نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی
جلد بیست و یکم، شماره اوّل، ۱۳۹۳
http://jopp.gau.ac.ir

ارزیابی تأثیر هگزاکونازول بر برخی شاخص‌های فیزیولوژیک تحمل به کم‌آبی در دو رقم سویا

مونا پوردهقان[۱]، *سیدعلی‌محمد مدرس ثانوی[۲]، فائزه قناتی[۳] و سمیه کرمی[۱]

[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد گروه زراعت، دانشگاه تربیت مدرس، [۲]استاد گروه زراعت، دانشگاه تربیت مدرس، [۳]دانشیار گروه علوم گیاهی، دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ دریافت: ۹۱/۷/۲۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۲/۲۰

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر هگزاکونازول (HEX) بر افزایش تحمل به کم آبی دو رقم سویا، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس به اجرا درآمد. عوامل مورد بررسی در این پژوهش شامل ارقام سویا (L17 و کلارک ٦٣)، غلظت هگزاکونازول (صفر و ۳۵ میلی‌گرم در لیتر) و سطوح آبیاری (آبیاری مطلوب و تنش در سطح ٤٠ درصد FC) بود. اعمال تیمار هگزاکونازول در مرحله گلدهی و به روش خاک کاربرد صورت گرفت و پس از آن تنش کم آبی بر گیاهان موردنظر اعمال شد. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تنش کم‌آبی منجر به افزایش معنی‌دار میزان پرولین، گلوکز، آنتوسیانین و فعالیت آنزیم‌های سوپراکسیددیسموتاز و پراکسیداز گردید در حالی‌که محتوای کلروفیل a، b، کل، کاروتنوئید و پروتئین محلول برگ در اثر تنش کاهش یافت. رقم کلارک ٦٣ در مقایسه با رقم L17 تحمل بیشتری نسبت به شرایط کم‌آبی داشت. نتایج نشان داد که تیمار هگزاکونازول باعث افزایش محتوای کلروفیل در شرایط تنش گردید. کاربرد HEX در شرایط تنش کم‌آبی منجربه تخفیف اثرات تنش گردید به‌طوری‌که محتوای پرولین و گلوکز در اثر اعمال این ترکیب کاهش یافت. در شرایط آبیاری مطلوب، میزان فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز در هر دو رقم با مصرف هگزاکونازول افزایش یافت اما در شرایط تنش کم‌آبی میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در رقم L17 و میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در رقم کلارک ٦٣ در اثر کاربرد هگزاکونازول افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: تنش کم‌آبی، هگزاکونازول، سویا، آنتی‌اکسیدان‌ها

*مسئول مکاتبه: modaresa@modares.ac.ir

مقدمه

سویا یکی از مهم‌ترین دانه‌های روغنی ایران و جهان می‌باشد و با توجه به شرایط اقلیمی کشور در بسیاری از مناطق امکان کشت آن وجود دارد. به‌علاوه این گیاه به لحاظ قابلیت تثبیت نیتروژن اتمسفری و در نتیجه مصرف کمتر کودهای شیمیایی از جایگاه ویژه‌ای در کشاورزی پایدار برخوردار است. پژوهش‌های به‌زراعی و به‌نژادی سویا در کنار سایر دانه‌های روغنی در کاهش وابستگی شدید کشور به واردات روغن و کنجاله نقش به‌سزایی دارد.

با توجه به محدودیت‌های شدید منابع آبی در اکثر مناطق کشور، تنش خشکی به‌عنوان مهمترین تنش تأثیرگذار بر گیاهان زراعی معرفی شده است.گیاهان در برابر تنش کمبود آب عکس‌العمل‌های متفاوتی را نشان می‌دهند. یکی از این واکنش‌ها، تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌باشد. رادیکال‌های آزاد تولید شده در شرایط تنش خشکی می‌توانند خساراتی را به آنزیم‌های دارای گروه سولفیدریلیک، رنگدانه‌های کلروپلاست (به‌ویژه کلروفیل)، غشای لیپیدی و پروتئین‌ها وارد کرده و سبب تغییر در یک‌پارچگی غشاء شوند (اندرسون و همکاران، ۱۹۹۰). فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز و غلظت مولکول‌های آنتی‌اکسیدان در شرایط تنش خشکی افزایش می‌یابد (هیس، ۱۹۸۷) و این افزایش با تحمل به تنش همبستگی دارد (گرسل و گالون، ۱۹۹٤). همچنین تجمع برخی ترکیبات در شرایط تنش منجر به حفظ فشار تورگر گردیده و تحمل گیاه به تنش را افزایش می‌دهند. پرولین (روئیز و همکارن، ۲۰۰۲) و کربوهیدرات‌های محلول از این دسته ترکیبات بوده که در گیاهان در طی سازگاری به انواع مختلفی از تنش‌های محیطی نظیر خشکی، شوری و... تجمع می‌کند.

تنظیم کننده‌های رشد گیاهی نقش مهمی در تولید محصولات زراعی و باغی ایفا می‌نمایند. یک گروه مهم از این ترکیبات تریازول‌ها می‌باشند. این ترکیبات در دهه ۱۹٦۰ برای کنترل بیماری‌های قارچی در گیاهان و جانوران استفاده می‌شدند (فلچر و همکاران، a ۲۰۰۰). تریازول‌ها با اثر بر جنبه‌های مختلف فیزیولوژیک و مورفولوژیک گیاهان، باعث القای تحمل به انواع تنش‌های محیطی می‌شوند (رادماچر، ۱۹۹۵). ترکیبات تریازولی از تولید هورمون جیبرلین ممانعت می‌کنند (آیزومی و همکاران، ۱۹۸۸). این ترکیبات همچنین باعث تغییر در توازن هورمون‌های ABA، سیتوکینین و اتیلن نیز می‌گردند. اثر نهایی تریازول‌ها، ناشی از برهم خوردن تعادل پویایی است که بین هورمون‌های گیاهی در مراحل مختلف رشد و نمو وجود دارد (فلچر و همکاران، b ۲۰۰۰). از تغییرات بیوشیمیایی این ترکیبات می‌توان به دفع گونه‌های فعال اکسیژن (کراوس و فلچر، ۱۹۹٤) افزایش پرولین (مک کی

