نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۲، شماره ۲ ، تابستان ۱۳۹۳، ص. ۲۳۶-۲۲۹

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 12, No. 2, Summer. 2014, p. 229-236

اثر محلول‌پاشی کیتوزان بر رشد و خصوصیات بیوشیمیایی گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) در شرایط تنش کم آبی

بتول مهدوی[۱]- سیدعلی‌محمد مدرس‌ثانوی[۲*]- مجید آقاعلیخانی[۳]- مظفر شریفی[۴]- سیدعلی علوی‌اصل[۵]

تاریخ دریافت:۱۳۹۱/۸/۲۰
تاریخ پذیرش:۱۳۹۲/۷/۲۷

چکیده

به‌منظور ارزیابی اثر تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی کیتوزان در گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) آزمایشی گلدانی بصورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال ۱۳۸۸ در دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل تنش کم‌آبی (آبیاری پس از تخلیه‌ی ۵۵ درصد رطوبت قابل دسترس خاک (بدون تنش) و آبیاری پس از تخلیه‌ی ۷۰ درصد رطوبت قابل دسترس خاک (تنش کم آبی))، دو سطح کیتوزان (صفر (شاهد)، ۰/۰۵ و ۰/۱ درصد، که همه در اسید استیک یک درصد حل شده بودند) همراه با تیمار آب مقطر (شاهد آب) و زمان محلول‌پاشی کیتوزان (قبل و در طول دوره‌ی ساقه‌دهی) بودند که داخل گلدان‌های آزمایشی اعمال شدند. نتایج نشان‌داد که تنش کم‌آبی موجب کاهش ارتفاع بوته، سطح برگ، وزن خشک ساقه و ریشه، طول و حجم ریشه گردید. درحالی که محلول‌پاشی با کیتوزان سبب افزایش این صفات شد. همچنین تنش کم‌آبی میزان فلورسانس کلروفیل، کلروفیل برگ و محتوی آب نسبی را کاهش داد. محتوی کاروتنوئید، پرولین و مالون دی آلدئید (MDA) در پاسخ به تنش‌آبی افزایش یافت. محلول‌پاشی گیاهان قرار گرفته در معرض تنش کم‌آبی با کیتوزان سبب افزایش محتوی آب نسبی (۶۸/۷۷٪)، کارآیی کوانتومی نظام نوری ۲ (Fv/Fm) و کلروفیلb شد، درحالی که محتوی MDA را در این گیاهان کاهش داد. نتایج این آزمایش نشان داد که مصرف کیتوزان می‌تواند اثرات مضر تنش کم‌آبی را در گیاه گلرنگ کاهش داده و رشد آن را بهبود بخشد.

واژه‌های کلیدی: رطوبت قابل دسترس، کلروفیل، مالون دی آلدئید، میزان فلورسانس کلروفیل

مقدمه

خشکی مهم‌ترین عامل زیانبار تولید محصولات زراعی در نواحی خشک و نیمه خشک جهان است که بر همه جنبه‌های رشد و عملکرد گیاه تأثیر منفی می‌گذارد (۲۰). همچنین در گیاهان قرار گرفته در معرض خشکی شدید خاک، فعالیت دستگاه‌های فتوسنتزی صدمه دیده یا مختل شده و منجر به کاهش ظرفیت فتوسنتزی می‌شود (۱۱). در این بین استفاده از سازوکارهایی که به کاهش خسارت این تنش منتهی گردد، می‌تواند مفید باشد، یکی از این روش‌ها که اخیراً توجه محققین به آن معطوف شده است استفاده از بیوپلیمر کیتوزان می‌باشد. امروزه استفاده از مواد فعال زیستی و سازگار با محیط برای حفظ نباتات و همچنین افزایش رشد، یک قسمت ضروری سیستم کشاورزی مدرن شده است. به همین دلیل بشر نیاز دارد که از مواد خاص محافظت کننده گیاه استفاده کند که در خاک، گیاهان و حیوانات و بدن انسان تجمع نیابند و به‌آسانی در محیط طبیعی تجزیه شوند. علاوه بر این آن‌ها این مواد را نه تنها برای افزایش پایداری گیاه در مقابل شرایط نامساعد زنده و غیر زنده مثل بیماری و تنش‌های محیطی، بلکه همچنین برای افزایش عملکرد گیاه و بهبود کیفیت آن نیاز دارد (۲۸). کیتوزان یک ماده‌ی غیرسمی، بیوپلیمر آلی و طبیعی، قابل تجزیه و زیستی است که از دی‌استیله کردن کیتین مشتق شده است (۷). بعد از سلولز، کیتین فراوانترین پلی‌ساکاریدهای موجود در طبیعت است که ترکیب اصلی دیواره سلولی سخت پوستان مثل خرچنگ، میگو و خرچنگ خاردار می‌باشد (۲۱).

در گیاه ژربرا (*Gerbera jamesonii*) کیتوزان به‌طور معنی‌داری مقدار متوسط ارتفاع ساقه‌ی گل دهنده، تعداد برگ‌ها، طول و سطح برگ و تعداد گل در بوته را افزایش داد (۳۱). این ماده همچنین رشد گیاهان مختلف از قبیل جوانه‌های سویا (۱۶) را تحریک می‌نماید. محلول‌پاشی گیاهان برنج با کیتوزان قبل از تنش کم آبی خسارت

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
(*- نویسنده مسئول: Email: Modaresa@modares.ac.ir)
۴- دانشیار گروه علوم گیاهی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه تربیت مدرس
۵- دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه پیام نور کرج

تنش خشکی در این گیاه را کاهش داد که علت آن می‌تواند تولید متابولیت‌های ثانویه توسط گیاه برنج باشد که سبب بسته شدن روزنه‌های گیاه و کاهش تعرق آن می‌شود (۴).

