J. Lab. Med.* 70: 158-165
- Prasad, A., M. Anwar, D.D. Patra, and D.V. Singh.** 1996. Tolerance of mint plants to soil salinity. *J. Indian Soc. Soil Sci.*, 44(1): 1846
- Saleem, M.** 2003. Response of durum and bread wheat Genotypes to drought stress: Biomass and yield components, *Asian Journal of plant Sci.* 2(3): 210-213
- Specht, S., and J. Harvy.** 2000. Use of hydro gels to reduce leaf loss and hasten root establishment *Forest Research*
- Vasquez-Tello, A.** 1990. Electrolyte and Leakages and Soluble sugar content as physiological tests for screening resistance water stress in *Phaseolus* and *Vigna* species. *J. Ex. Bot.* 41: 827-832