و همکاران، ۱۹۹۰)، پروتئین محلول برگ، قندهای محلـول و افـزایش رنگدانـه‌های فتوسـنتزی مثـل کلروفیل (فلچر و هوفسترا، ۱۹۸۸)، کاروتنوئید و آنتوسیانین اشاره کرد. با مصـرف تریازول‌هـا، میـزان تحمل به خشکی از طریق افزایش میزان آبسیزیک اسید، پرولین و آنتی‌اکسیدان‌ها و بسته شدن روزنه‌ها در گندم و تریتیکاله (گیلی و فلچر، ۱۹۹۷؛ بروا و زلاتیو، ۲۰۰۳)، گوجه‌فرنگی (استیل و پیل، ۲۰۰٤)، ریگراس چند ساله (جیانگ و فری، ۱۹۹۸)، افرای نقره‌ای (مارشال و همکاران، ۲۰۰۰) و سویا (ژانگ و همکاران، ۲۰۰٦) افزایش می‌یابد. افزایش تحمل کلزای زمسـتانه بـه تـنش گرمـا بـا محلـول‌پاشـی یونیکونازول توسط ویژون و ملکسلام (۱۹۹۹) گزارش شده است. لئول و ژو (۱۹۹۸) گزارش کردنـد که محلول‌پاشی گیاهچه‌های کلزا با یونیکونازول، باعث کاهش خسارت تنش غرقابی در گیاهچـه‌های کلزا گردید. همچنین در آزمایش حجتـی (۲۰۱۰) کـاربرد مـاده هگزاکونـازول بـا افـزایش معنـی‌دار آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیر آنزیمی و برخی صفات فیزیولوژیک مهم گیاه، سبب بهبود تحمـل بـه تنش کم‌آبی در گیاهان تیمار شده در مقایسه با گیاهان تیمار نشده گردید.

با توجه به این‌که خشکی از خصوصیات بارز کشور ما به‌حساب می‌آید بنابراین بایستی به‌دنبال گسترش پژوهشی بود که بتوان با این عامل طبیعی و غیرقابل اجتناب مقابله نمود و یا حداقل از خسارات ناشی از آن کم کرد. به‌همین منظور این پژوهش جهت درک اثرات فیزیولوژیک هگزاکونازول بر افزایش تحمل به کم‌آبی ارقام سویا انجام گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۸۹ در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس به اجرا درآمد. اثر سه عامل رقم (V)، آبیاری (I) و غلظت هگزاکونازول (H) به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار، مورد بررسی قرار گرفت. قبل از کاشت، از نقاط مختلف خاک مزرعه در عمق ٤۰-۰ سانتی‌متری به‌صورت تصادفی نمونه‌برداری صورت گرفت و جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه منتقل گردید. نتایج حاصل از تجزیه خاک در جدول ۱ ارایه شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های خاک مزرعه آزمایشی.

عمق خاک (سانتی‌متر)	بافت خاک	ازت کل (درصد)	پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم)	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم)	کربن آلی (درصد)
	لوم شنی	۰/۱۵	۹۰۸	۱۱۹/۲	۱/۵۸
(۰-۴۰)	اسیدیته گل اشباع (pH)	ظرفیت مزرعه درصد وزنی (FC)	نقطه پژمردگی دائم درصد وزنی (PWP)	چگالی ظاهری (گرم در مترمربع)	هدایت‌الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)
	۷/۴۵	۱۷/۴۵	۷/۷۸	۱/۴۵	۱/۲۲

عملیات آماده‌سازی زمین در تاریخ ۸۹/۳/۲۵ انجام شد. ابتدا زمین موردنظر توسط گاوآهن برگردان‌دار شخم زده شد و سپس عملیات دیسک‌زنی دو بار و به‌صورت عمود بر هم انجام گرفت. پس از تسطیح زمین، کرت‌هایی به ابعاد ۳×۲ متر که شامل ۵ ردیف کاشت بود ایجاد گردید. فاصله هر کرت از کرت مجاور و تکرار بعدی ۱/۵ متر در نظر گرفته شد. ارقام مورد استفاده در این آزمایش دو رقم L17 (V_1) و کلارک ۶۳ (V_2) بوده که به‌ترتیب متعلق به گروه رشدی ۳ و ٤ بودند. قبل از کاشت، بذور با باکتری ریزوبیوم تلقیح و سپس به‌صورت دستی کشت شدند. فاصله بوته‌ها روی ردیف‌های کشت ۸ سانتی‌متر و بین ردیف‌ها ٤۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. با توجه به آزمایش خاک و غنی بودن خاک مزرعه از فسفر و پتاسیم (جدول ۱)، مقدار ٦۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره به‌عنوان استارتر قبل از کاشت استفاده شد. عملیات وجین علف‌های هرز از مرحله ٤-۲ برگی آغاز و تا گلدهی به‌صورت دستی انجام گرفت. اعمال تیمار هگزاکونازول به مقادیر صفر (شاهد) و ۳۵ میلی‌گرم در لیتر و به روش خاک‌کاربرد در مرحله گلدهی (R_1) صورت گرفت. به‌این منظور، از فرم تجاری این ترکیب با نام انویل (ساخت شرکت آریاشیمی) استفاده شد. با توجه به تراکم بوته موجود در کرت مقدار مشخصی از ترکیب محاسبه و در آب مقطر کاملاً حل شد. محلول حاصل به‌صورت یکنواخت روی سطح خاک پای بوته‌ها ریخته شد و بلافاصله آبیاری انجام شد. جهت کنترل حجم آب مورد استفاده برای کرت‌ها از کنتور استفاده گردید. آبیاری تمامی کرت‌های آزمایشی تا مرحله گلدهی (R_1) به‌طور یکسان و همزمان صورت گرفت. پس از اعمال تیمار هگزاکونازول، دور آبیاری بر اساس کاهش رطوبت خاک تنظیم شد، به‌طوری‌که زمان آبیاری تیمارهای شاهد پس از ٤۰ درصد تخلیه رطوبت قابل دسترس و آبیاری کرت‌های دارای تنش کم‌آبی پس از ٦۰ درصد تخلیه رطوبت قابل دسترس صورت