گلرنگ یکی از مهمترین گیاهان روغنی در سیستم‌های کشاورزی نواحی خشک و نیمه خشک است و ایران بعنوان یکی از مراکز اصلی گونه‌های زراعی از جمله گلرنگ شناخته شده است. بدیهی است گلرنگ با خصوصیات ویژگی‌های مطلوب زراعی مانند مقاوت نسبی به شوری خاک و خشکی هوا، مقاومت بالا به سرمای زمستانه (تیپ پاییزه)، دارا بودن روغن مطلوب با بیش از ۹۰ درصد اسیدهای چرب غیراشباع بویژه اسیدلینولئیک، همواره به عنوان یک دانه روغنی با ارزش مطرح بوده است (۳۱). کشت این گیاه روغنی اخیراً در کشور افزایش یافته و در راستای آن انجام تحقیقات روی این گیاه روغنی برای دستیابی به تولید بالا با کیفیت مطلوب حائز اهمیت است (۱). در این پژوهش اثر محلول‌پاشی کیتوزان بر خصوصیات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و عملکرد دانه گلرنگ در شرایط تنش کم آبی مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر کیتوزان در بهبود خسارت ناشی از کم‌آبی در گیاه گلرنگ رقم گلدشت که بذر آن از موسسه نهال و بذر کرج تهیه گردیده بود، آزمایشی بصورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در سال ۱۳۸۸ در گلخانه‌ی تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس انجام شد. کشت در گلدان‌های پلاستیکی (به قطر ۳۰ cm و عمق ۵۰ cm) محتوی ماسه، خاک زراعی و پرلیت به نسبت ۱:۱:۱ صورت گرفت. در هر گلدان شش بذر پس از ضدعفونی با هیپوکلرید سدیم ۱۰ درصد و شستشو با آب مقطر کاشته شدند و پس از سبز شدن چهار بوته در گلدان نگه‌داری شدند. تیمارهای آزمایشی شامل تنش کم‌آبی (آبیاری پس از تخلیه‌ی ۵۵ درصد رطوبت قابل دسترس خاک (بدون تنش) و آبیاری پس از تخلیه ۷۰ درصد رطوبت قابل دسترس خاک (تنش کم آبی))، سطوح مختلف کیتوزان (صفر (شاهد)، ۰/۰۵ و ۰/۱ درصد، که همه در اسیداستیک ۱ درصد حل شده بودند) همراه با تیمار آب مقطر (شاهد آب) و زمان محلول‌پاشی کیتوزان (قبل و در طول دوره‌ی ساقه‌دهی) بود. تنش کم‌آبی در مرحله‌ی رویشی (V_7 تا شروع R_3 از روش پیشنهادی تاناکا و همکاران (۲۵) اعمال گردید. مقدار آب خاک با استفاده از دستگاه انعکاس سنجی زمانی[1] (TDR) در عمق‌های ذکر شده تعیین شد. برای این منظور در مرکز هر گلدان، یک لوله دسترسی از جنس PVC قرار گرفت. قبل از شروع آزمایش از منحنی-های کالیبراسیون برای تعیین رابطه بین مقدار عددی ارائه شده توسط دستگاه ذکر شده و مقدار حجمی رطوبت خاک استفاده شد. در تیمار بدون تنش در حد ظرفیت زراعی آبیاری شد. گیاهان در طول دوره آزمایش سه بار با کیتوزان (هر ۱۵ روز یک بار) محلول‌پاشی شدند. برای اندازه‌گیری مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، b و a+b و کاروتنوئیدها)، پرولین و مالون دی آلدئید (MDA) نمونه‌برداری پیش از رسیدگی فیزیولوژیک و ۲۴ ساعت بعد از آخرین محلول‌پاشی صورت گرفت و گیاهان قبل از مرحله‌ی رسیدگی برداشت شدند.

برای سنجش محتوی پرولین از روش بیتس (۳) استفاده شد. غلظت پرولین نمونه‌ها با استفاده از غلظت‌های مشخص پرولین خالص در منحنی استاندارد بعنوان شاهد در طول موج ۵۲۰ نانومتر بر حسب میلی گرم بر گرم بافت تازه برگ محاسبه گردید.

مالون دی آلدئید (MDA) به‌عنوان فرآورده نهایی پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء با روش دوس (۵) اندازه‌گیری شد. میزان مالون دی آلدئید نمونه‌ها با اندازه‌گیری جذب در طول موج‌های ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر و با استفاده از ضریب خاموشی (ε=155 $\mu M^{-1}cm$) محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری پارامترهای فلورسانس از دستگاه فلورومتر (PAM-2000, H WalsGmbH, Effeltrich, Germany) استفاده شد. در این آزمایش Fv/Fm (کارآیی کوانتومی نظام نوری ۲)، t1/2 (نصف مدت زمانی که در آن حداکثر فلورسانس بدست می‌آید) و Fm (فلورسانس حداکثر) با این دستگاه تعیین شدند.

محتوی کلروفیل برگ به روش آرنون (۲) اندازه‌گیری شد. جذب نوری کلروفیل a و b و a+b در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر و کاروتنوئید در طول موج ۴۷۰ قرائت شد. غلظت کلروفیل a، b، a+b و کاروتنوئیدها بر حسب میلی گرم بر گرم برگ تازه به دست آمد.