می‌گرفت. تیمار تنش از مرحله گلدهی تا پایان دوره رشد اعمال گردید. برای اندازه‌گیری و سنجش رطوبت خاک از روش انعکاس‌سنجی زمانی (TDR) استفاده شد که برای این منظور لوله‌های مخصوص TDR در عمق توسعه ریشه (٦٠ سانتی‌متر) در کرت‌های تیمار تنش قرار گرفت. حجم آب آبیاری (Vw) بر حسب متر مکعب برای رساندن رطوبت خاک به ظرفیت مزرعه به کمک رابطه ذیل تعیین شد (علیزاده، ۲۰۰۲):

$$Vw= (FC-\theta v) \times D \times A$$

در این رابطه FC درصد رطوبت حجمی خاک در ظرفیت زراعی مزرعه، θv درصد رطوبت حجمی خاک قبل از اعمال آبیاری، D عمق توسعه ریشه بر حسب متر (٠/٦ متر) و A مساحت کرت بر حسب مترمربع بود.

نمونه‌گیری از گیاهان، جهت تجزیه بیوشیمیایی در مرحله غلاف‌بندی (R_3) صورت گرفت، نمونه‌های تر برداشت شده از جوان‌ترین برگ توسعه یافته گیاه، بلافاصله در نیتروژن مایع منجمد شده و تا زمان اندازه‌گیری صفات موردنظر، در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. همچنین میزان عملکرد کوانتومی فتوسیستم II با دستگاه استرس‌متر (PAM-2000, H WalsGmbH, Effeltrich, Germany) در مرحله غلاف‌بندی (R_3) اندازه‌گیری شد.

جهت سنجش غلظت کلروفیل و کاروتنوئید از روش آرنون (١٩٤٩)، آنتوسیانین کریزک و همکاران (١٩٩٣)، پرولین محتوای بافت برگ بیتس و همکاران (١٩٧٣)، گلوکز دوبیوس و همکاران (١٩٥٦)، پروتئین محلول برگ برادفورد (برادفورد، ١٩٧٦)، سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز روش گیانوپولیتیس و رایس (١٩٩٧) و فعالیت آنزیم پراکسیداز از روش قناتی و همکاران (۲۰۰۲) استفاده شد.

تجزیه و تحلیل آماری: برای تجزیه داده‌ها از نرم‌افزار آماری SAS استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها با آزمون کمترین اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح ٥ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات مورد بررسی (جدول ۲) نشان داد که عامل آبیاری اثر معنی‌داری بر تمامی صفات داشت و کاربرد هگزاکونازول نیز بر تمام صفات مورد بررسی به‌جز میزان کاروتنوئید اثر معنی‌داری داشت.

افزایش فعالیّت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در شرایط تنش می‌تواند به‌عنوان شاخصی برای افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن در نظر گرفته شود. در این مطالعه، تنش کم‌آبی سبب افزایش تولید رادیکال‌های آزاد و در نتیجه افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها گردید و با توجه به جدول ٤ میزان فعالیّت آنزیم‌های فوق در رقم کلارک ٦٣ در مقایسه با L17 بیشتر بود. مشابه این نتیجه مبنی‌بر افزایش فعالیّت آنتی‌اکسیدان‌ها در ارقام مختلف پنبه گزارش شده است (راجگورنو و استوارت، ۱۹۹۹). بررسی اثر متقابل سه گانه نشان داد که عکس‌العمل ارقام نسبت به تیمار هگزاکونازول در شرایط آبیاری مطلوب و تنش کم‌آبی متفاوت بود به شکلی که کاربرد هگزاکونازول در شرایط آبیاری مطلوب باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در هر دو رقم مورد بررسی گردید؛ در حالی‌که در شرایط تنش کم‌آبی میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز به‌ترتیب در رقم L17 و کلارک ٦٣ تحت تأثیر هگزاکونازول افزایش معنی‌داری یافت (جدول ٥). تریازول‌ها با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان به‌طور مؤثری باعث جذب رادیکال‌های آزاد شده و به گیاه کمک می‌کنند که در مواجهه با شرایط نامساعد محیطی بهتر عمل کند (کراوس و همکاران، ۱۹۹۵). مصرف تریازول‌ها تحمل به خشکی را از طریق افزایش آنتی‌اکسیدان‌ها در گندم (گیلی و فلچر، ۱۹۹۷)، گوجه‌فرنگی (استیل و پیل، ۲۰۰٤) و تریتیکاله (برووا و زلاتو، ۲۰۰۳) افزایش داد.

کمبود آب با افزایش رادیکال‌های آزاد اکسیژن در کلروپلاست سبب تخریب مولکول کلروفیل و غشای کلروپلاست می‌گردد (وانگ و همکاران، ۲۰۰۳). در این پژوهش نیز تنش کم‌آبی سبب کاهش معنی‌دار محتوای کلروفیل بافت گردید (جدول ٤). در این پژوهش چنین به‌نظر می‌رسد که کاربرد هگزاکونازول با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان از تخریب کلروفیل جلوگیری کرده و به‌طور غیرمستقیم سبب افزایش آن در گیاهان تنش دیده گردید در حالی‌که در گیاهانی که تحت تنش نبودند، اثر معنی‌داری بر این صفت نداشت (جدول ۳). افزایش هورمون سیتوکینین نیز سبب افزایش سنتز کلروفیل می‌گردد (فلچر و همکاران، a ۲۰۰۰) و در همین راستا آیزومی و همکاران (۱۹۸۸) گزارش کردند که کاربرد تریازول‌ها باعث افزایش هورمون سیتوکینین در گیاهان تیمار شده گردید.

جدول ۲- تجزیه واریانس میانگین صفات مورد مطالعه

منابع تغییر	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	آنتوسیانین	کاروتنوئید	پرولین
تکرار	۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۹۸	۰/۰۵۶	۲/۱۶	۰/۰۰۰۰۳	٤/۸٦
رقم	۱	۰/٦٥۲ **	۰/۰۰۰٤٦	۱/۳٤۱ **	۳٥۳/۸۲ **	۰/۰۰۰۰۱	٤۱۹/۱۰ **
هگزاکونازول	۱	۰/۰٦۹ *	۰/۰۰۳٥۳ *	۰/۰٤۹ *	۲۰٥/٤۰ **	۰/۰۰۰۱۲	٤۰٥/٦۰ **
آبیاری	۱	۰/۳۳۲ **	۰/۱۱۱۳۷ **	۰/٤٤۹ **	۳۲٦/۹۰ **	۰/۰۰۰٦۲ *	۹۹٦/۸۱ **
رقم × هگزاکونازول	۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۷۳۸ **	۰/۰٦٦	٤/٦٦	۰/۰۰۰۰۰۰۱	۰/۲۷
رقم × آبیاری	۱	۰/۰۷۳ *	۰/۰٤٥۸۸ **	۰/۱۳٥	۸۲/٥٦ **	۰/۰۰۰۰۰۳	۱۲/۷۰
هگزاکونازول × آبیاری	۱	۰/۱۷۲ **	۰/۰۲۱۰۲ **	۰/۱۷۱ *	۱۳۳/۳۷ **	۰/۰۰۰۰۰۰۱ **	۱٦۷/۷۹
رقم × هگزاکونازول× آبیاری	۱	۰/۰۰٥	۰/۰۰۸۳۸ **	۰/۰۱۳	۲٥/۱٦ **	۰/۰۰۰۰۰٤	۱۰/۲۳
خطای آزمایشی	۱٤	۰/۰۱۳	۰/۰۰۰٦٥	۰/۰٦۸	۲/٤۰	۰/۰۰۰۰۹۳	٦/۱۸
ضریب تغییرات (درصد)		۷/۹۲	٥/۳۹	۱۳/٦٤	٤/۳۸	۱٥/۳٥	۹/۳۲

منابع تغییر	درجه آزادی	پروتئین	گلوکز	Fv/Fm	سوپراکسید دیسموتاز	پراکسیداز	عملکرد دانه
تکرار	۲	۰/۰۰٥	۳۸٥٦/٦۲	۰/۰۰۰۰۸۱	۰/۰۳	۰/۰۰۸	۸۸۹/۲
رقم	۱	۰/۰۱۱ **	۷۹۷۷٦۰۷/۰٤ **	۰/۰۰٦٦۰۰ **	۱۰/۱٦ **	۲/۷۰ **	۲۹۱٥٦/۲
هگزاکونازول	۱	۰/۱۲٤ **	۲۷۹۹٦۱۷/۰٤ **	۰/۰۰۱۹۳٦ **	۲/۲۳ **	۱/٦۷ **	۱۷٥۹٤۲٥/٥ **
آبیاری	۱	۰/۲۷۰ **	۳۰۷٦٦٥۲/۰٤ **	۰/۰۱۷٦۰٤ **	۱٥/۰٥ **	۱۳/٥۰ **	۳٤٦٥٤۷۰/۸ **
رقم × هگزاکونازول	۱	۰/۰۰۲	۱٦۲۹۱٦۷/۰٤ **	۰/۰۰۰۰۰۹	۰/٤۸ **	۱/٦۷ **	٦۸۸۱۹/۲ *
رقم × آبیاری	۱	۰/۰۰۱	۱٦۱۷۲/۰٤	۰/۰۰۰۷٤۱	۲/۲٥ **	۰/۰٤۹ *	۱۱٤۳۷۸/٥ **
هگزاکونازول × آبیاری	۱	۰/۰٤۳ **	٥٦۹٤۹۲/۰٤ **	۰/۰۰۳۹۲۷ **	۰/۰٤ *	۰/۱۹٦ **	۱٥٤۲۷/٥
رقم × هگزاکونازول × آبیاری	۱	۰/۰۰۳	۷۰٤۸٦٥/۳۷ **	۰/۰۰۰۰۰۰۰۱	۰/٦۸ **	۰/۰۹٥ **	۱۱۲۲۷۰/۳ **
خطای آزمایشی	۱٤	۰/۰۰۱	۱۲۲۰٥/۹۱	۰/۰۰۰۲۰۹	۰/۰۰۸	۰/۰۱۰	۹۱۱٥/۸
ضریب تغییرات (درصد)		۲/٤۳	٥/٤٦	۲/۸٥	٥/۲٤	۷/۳۱	۱۰/۳٥

بدون علامت و علامت‌های ** و * به‌ترتیب به مفهوم عدم وجود و وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد و ۵ درصد می‌باشند.