به‌منظور اندازه‌گیری صفات مربوط به ریشه، در آغاز مرحله گل‌دهی پس از نمونه برداری، اندام هوایی و ریشه‌های گیاه تفکیک شدند. مقادیر ارتفاع بوته، سطح برگ، وزن خشک ریشه و ساقه، طول و حجم ریشه با نمونه برداری از چهار گیاه موجود در هر گلدان ثبت شدند و میانگین آنها در بوته محاسبه شد. ریشه‌ها در گلدان‌های دیگری که جهت بررسی صفات مربوط به اندام زیرزمینی تعبیه شده بودند پس از خارج شدن از گلدان‌ها ابتدا روی الک دو میلیمتری با آب شسته شدند. سپس وزن‌تر آن‌ها اندازگیری شد. برای اندازه‌گیری طول ریشه‌ها از دستگاه اندازه‌گیری طول ریشه[2] استفاده شد. برای این منظور، ابتدا ریشه‌ها با محلول متیل بنفش رنگ آمیزی شدند و سپس اقدام به اندازه‌گیری طول آن‌ها شد. حجم ریشه‌ها مستقیماً از روی جابجا شدن آب در ظروف مدرج پس از وارد کردن ریشه‌های شسته شده به داخل آن صورت گرفت (بر اساس قانون ارشمیدس).

1- Time Domain Reflectometry (TDR)

2- Root Length Measurement System (ΔT Device LTD, UK)

تجزیه واریانس با استفاده از نرم افزار آماری SAS انجام گرفت. برای مقایسه میانگین تیمارها برای صفات مورد بررسی از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در شرایط تنش، ارتفاع بوته و سطح برگ گیاه گلرنگ کاهش یافتند (جدول ۱). یافته‌های سایر محققان نیز حاکی از آن است که ارتفاع ساقه در گیاه لوبیا (*Phasaeolus vulgaris* L.) (۱۸) و سویا (*Glycine max* L.) (۳۶) به طور معنی‌داری در شرایط تنش کم آبی کاهش یافته است. به نظر می‌رسد کاهش در ارتفاع بوته در شرایط تنش خشکی به‌علت جلوگیری از توسعه و رشد سلول و در واکنش به فشار آماس پایین باشد (۱۱). توسعه سطح برگ برای فتوسنتز و عملکرد ماده خشک مهم بوده و تنش کم آبی رشد برگ و سطح برگ را در گیاه سویا کاهش داد (۳۶).

در شرایط بدون تنش، محلول‌پاشی گیاهان با غلظت‌های مختلف کیتوزان نتوانست اختلاف معنی‌داری از نظر ارتفاع بوته ایجاد نماید. با این حال سبب افزایش سطح برگ آن‌ها نسبت به شاهد اسید استیک شد. گزارش شده است که محلول‌پاشی کیتوزان و اولیگومرهای کیتین در گیاهان ذرت و سویا اثر معنی‌داری بر ارتفاع ساقه نداشت (۱۵)، اما محلول‌پاشی کیتوزان در گیاه لوبیا (۲۴) باعث افزایش سطح برگ شد. در آزمایش حاضر در شرایط تنش بیشترین ارتفاع بوته و سطح برگ در گیاهان محلول‌پاشی شده با غلظت ۰/۱ درصد کیتوزان مشاهده شد که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با غلظت ۰/۰۵ درصد نداشت (جدول۲). به نظر می‌رسد که کیتوزان با افزایش سطح برگ و ارتفاع بوته در شرایط تنش، توانسته نقش موثری در کاهش خسارت تنش بر رشد ایفا کند. سازوکار عمل کیتوزان روی رشد ناشناخته باقی مانده است و در عین حال کیتوزان ممکن است رشد و نمو گیاه را توسط بعضی مسیرهای انتقال پیام مربوط به بیوسنتز اکسین را از طریق مسیر وابسته به تریپتوفان، افزایش دهد (۲۷).

وزن خشک ساقه و ریشه در بوته‌های قرار گرفته در معرض تنش کاهش نشان داد (جدول ۱). یکی از اثرات مضر تنش کم‌آبی بر گیاهان زراعی کاهش تولید ماده تر و خشک گیاهی است. در گیاه نخود نیز کاهش وزن خشک ساقه و ریشه در شرایط تنش خشکی مشاهده شد (۱۳). محلول‌پاشی گیاهان در شرایط بدون تنش با غلظت ۰/۱ درصد کیتوزان، وزن خشک ساقه و ریشه را در آن‌ها افزایش داد. در شرایط تنش نیز بیشترین مقدار این دو صفت در گیاهان محلول‌پاشی شده با غلظت ۰/۱ درصد کیتوزان مشاهده شد که اختلاف معنی داری با غلظت ۰/۰۵ درصد کیتوزان نداشت (جدول ۲).

بنا به یافته‌های والکر و همکاران (۲۸) محلول‌پاشی بوته‌های کاهو (*Lactuca sativa* L.) با کیتوزان ۳ و ۱۲ هفته بعد از کاشت منجر به افزایش وزن خشک ساقه و ریشه نسبت به شاهد اسید استیک شد. همچنین محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف کیتوزان در گیاه لوبیا منجر به افزایش وزن خشک ساقه و ریشه گردید (۲۴). به نظر می‌رسد که مصرف کیتوزان با تحریک رشد ساقه و ریشه و در نتیجه افزایش جذب آب و مواد غذایی و انتقال بهتر این مواد در اندام گیاهی، منجر به افزایش وزن خشک ساقه و ریشه می‌گردد.