افزایش میزان رنگدانه‌های محافظ مثل آنتوسیانین و کاروتنوئید در شرایط تنش می‌تواند سبب حفاظت از کلروفیل گردد. مقدار آنتوسیانین تحت تأثیر اثر رقم × هگزاکونازول × آبیاری قرار گرفت ($P\leq$۰/۰۱) (جدول ۲). در شرایط آبیاری مطلوب، کاربرد هگزاکونازول در رقم L17 سبب افزایش معنی‌دار غلظت آنتوسیانین بافت گردید در حالی‌که رقم کلارک ٦۳ عکس‌العمل چندانی نسبت به این ترکیب نداشت. اما در شرایط تنش کم‌آبی، کاربرد این ترکیب در هر دو رقم مورد بررسی سبب افزایش معنی‌دار آنتوسیانین گردید (جدول ۵). تجمع آنتوسیانین در شرایط تنش سبب جذب انرژی اضافی گردیده و باعث کاهش آسیب به گیاه می‌شود. ترکیب هگزاکونازول نیز با افزایش آنتوسیانین در

شرایط تنش توانست سبب کاهش اثرات مخرب تنش بر گیاهان شود. افزایش میزان آنتوسیانین در اثر کاربرد تریازول‌ها توسط سایر پژوهش‌گران نیز گزارش شده است (رونچی و همکاران، ۱۹۹۷).

کاروتنوئید تنها تحت تأثیر عامل آبیاری قرار گرفت (جدول ۲) و مقدار آن در اثر تنش کاهش معنی‌داری یافت (جدول ٤). ثابت شده است که کاروتنوئیدها سیستم جمع‌کننده نور دستگاه فتوسنتزی را از اثرات مخرب رادیکال‌های آزاد اکسیژن حفظ می‌کنند به‌این شکل که رادیکال‌های آزاد را غیر فعال کرده یا با آن‌ها اکسید می‌شوند. بنابراین کاروتنوئیدها سبب حفظ کلروفیل در شرایط تنش می‌شوند و چنین به‌نظر می‌رسد که در این آزمایش کاهش مقدار کاروتنوئید در شرایط تنش کم‌آبی بر کاهش مقدار کلروفیل مؤثر بوده است.

وقوع تنش خشکی سبب افزایش معنی‌دار غلظت پرولین بافت گردید (جدول ٤). افزایش پرولین محلول به‌عنوان یک نشانه برای سازگاری و افزایش تحمل گیاهان به شرایط نامساعد است. افزایش پرولین منجر به حفظ تورم و کاهش خسارت غشاء در گیاهان می‌شود به‌این ترتیب با روش تنظیم اسمزی تحمل به تنش کم آبی افزایش می‌یابد. بررسی کاربرد هگزاکونازول در شرایط تنش کم‌آبی نشان داد که کاربرد این ترکیب در شرایط تنش سبب کاهش (۳۳/۸۲ درصد) معنی‌دار این صفت گردید (جدول ۳). چنین به‌نظر می‌رسد که کاهش میزان پرولین در گیاهان تیمار شده با هگزاکونازول در شرایط تنش کم‌آبی، در اثر افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها و کاهش خسارت رادیکال‌های آزاد به پروتئین‌ها باشد. همچنین ممکن است هگزاکونازول سبب افزایش محتوای آبی گیاه گردیده و در نتیجه تجمع پرولین به‌عنوان یک عکس‌العمل به این حالت کاهش یافته است (جعفری و همکاران، ۲۰۰٦). کاهش میزان پرولین در اثر کاربرد تریازول‌ها در شرایط تنش توسط سایر پژوهش‌گران نیز گزارش شده است (جعفری و همکاران، ۲۰۰٦؛ حجتی، ۲۰۱۰).

وقوع تنش کم‌آبی سبب کاهش معنی‌دار میزان پروتئین محلول برگ گردید (جدول ٤) و کاربرد هگزاکونازول در هر دو تیمار آبی سبب افزایش معنی‌دار این صفت شد (جدول ۳). احتمالاً در این آزمایش هگزاکونازول از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان توانسته از کاهش میزان پروتئین محلول برگ در شرایط تنش جلوگیری کند. همچنین در شرایط کم‌آبی، علاوه‌بر فتوسنتز جاری گیاه، انتقال آسیمیلات‌ها به بخش‌های مختلف از جمله گره‌های تثبیت کننده نیتروژن، تحت تأثیر قرار گرفته و در نتیجه میزان تثبیت نیتروژن کاهش می‌یابد. چنین به‌نظر می‌رسد که تریازول‌ها از طریق افزایش میزان فتوسنتز جاری گیاه و همچنین افزایش انتقال فرآورده‌های فتوسنتزی به ریشه (ژانگ و همکاران، ۲۰۰٦) سبب بهبود تثبیت نیتروژن در گیاه شده و در نتیجه باعث افزایش میزان پروتئین محلول برگ می‌شوند.

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات محتوای کلروفیل a، b، کل، پرولین و پروتئین تحت تأثیر اثر متقابل هگزاکونازول × آبیاری.

آبیاری	آبیاری مطلوب (I_1)			تنش کم‌آبی (I_2)		
غلظت هگزاکونازول	صفر میلی‌گرم/ لیتر (H_1)	۳۵ میلی‌گرم/ لیتر (H_2)	LSD	صفر میلی‌گرم/ لیتر (H_1)	۳۵ میلی‌گرم/ لیتر (H_2)	LSD
کلروفیل a (mg/g FW)	۱/۶۰۳^{a}	۱/۵۸۰^{a}	۰/۱۹	۱/۲۰۸^{b}	۱/۴۸۰^{a}	۰/۰۹۹
کلروفیل b (mg/g FW)	۰/۵۵۹^{a}	۰/۵۵۱^{a}	۰/۰۱۵	۰/۳۶۳^{b}	۰/۴۴۷^{a}	۰/۰۳
کلروفیل کل (mg/g FW)	۲/۱۶۲^{a}	۲/۱۳۱^{a}	۰/۱۳۱	۱/۵۷۱^{b}	۱/۹۲۷^{a}	۰/۲۹۲
پروتئین (mg/g FW)	۲/۵۳^{b}	۲/۵۹^{a}	۰/۰۴۵	۲/۲۳^{b}	۲/۴۶^{a}	۰/۰۴۱
پرولین (mg/g FW)	۲۱/۷۷^{a}	۱۸/۸۴^{b}	۲/۷۲	۳۹/۷۶^{a}	۲۶/۲۵^{b}	۴/۱۸
Fv/Fm	۰/۵۳^{a}	۰/۵۳^{a}	۰/۰۲	۰/۴۵^{b}	۰/۵۰^{a}	۰/۰۲

واحد کلروفیل، پرولین و پروتئین محلول برگ: میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر. واحد قندهای محلول: میکروگرم بر گرم بافت تازه. واحد فعالیت آنزیمی: میلی‌گرم بر گرم پروتئین وزن تر بر حسب تغییرات جذب در دقیقه. واحد آنتوسیانین: ماکرو مول بر سانتی‌متر.
حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD بین میانگین‌هاست.