در آزمایش حاضر مشاهده شد که تنش کم آبی طول و حجم ریشه را نسبت به شرایط بدون تنش به ترتیب ۱۴/۱۶ و ۹/۹۶ درصد کاهش داد. محققان زیادی نیز گزارش کردند که تنش خشکی طول ریشه و تولید ماده خشک را کاهش می‌دهد (۳۳). تنش کم آبی حجم ریشه را در گیاهان نخود کاهش داد (۱۰). بیشترین طول و حجم ریشه در غلظت کیتوزان ۰/۰۵ درصد مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با غلظت ۰/۱ درصد نداشت (جدول ۱). نکیو و همکاران (۲۱) در آزمایشی روی ارکیده (*Dendrobium phalaenopsis* L.)، اثر شدید کیتوزان بر رشد و توسعه بافت ریشه این گیاه را گزارش نمودند.

محلول‌پاشی گیاهان در شرایط بدون تنش با غلظت‌های مختلف کیتوزان اثری بر محتوای نسبی آب گیاه نداشت، در حالی که در گیاهان تحت تنش هر دو غلظت کیتوزان بر میزان محتوای نسبی آب اثر مثبت داشتند و بیشترین میزان این صفت در غلظت ۰/۱ درصد کیتوزان مشاهده شد که نسبت به شاهد اسید استیک ۳۶ درصد افزایش نشان داد (جدول ۲). این نتایج با نتایج سایر محققین مطابقت دارد (۸). آن‌ها گزار ش کردند که مصرف کیتوزان در گیاهان قرار گرفته در معرض تنش کم‌آبی، سبب افزایش محتوی آب نسبی می‌شود. بنابراین، با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش و گزارش‌های سایر محققین می‌توان استنباط کرد که کیتوزان ممکن است با کاهش تعرق و همچنین حفظ محتوی نسبی آب، باعث ایجاد تحمل به کم‌آبی گردد.

کارایی کوانتومی نظام نوری ۲ (Fv/Fm)، فلورسانس حداکثر (FM)، t1/2 در شرایط تنش کم آبی کاهش یافتند (جدول ۱). عکس العمل گیاهان به دامنه وسیعی از تنش‌های زیستی، شیمیائی و محیطی به وسیله تغییرات فلوئورسانس کلروفیل قابل ارزیابی است. کاهش Fv/Fm توسط محققان دیگر هم در شرایط تنش آب گزارش شده است (۲۰). در شرایط بدون تنش اختلاف معنی‌داری بین غلظت‌های مختلف کیتوزان با شاهد اسید استیک برای کارایی کوانتومی نظام نوری ۲ مشاهده نشد (جدول ۲).

جدول ۱- مقایسه‌ی میانگین اثرات تنش کم آبی، زمان و غلظت محلول‌پاشی با کیتوزان بر صفات گیاهی گلرنگ

تیمارهای آزمایشی	ارتفاع بوته (cm)	سطح برگ (cm^2)	وزن خشک ساقه (g)	وزن خشک ریشه (g)	طول ریشه (cm)	حجم ریشه (cm^3)	پتانسیل عملکرد کوانتوم (Fv/Fm)	t1/2 (ms)	فلورسانس حداکثر (Fm)
تنش									
بدون تنش	۲۴/۲a	۶۳۶/۴a	۳۰/۲a	۵/۱۳a	۱۳/۷۷a	۹۲/۰۸a	۰/۶۱a	۵۳۰/۸a	۰/۱۴۲a
تنش کم آبی	۲۰/۸b	۵۳۳/۰b	۲۷/۳b	۴/۸۲b	۱۱/۸۲b	۸۲/۹۱b	۰/۵۱b	۴۸۸/۲b	۰/۱۳۱b
LSD	۲/۵۱	۳۵/۴	۰/۷۶	۰/۲۸	۱/۲۲	۶/۹۴	۰/۰۲	۳۲/۸۷	۰/۰۰۸
زمان محلول‌پاشی									
قبل از ساقه دهی	۲۳/۷a	۵۹۶/۱a	۲۸/۷a	۴/۹۱a	۱۱/۸۱b	۸۱/۶۷b	۰/۵۶a	۵۱۸/۶a	۰/۱۳۷a
در طول ساقه دهی	۲۱/۳a	۵۷۳/۳a	۲۸/۶a	۵/۰۵a	۱۳/۷۸a	۹۳/۳۳a	۰/۵۶a	۵۰۰/۴a	۰/۱۳۶a
LSD	۲/۵۱	۳۵/۳۶	۰/۷۶	۰/۲۹	۱/۲۲	۶/۹۴	۰/۰۲	۳۲/۸۷	۰/۰۰۸
(%)غلظت کیتوزان									
۰ (شاهد اسید استیک)	۲۱/۷a	۵۴۰/۱b	۲۶/۷c	۴/۳۵b	۱۰/۳۶b	۷۴/۱۷c	۰/۵۷a	۵۳۰/۹a	۰/۱۳۷a
۰/۰۵	۲۲/۹a	۶۳۴/۱a	۲۹/۴b	۵/۴۶a	۱۵/۱۸a	۱۰۰a	۰/۵۸a	۵۰۹/۴a	۰/۱۳۶a
۰/۱	۲۳/۳a	۶۲۶/۰a	۳۱/۱a	۵/۷۶a	۱۴/۵۴a	۹۱/۶۷ab	۰/۵۴b	۴۹۴/۴a	۰/۱۳۶a
شاهد آب	۲۲/۰۳a	۵۳۸/۶b	۲۷/۷c	۴/۳۳b	۱۱/۱۰b	۸۴/۱۷b	۰/۵۴b	۵۰۳/۲a	۰/۱۳۶a
LSD	۳/۵۵	۵۰	۱/۰۷	۰/۴۰	۱/۷۳	۹/۸۲	۰/۰۲	۴۶/۵	۰/۰۱۱

تیمارهای آزمایشی	کلروفیلa (mg.g-1 FW)	کلروفیل b (mg.g-1 FW)	کلروفیلa+b ($mg.g^{-1}$ FW)	کاروتنوئید ($mg.g^{-1}$ FW)	محتوای نسبی آب (%)	پرولین ($mg.g^{-1}$ FW)	مالون دی آلدئید ($mM\ cm^{-1}$)
تنش							
بدون تنش	۱/۵۳a	۰/۶۸۳a	۲/۱۱a	۰/۴۷b	۷۳/۰۵a	۰/۳۳۴b	۰/۵۷۰b
تنش کم آبی	۱/۳۸b	۰/۶۱۱b	۱/۸۵b	۰/۵۴a	۵۹/۴۹b	۰/۳۷۲a	۰/۶۲۰a
LSD	۲/۰۴	۰/۰۳۶	۰/۱۵	۰/۰۲	۳/۷۸	۰/۰۲۱	۰/۰۳۴
زمان محلول‌پاشی							
قبل از ساقه دهی	۱/۵۰a	۰/۶۵۵a	۲/۰۷a	۰/۴۹b	۶۶/۹۸a	۰/۳۳۹b	۰/۵۸۳a
در طول ساقه دهی	۱/۴۲a	۰/۶۳۷a	۱/۹۰b	۰/۵۲a	۶۵/۵۶a	۰/۳۶۸a	۰/۶۰۷a
LSD	۰/۱۱	۰/۰۳۶	۰/۱۵	۰/۰۲	۳/۷۸	۰/۰۲	۰/۰۳۴
(%)غلظت کیتوزان							
۰ (شاهد اسید استیک)	۱/۳۵b	۰/۶۱۱c	۱/۷۸b	۰/۴۳b	۵۹/۴۱b	۰/۳۳۷b	۰/۶۷۰a
۰/۰۵	۱/۵۸a	۰/۶۸۲a	۲/۲۲a	۰/۵۶a	۷۱/۸۲a	۰/۳۷۳a	۰/۴۹۴c
۰/۱	۱/۶۲a	۰/۶۷۲ab	۲/۱۷a	۰/۵۶a	۷۲/۶۰a	۰/۳۶۹a	۰/۵۴۷b
شاهد آب	۱/۲۷b	۰/۶۲۱bc	۱/۷۵b	۰/۴۵b	۶۱/۲۴b	۰/۳۳۴ b	۰/۶۷۰a
LSD	۰/۱۶	۰/۰۵۱	۰/۲۲	۰/۰۳۴	۵/۳۵	۰/۰۲۸	۰/۰۴۹

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری ندارند.

جدول۲- اثر غلظت‌های کیتوزان و تنش کم آبی بر صفات گیاه گلرنگ

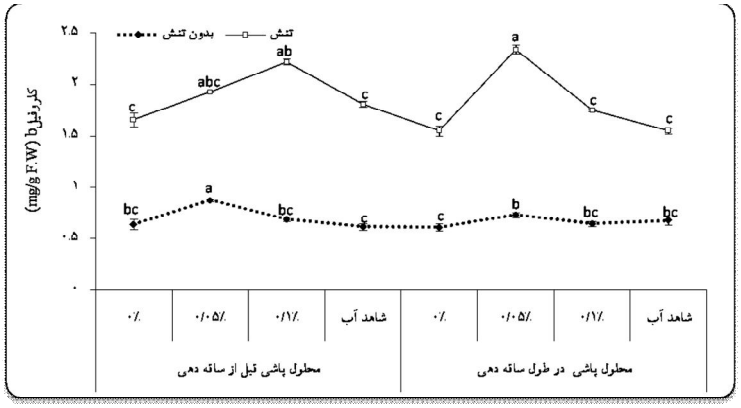
تنش	کیتوزان	ارتفاع بوته (cm)	سطح برگ (cm^2)	وزن خشک ساقه(g)	وزن خشک ریشه(g)	پتانسیل عملکرد کوانتوم	محتوای نسبی آب	مالون دی آلدئید
بدون تنش	۰ (شاهد اسید استیک)	۲۶/۲۷a	۵۸۴/۸c	۲۷/۵۷c	۴/۱۴b	۰/۶۱a	۶۸/۳۹a	۰/۵۸۹a
	۰/۰۵	۲۲/۳۹a	۷۳۶/۲a	۳۰/۸۵b	۵/۸۴a	۰/۶۱a	۷۵/۸۷a	۰/۴۸۸b
	۰/۱	۲۲/۷۵a	۶۵۶/۱b	۳۳/۸۷a	۶/۳۶a	۰/۶۲a	۷۶/۴۳a	۰/۶۱۱a
	شاهد آب	۲۵/۳۹a	۵۶۸/۵c	۲۸/۴۰c	۴/۱۶b	۰/۶۱a	۷۱/۴۸a	۰/۵۹۴a
LSD		۵/۴۱	۶۴/۲	۲/۱۳	۰/۵۸	۰/۰۴	۹/۵۱	۰/۰۸۶
تنش کم آبی	۰ (شاهد اسید استیک)	۱۷/۱۷b	۴۹۵/۴b	۲۵/۸۸c	۴/۵۵bc	۰/۴۸b	۵۰/۴۴b	۰/۷۵۱a
	۰/۰۵	۲۳/۶۱a	۵۳۲/۲ab	۲۷/۹۱a	۴/۰۹ab	۰/۵۳a	۶۷/۷۷a	۰/۵۰۲b
	۰/۱	۲۳/۸۳a	۵۹۵/۸a	۲۸/۳۲a	۵/۱۶a	۰/۵۵a	۶۸/۷۷a	۰/۴۸۲b
	شاهد آب	۱۸/۶۷b	۵۰۸/۶b	۲۷b	۴/۵۱c	۰/۴۷b	۵۱b	۰/۷۴۶a
LSD		۴/۹۳	۸۳/۴	۰/۷۲	۰/۵۷	۰/۰۳	۶/۲۲	۰/۰۵۷

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری ندارند.