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های اثرات اصلی هر یک از تیمارهای رقم، هگزاکونازول و آبیاری بر صفات فیزیولوژیک سویا.

اثرات اصلی	سطح	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	آنتوسیانین	کارتنوئید	پرولین
رقم	L17	۱/۲۹	۰/۴۶۹^{a}	۱/۷۵^{b}	۳۱/۴۸^{b}	۰/۰۶۳^{a}	۲۲/۴۸^{b}
	کلارک ۶۳	۱/۶۲^{a}	۰/۴۷۷^{a}	۲/۰۹^{a}	۳۹/۱۶^{a}	۰/۰۶۲^{a}	۳۰/۸۳^{a}
هگزاکونازول	صفر میلی‌گرم/ لیتر (H_1)	۱/۴۱^{b}	۰/۴۶^{b}	۱/۸۷^{b}	۳۲/۳۹^{b}	۰/۰۶۰^{a}	۳۰/۷۷^{a}
	۳۵ میلی‌گرم/ لیتر (H_2)	۱/۵۱^{a}	۰/۴۸^{a}	۱/۹۹^{a}	۳۸/۲۴^{a}	۰/۰۶۵^{a}	۲۲/۵۴^{b}
آبیاری	آبیاری مطلوب	۱/۵۸^{a}	۰/۵۴^{a}	۲/۱۲^{a}	۳۱/۶۳^{b}	۰/۰۶۸^{a}	۲۰/۳۱^{b}
	تنش کم‌آبی	۱/۳۴^{b}	۰/۴۰^{b}	۱/۷۴^{b}	۳۹/۰۱^{a}	۰/۰۵۷^{b}	۳۳/۰۰^{a}
	LSD	۰/۱۰۱	۰/۰۲۲	۰/۰۸۸	۱/۳۵	۰/۰۰۸	۲/۱۷

اثرات اصلی	سطح	پروتئین	گلوکز	Fv/Fm	سوپراکسید دیسموتاز	پراکسیداز	عملکرد دانه
رقم	L17	۲/۴۸^{a}	۶۹۴۲/۳۳^{b}	۰/۴۹^{b}	۳/۳۵^{b}	۳/۹۸^{b}	۲۸۱۲/۰۸^{a}
	کلارک ۶۳	۲/۴۳^{b}	۸۰۹۵/۴۲^{a}	۰/۵۲^{a}	۴/۶۵^{a}	۴/۶۵^{a}	۲۸۸۱/۷۹^{a}
هگزاکونازول	صفر میلی‌گرم/ لیتر (H_1)	۲/۳۸^{b}	۷۸۶۰/۴۲^{a}	۰/۴۹^{b}	۳/۷۰^{b}	۴/۰۵^{b}	۲۵۷۶/۱۸^{b}
	۳۵ میلی‌گرم/ لیتر (H_2)	۲/۵۳^{a}	۷۱۷۷/۳۳^{b}	۰/۵۱^{a}	۴/۳۱^{a}	۴/۵۸^{a}	۳۱۱۷/۶۹^{a}
آبیاری	آبیاری مطلوب	۲/۵۶^{a}	۷۱۶۰/۸۳^{b}	۰/۵۳^{a}	۳/۲۱^{b}	۳/۵۷^{b}	۳۲۲۶/۹۳^{a}
	تنش کم‌آبی	۲/۳۵^{b}	۷۸۷۶/۹۲^{a}	۰/۴۷^{b}	۴/۷۹^{a}	۵/۰۷^{a}	۲۴۶۶/۹۴^{b}
	LSD	۰/۰۳۰	۹۶/۷۳	۰/۰۱۲	۰/۰۷۸	۰/۰۸۷	۸۳/۶

واحد کلروفیل، پرولین و پروتئین محلول برگ: میلی‌گرم بر گرم وزن تر. واحد قندهای محلول: میکروگرم بر گرم بافت تازه. واحد فعالیت آنزیمی: میلی‌گرم بر گرم پروتئین وزن تر بر حسب تغییرات جذب در دقیقه. واحد آنتوسیانین: ماکرو مول بر سانتی‌متر.
حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD بین میانگین‌هاست.