در حالی که در شرایط تنش، محلول‌پاشی گیاهان با غلظت‌های ۰/۰۵ و ۰/۱ درصد کیتوزان میزان Fv/Fm را نسبت به شاهد اسید استیک افزایش داد (جدول ۲). مقدار Fv/Fm برگ هر گیاه نشان دهندهٔ کارآیی شیمیایی نظام نوری ۲ در فتوسنتز است، این کارآیی به شدت تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفته و با کاهش رطوبت قابل دسترس برای گیاه، این نسبت کاهش می‌یابد که باعث بازدارندگی فتوسنتز نیز می‌شود. در تعدادی از گیاهان گزارش شده که با حفظ مقدار بالای عملکرد کوانتوم (Fv/Fm) در شرایط تنش خشکی می‌توان خسارت وارده به نظام نوری ۲ را کاهش داد (۱۹). بنابراین به نظر می‌رسد که کیتوزان در شرایط تنش با حفظ مقدار Fv/Fm اثرات مخرب تنش را بر کارآیی فتوشیمیایی نظام نوری ۲ کاهش می‌دهد.

تنش کم آبی باعث کاهش معنی‌دار مقادیر کلروفیل a، b و a+b در برگ های گلرنگ گردید، در حالی که مقدار کاروتنوئیدها را افزایش داد (جدول ۱). گزارش شده است که تنش خشکی موجب کاهش شدید در محتوی کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل در همه واریته‌های مورد بررسی آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) گردید (۱۸). وانگ و همکاران (۲۹) گزارش کردند که محتوی کاروتنوئیدها در برگ‌های گندم زمستانه تحت تنش خشکی افزایش یافت. در آزمایش حاضر مشاهده شد که مصرف کیتوزان سبب افزایش کاروتنوئیدها نسبت به شاهد اسید استیک شد (جدول ۱). علیرغم اینکه اختلاف معنی‌داری بین غلظت ۰/۱ درصد و ۰/۰۵ درصد کیتوزان در مقادیر کلروفیل a، b و a+b مشاهده نشد، اما مصرف کیتوزان سبب افزایش قابل ملاحظهٔ این صفات نسبت به شاهد اسید استیک شد، به‌طوری‌که حداکثر مقدار کلروفیل a در غلظت ۰/۱ درصد کیتوزان مشاهده شد که نسبت به شاهد اسید استیک۲۰ درصد افزایش نشان داد. حداکثر مقدار کلروفیل b و a+b از غلظت ۰/۰۵ درصد کیتوزان بدست آمد که نسبت به شاهد اسید استیک به ترتیب ۱۱/۶۲ و ۲۴/۷۱ افزایش نشان داد (جدول ۱). بیشترین مقدار کلروفیل b در شرایط بدون تنش، از محلول‌پاشی ۰/۰۵ درصد کیتوزان قبل از ساقه دهی بدست آمد، درحالی که در شرایط تنش بیشترین مقدار این صفت در گیاهان محلول‌پاشی شده با ۰/۰۵ درصد کیتوزان در طول ساقه‌دهی مشاهده شد (شکل ۱). دژانگ و همکاران (۶) گزارش کردند مصرف کیتوزان محتوی کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها را در برگ‌های قهوه افزایش داد. لیمپ ناویج و همکاران (۱۷) نیز دریافتند که کیتوزان در افزایش محتوی کلروفیل و فتوسنتز نقش دارد و علاوه بر این، آن‌ها ثابت کردند که کیتوزان بیان ژن کلروپلاست برگ را تحت تأثیر قرار می‌دهد، به‌طوری که تغییرات در اندازه و توسعه کلروپلاست ممکن است عامل تحریک کننده رشد گیاهان باشد.

میزان پرولین در گیاهان تحت تنش کم آبی افزایش معنی‌داری داشت و محلول‌پاشی گیاهان در طول ساقه‌دهی منجر به افزایش این صفت شد (جدول ۱). مقاومت گیاهان در مقابل تنش خشکی ملایم در اثر تجمع اسمولیت‌ها تا حدودی افزایش می‌یابد. پرولین یکی از مهم‌ترین اسمولیت‌های تجمع یافته در گیاهان قرار گرفته در معرض تنش خشکی است. تجمع پرولین در بسیاری از گیاهان مثل گندم (*Triticum aestivum* L.) (۹) در شرایط تنش خشکی گزارش شده است. در آزمایش حاضر میزان پرولین در گیاهان محلول‌پاشی شده با کیتوزان نسبت به شاهد اسید استیک بیشتر بود و اختلاف معنی‌داری بین دو غلظت کیتوزان مشاهده نشد (جدول ۱). افزایش محتوی پرولین در برگ‌های خیار تیمار شده با کیتوزان نیز گزارش شده است (۳۵).



شکل ۱- اثر تنش کم آبی، غلظت کیتوزان و زمان محلول‌پاشی آن بر کلروفیل b برگ گلرنگ

(نشانگرهای میله‌ای خطای استاندارد می‌باشند. میانگین‌ها با حروف مشابه در هر سطح تنش بر اساس آزمون LSD ($P\leq0.05$) اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.)

تنش کم آبی منجر به افـزایش ۸/۷ درصـدی میـزان مـالون دی آلدئید گردید (جدول ۱). افزایش محتـوی مـالون دی آلدئیـد در گیـاه گندم تحت شرایط تنش کم‌آبی نیز گزارش شده است. به‌نظر می‌رسـد که تنش کم‌آبی با افزایش در محتوای رادیکال‌های آزاد اکسیژن باعث افزایش در محتوی مالون دی آلدئید می‌گردد (۲۶). در تحقیق حاضـر محلول‌پاشی غلظت ۰/۰۵ درصد کیتوزان در شرایط بدون تنش، باعث کاهش میزان مالون دی آلدئید گردیـد، در حـالی کـه در غلظـت ۰/۱ درصد اختلاف معنی‌داری با شاهد اسید اسـتیک نداشـت. در گیاهـان تحت تنش در هر دو غلظت کیتوزان، میزان مالون دی آلدئیـد نسـبت به شاهد اسید استیک کاهش نشان داد (جدول ۲). ایکسیو و همکاران (۳۴) گزارش کردند که کیتوزان باعـث کـاهش محتـوی مـالون دی آلدئیـد در گیاهـان آبـزی *Hydrilla verticillat* نسـبت بـه شـاهد می‌گردد. کاهش اکسیداسیون لیپیدها توسط کیتوزان می‌تواند به علت توانایی آن در کلاته کردن یون‌هـای فلـزی یـا ترکیـب شـدن آن بـا لیپیدها باشد (۳۵). بنظر می‌رسد کیتوزان مـی‌توانـد بـا از بـین بـردن رادیکال‌های آزاد بطور مستقیم از اکسیداسیون چربـی‌هـا جلـوگیری نموده و از افزایش مالون دی آلدئید جلوگیری کند.

نتیجه‌گیری

از نتایج بدست آمده از این آزمایش می‌توان نتیجه‌گیری کرد کـه کیتوزان اثرات مضر حاصـل از تـنش کمبـود آب را در گیـاه گلرنـگ کاهش داده و سبب بهبود رشد گیاه در شرایط تنش می‌شود. این ماده با افزایش محتوای تنظیم کننده‌های اسمزی (پرولین) و حفظ تعادل آبی سلول، از کاهش شدید محتوی نسبی آب برگ جلوگیری کرد که این موضوع سبب پایداری ساختار سلول در برابر تنش کم آبی شد. از این رو می‌توان اظهار نمود که مصرف کیتوزان می‌تواند باعث کـاهش اثرات سوء تنش شده و به افزایش عملکرد منجر شود.

منابع

۱- خواجه‌پور، م. ر. ۱۳۸۳. گیاهان صنعتی، انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی اصفهان. ۵۸۰ صفحه.

2- Arnon, D. I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphennoloxidase in Beta vulgaris. Plant Physiology. 4: 1-150.

3- Bates, L. S., R. P. Waldern, and I. D. Teave. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant Soil. 39: 205-207.

4- Boonlertnirun, S., E. D. Sarobol, S. Meechoui, and I. Sooksathan. 2007. Drought recovery and grain yield potential of rice after chitosan application. Kasetsart Journal. 41: 1-6.

5- De Vos, C., H. M. Schat, M. A. De Waal, R. Vooijs, and W. Ernst. 1991. Increased to copper-induced damage of the root plasma membrane in copper tolerant *Silene cucubalus*. Plant Physiology. 82: 523-528.

6- Dzung, N. A., V. T. Phuong Khanh, and T. T. Dzung. 2011. Research on impact of chitosan oligomers on biophysical characteristics, growth, development and drought resistance of coffee. Carbohydrate Polymer. 84: 751–755.

7- Goorge, A. and F. Roberts. 1992. "Chitin Chemistry" In *Senior Lecture in Dyeing Nottingham Polytechnic;* The Macmilan press LTD. London. 349p.