یکی از راهبردهای تحمل تنش در گیاه حفظ فشار تورگر توسط تجمع اسمولیت‌ها می‌باشد (جونز و همکاران، ۱۹۸۱) که به واسطه حفظ آماس در برگ‌های تحت تنش، از دهیدراسیون پروتئین‌ها و غشاهای سلولی جلوگیری می‌کنند (کرو و همکاران، ۱۹۹۰). همچنین تجمع کربوهیدرات‌های محلول در برگ در شرایط خشکی معرف عدم انتقال آن‌ها به مقصدهای فیزیولوژیک به واسطه پایین بودن ظرفیت مقصد (دانه) و یا نیاز به کربوهیدرات‌های محلول در تنظیم اسمزی برگ است. از طرفی پژوهش‌گران بیان کردند که تجمع قندها در برگ‌های منبع به‌صورت پس خور از فتوسنتز جلوگیری می‌کند (گلداشمیت و هیوبر، ۱۹۹۲). در این پژوهش کاربرد هگزاکونازول در شرایط تنش سبب کاهش معنی‌دار غلظت گلوکز در رقم کلارک ٦٣ گردید در حالی‌که رقم L17 واکنشی نسبت به کاربرد این ترکیب نداشت (جدول ۵). با توجه به نتایج به‌دست آمده، به‌نظر می‌رسد که تیمار هگزاکونازول در شرایط تنش، نقش حفاظتی داشته و مانع ایجاد شرایط سخت برای گیاه می‌گردد. بنابراین نیاز به تجمع قندها در گروه تیمارشده با این ترکیب وجود ندارد. ضمن این‌که تریازول‌ها با ممانعت از تجمع قندها در برگ، باعث افزایش فتوسنتز گیاه در شرایط تنش می‌شوند. کاهش میزان کربوهیدرات‌های محلول در اثر کاربرد هگزاکونازول می‌تواند دلیلی بر افزایش انتقال آسیمیلات‌ها به مخازن باشد. همچنین به احتمال زیاد تریازول‌ها با کاهش میزان جیبرلیک اسید (فلچر و همکاران، ۲۰۰۰a) اثر بازدارنده بر فعالیت آلفا آمیلاز داشته و باعث کاهش میزان قندهای احیا شونده در گیاهان شده‌اند (جلیل و همکاران، ۲۰۰٦).

ترکیب هگزاکونازول در شرایط تنش باعث افزایش (۱۱/۱۱ درصد) نسبت Fv/Fm گردید در حالی‌که در شرایط آبیاری مطلوب اثر معنی‌داری بر این نسبت نداشت (جدول ۳). در شرایط تنش فتوسیستم II به شدت تحت تأثیر قرار می‌گیرد. تریازول‌ها با کاهش اثرات مخرب تنش اکسیداتیو ناشی از کمبود آب و بهبود محتوای آبی گیاه باعث کاهش خسارت به فتوسیستم II می‌گردند. ژانگ و همکاران (۲۰۰٦) نیز گزارش کردند که کاربرد تریازول‌ها در شرایط تنش در گیاه سویا منجربه افزایش نسبت Fv/Fm گردید.

جدول ۵- مقایسه میانگین غلظت گلوکز، آنتوسیانین، سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز و عملکرد دانه تحت تأثیر اثر متقابل رقم × هگزاکونازول × آبیاری

آبیاری	رقم	**غلظت** هگزاکونازول	گلوکز	آنتوسیانین	سوپراکسید دیسموتاز	پراکسیداز	عملکرد دانه
آبیاری مطلوب (I1)	L17 (V_1)	صفر میلی‌گرم/ لیتر(H_1)	٦٦٥٦/٦٧^{c}	٢٧/٥٩^{c}	١/٩٣^{d}	٣/١٢^{c}	٣٠٣٠/٥٥^{b}
		٣٥ میلی‌گرم/ لیتر(H_2)	٦٤٦٠/٠٠^{c}	٣١/٦٩^{b}	٢/٥٨^{c}	٣/٤٣^{b}	٢٩٣٢/٥٠^{b}
	کلارک ٦٣ (V_2)	صفر میلی‌گرم/ لیتر(H_1)	٠٠٨٠٤٠^{a}	٣٢/٧٣^{ab}	٣/٧٩^{b}	٣/٣٠^{bc}	٣٤٩١/٦٧^{a}
		٣٥ میلی‌گرم/ لیتر(H_2)	٧٤٨٦/٦٧^{b}	٣٤/٤٩^{a}	٤/٥٤^{a}	٤/٤١^{a}	٣٤٥٣/٠٠^{a}
	LSD		٢٤٩/٤٣	٢/٠١	٠/١٨٢	٠/٢١٨	١٨١/٩٥
تنش کم‌آبی (I2)	L17 (V_1)	صفر میلی‌گرم/ لیتر(H_1)	٧٣٩٠/٠٠^{bc}	٢٨/٦٣^{c}	٣/٨٨^{b}	٤/٨٤^{b}	٢٠٤٥/٠٠^{c}
		٣٥ میلی‌گرم/ لیتر(H_2)	٧٢٦٢/٦٧^{c}	٣٨/٠٠^{b}	٥/٠٢^{a}	٤/٧٣^{c}	٢٣٩٦/٦٧^{b}
	کلارک ٦٣ (V_2)	صفر میلی‌گرم/ لیتر(H_1)	٩٣٥٥/٠٠^{a}	٣٨/٨٥^{b}	٥/١٩^{a}	٤/٩٥^{b}	٢٧٨١/١١^{a}
		٣٥ میلی‌گرم/ لیتر(H_2)	٧٥٠٠/٠٠^{b}	٥٠/٥٥^{a}	٥/١٠^{a}	٥/٩٥^{a}	٢٧٤٥/٠٠^{a}
	LSD		٢٠٧/٩١	٣/٨١	٠/١٧٢	٠/٢٠١	٢٢٢/٨٦

واحد غلظت گلوکز: میکروگرم در گرم بافت تازه، آنتوسیانین: ماکرو مول بر سانتی‌متر، واحد فعالیت آنزیمی: میلی‌گرم بر گرم پروتئین وزن تر بر حسب تغییرات جذب در دقیقه.

حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD بین میانگین‌هاست.