8- Gu, L. Q., C. X. Li, Y. X. Qiao, F. J. Gao and H. Lu. 2010. Effects of Exogenous Chitosan on Physiological Characteristics of Cucumber Seedlings under Drought Stress. Southwest China Journal Agriculture Science, 1: 70-73.
9- Hamada, A. M. 2000. Amelioration of drought stress by ascorbic acid, thiamine or aspirin in wheat plants, Indian Journal Plant Physiology, 5: 358–364.
10- Hamidou, F., G. Zombre, S. Guinko, O. Diouf, N. N. Diop, and S. Braconnier. 2007. Physiological, biochemical and agromorphological responses of five cowpea genotypes (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) to water deficit under glasshouse conditions. Biotechnology, Agronomy, Society and Environment, 11 (3): 225-234.
11- Jaleel, C. A., R. Gopi, P. Manivannan, M. Gomathinayagam, R. Sridharan, and R. Panneerselvam. 2008. Antioxidant potential and indole alkaloid profile variations with water deficits along different parts of two varieties of Catharanthus roseus. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 62: 312–318.
12- Kaiser, W. M. 1987.Effects of water deficit on photosynthetic capacity. Physiol Plant. 71: 142-149.
13- Kalefetoglu Macar, T. and Y. Ekmekci. 2009. Alterations in photochemical and physiological activities of chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under drought stress. Journal Agronomy Crop Science, 195: 335–346.
14- Kerepesi, I. and G. Galiba. 2000. Osmotic and salt stress-induced alteration in soluble carbohydrate content in wheat seedlings. Crop Science, 40: 482–487.
15- Khan, W., B. Prithiviraj, and D. L. Smith. 2002. Effect of foliar application of chitin and chitosan oligosaccharide on photosynthesis of maize and soybean. Photosynthetica, 40: 621-624.
16- Lee, Y. S., Y. H. Kim, and S. B. Kim. 2005. Changes in the respiration, growth, and vitamin C content of soybean sprouts in response to chitosan of different molecular weights. Horticulture Science, 40: 1333-1335.
17- Limpanavech, P., S. Chaiyasuta, R. Vongpromek, R. Pichyangkura, C. Khunwasi, S. Chadchanwan, P. Lotrakul, R. Bunjongrat, A. Chaidee and T. Bangyeekhun. 2008. Effect of chitosan on floral production, gene expression and anatomical changes in the Dendrobium orchid. Science Horticulture, 116: 65–72.
18- Manivannan, P., C. Abdul Jaleel, B. Sanka, A. Kishorekumar, R. Somasundaram, G. M. A. Lakshmanan, and R. Panneerselvam. 2007. Growth, biochemical modifications and proline metabolism in *Helianthus annuus* L. as induced by drought stress. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 59: 141–149.
19- Maxwell, K. and G. N. Johnson. 2000. Chlorophyll fluorescence – a practical guide. journal of experimental botany, 51: 659-668.
20- Miyashita, K., S. Tanakamaru, T. Maitani and K. Kimura. 2005. Recovery responses of photosynthesis, transpiration and stomata conductance in kidney bean following drought stress. Environmental and Experimental Botany, 53: 205-214.
21- No, H. K., N. Y. Park, S. H. Lee, and S. P. Meyers. 2002. Antibacterial activity of chitosans and chitosan oligomers with different molecular weights. International Journal of Food Microbiology, 74: 65–72.
22- Nqe, K. L., N. New, S. Chandrkrachang and W. F. Sterens. 2005. Chitosan as a growth stimulator in orchid tissue culture. Plant Science, 170: 1185- 1190.
23- Roy, R., R. S. Purty, V. Agarwal and S. C. Gupta. 2006. Transformation of tomato cultivars 'Pusa Ruby' with bsp A gene from *Populus tremula* for drought tolerance. Plant Cell Tiss Org. 84: 55-67.
24- Sheikha, S. A. A. K. and F. M. AL-Malki. 2011. Growth and Chlorophyll Responses of Bean Plants to the Chitosan Applications. European Journal of Scientific Research, 50 (1): 124-134.
25- Tanaka, D. L., N. R. Riveland, J. W. Bergman, and A. A. Schneiter. 1997. Safflower plant development stages. IVth International Safflower Conference, 2-7 June. 1997. Bari.
26- Upadhyaya, H. and S. K. Panda. 2004. Responses of *Camellia sinensis* to drought and rehydration. Biological Plant, 48: 597-600.
27- Uthairatanakij, A., J. A. Teixeira da Silva, and K. Obsuwan. 2007. Chitosan for Improving Orchid Production and Quality. Orchid Science and Biotechnology, 1(1): 1-5.
28- Walker, R., S. Morris, P. Brown and A. Gracie. 2004. Evaluation of potential for chitosan to enhance plant defense. Publication No. 04.of Rural Industries Research and Development Corporation. Australia.
29- Wang, J. R., S. X. Li, and K. I. Li. 2001. Effect of water limited deficit stress during different growth stages on leaf enzymes of winter wheat. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 21 (1): 47-52.
30- Wang, X. H., D. P. Li, W. J. Wang, Q. L. Feng, F. Z. Cui, Y. X. Xu, X. H. Song and M. Van Der Werf. 2003. Crosslinked collagen/chitosan matrix for artificial livers. Biomaterials, 24: 3213–3220.
31- Wanichpongpan, P., K. Suriyachan and S. Chandrkrachang. 2001. Effect of Chitosan on the growth of Gerbera flower plant (*Gerbera jamesonii*). P. 198-201. In: T. Uragami et al. (ed.) Chitin and Chitosan in Life Science. Yamaguchi. Japan.
32- Weiss, E. A. 2000. Oilseed Crops. Second ed. Blackwell Science, Oxford, 364 pp.
33- Wu, F. Z., W. K. Bao, F. L. Li, and N. Wu. 2008. Effects of drought stress and N supply on the growth, biomass partitioning and water-use efficiency of *Sophora davidii* seedlings. Environmental and Experimental Botany, 63: 248–255.
34- Xu, Q. J., Y. G. Nian JINXC, C. Z. Yan, J. Liu and G. M. Jiang. 2007. Effects of chitosan on growth of an aquatic

plant (*Hydrilla verticillata*) in polluted waters with different chemical oxygen demands. Journal of Environmental Sciences, 19: 217–221.

35- Xue, G. X., H. Y. Gao, P. M. Li and Q. Zou. 2004. Effects of chitosan treatment on physiological and biochemical characteristics in cucumber seedlings under low temperature. Journal of Plant Physiology and Molecular Biology, 30: 441-448

36- Zhang, M., L. Duan, Z. Zhai, J. Li, X. Tian, B. Wang, Z. He and Z. Li. 2004. Effects of plant growth regulators on water deficit-induced yield loss in soybean. In Proceedings of the 4th International Crop Science Congress, 26 Sep-1Oct. 2004. Brisbane, Australia.