در این آزمایش، طبق نتایج ارائه شده در جدول ٤ تنش کم‌آبی منجربه کاهش معنی‌دار عملکرد گردید. در این رابطه شو و همکاران (۱۹۹۱) اظهار کردند که وقوع تنش خشکی از طریق کاهش میزان فتوسنتز گیاه، پتانسیل آب برگ و میزان انتقال مواد فتوسنتزی عملکرد دانه سویا را کاهش می‌دهد. کاهش عملکرد سویا در اثر کم‌آبیاری در پژوهش‌های متعددی گزارش شده است (شو و همکاران، ۱۹۹۱؛ ویرا و همکاران، ۱۹۹۲). در گیاهان علائم بروز تنش‌های اکسیداتیو شامل کاهش پروتئین‌ها، کاهش محتوای کلروفیل و نفوذپذیری غشا هستند که منجر به کاهش فتوسنتز و در نتیجه کاهش رشد و عملکرد گیاه می‌شود (تامسون و همکاران، ۱۹۸۷). در این پژوهش نیز بروز تنش اکسیداتیو ناشی از کم‌آبی سبب کاهش میزان کلروفیل، پروتئین محلول برگ و نسبت Fv/Fm گردید و از این طریق فتوسنتز گیاه را به شدت تحت تأثیر قرار داده و منجر به کاهش عملکرد دانه گردید (جدول ٤). در شرایط آبیاری مطلوب کاربرد هگزاکونازول عملکرد دانه را در هر دو رقم L17 (۱۵/۲۱ درصد) و کلارک ٦٣ (۱۷/۷٤ درصد) افزایش داد. اما در شرایط تنش، میزان افزایش عملکرد ناشی از

هگزاکونازول در رقم L17 (۳۵/۹۹ درصد) نسبت به کلارک ٦٣ (١٤/٥٣ درصد) بیشتر بود. در مورد تأثیر هگزاکونازول بر عملکرد دانه چنین به‌نظر می‌رسد که کاربرد این ترکیب ضمن افزایش تحمل ارقام به تنش، توانست از اثرات مخرب تنش بر میزان کلروفیل و پروتئین محلول برگ بکاهد و از طریق افزایش این صفات باعث بهبود فتوسنتز گیاه گردد. همچنین با کاهش تجمع قندهای محلول و افزایش انتقال آسیمیلات‌ها به مخازن (ژانگ و همکاران، ٢٠٠٦) سبب افزایش عملکرد گیاه گردید. سایر پژوهش‌گران نظرات مشابهی را در این مورد بیان کردند (چن و همکاران، ۲۰۰۰؛ کیو و همکاران، ۲۰۰۵). همچنین این پژوهش‌گران بهبود عملکرد دانه ناشی از تریازول‌ها را عمدتاً ناشی از افزایش انتقال آسیمیلات‌ها به غلاف و دانه‌ها بیان کردند.

نتیجه‌گیری

هگزاکونازول با اثر بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان می‌تواند اثرات مضر ناشی از تنش کم‌آبی را کاهش دهد و با بهبود فتوسنتز گیاه سبب افزایش رشد و عملکرد دانه گردد. از بین دو رقم مورد بررسی رقم کلارک ٦٣ نسبت به رقم L17 تحمل بیشتری به تنش داشت و همچنین کاربرد هگزاکونازول سبب افزایش تحمل هر دو رقم به شرایط کم‌آبی گردید اما رقم L17 عکس‌العمل مطلوب‌تری به این ترکیب داشت.

منابع

1.Alizadeh, A. 2002. Public Irrigation. M.J.D.P. 368 p. (In Persian)
2.Anderson, J.V., Hess, J.L., and Cheione, B.J. 1990. Purification, characterization, and immunological properties for two isoforms of glutathione reductase from eastern white pine needles. Plant Physiol. 94: 1402-1409.
3.Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphennoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiol. 24(1): 1-150.
4.Bates, L.S., Waldern, R.P., and Teave, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. J. Plant Soil. 39: 205-207.
5.Berova, M., and Zelatev, Z. 2003. Physiological response of paclobutrazol-treated triticale plants to water stress. J. Biol. Plantarum. 46: 133-136.
6.Bradford, M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Anal. Biochem.72: 248-254.
7.Chen, DQ., Li, YN., and Pen, CL. 2000. The effect of S3307 on growth characteristics and yield of soybean. J. Hubei Agri. College. 20: 108–14.

8.Crow, J.H., Carpenter, J.F. Crowe, L.M., and Anchrology, T.J. 1990. Are freezing and dehydration similar stress and vectors? A comparison of modes of interaction of stability solutes with in biomolecules. Biol. 27: 219-231.
9.Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Rebers, P.A., and Smith, F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Anal Chem. 28: 350-356
10.Fletcher, R., and Hofstra, G. 1988. Triazoles as potential plant protectants. In: Berg. M Plempel. Eds. Sterol Synthesis Inhibitors in Plant Protection. Cambridge. Ellis. Horwood. Ltd, 321-331.
11.Fletcher, R.A., Sankhla, G.N., and Davis, T. 2000 a. Triazoles as plant growth regulators and stress protectants. Hort. Rev. 24: 55-122.
12.Fletcher, R.A., Sopher, C.R., and Vettekkorumakan kav, N. 2000 b. Modulation of gibberellins protects plants from environmental stresses. Indian J. Plant Physiol. 5: 115-126.
13.Ghanati, F., Morita, A., and Yokota, H. 2002. Induction of suberin and increase of liginin content by exess Boron in Tabacco cell. Soil Sci. Plant Nutr. 48: 3: 357-364.
14.Giannopolitis, C., and Ries, S. 1997. Superoxid desmutase. I.Occurence in higher plant. Plant Physiol. 59: 309-314.
15.Gilley, A., and Fletcher, R.A. 1997. Relative efficacy of paclobtrazol, propinozole and tetraconazole as stress protectants in wheat seedlings. Plant Growth Regul. 21: 169-175.
16.Golodschmidt, E.E., and Huber, S.C. 1992. Regulation of photosynthesis by endproduct accumulation in leaves of plants storing starch, Sucrose, and hexose sugars. J. Plant Physiol. 99: 1443-1448.
17.Gressel, J., and Galun, E. 1994. Genetic controls of photooxidant tolerance. In: C.H. Foyer and P.M. Mulli-neaux, Eds. Causes of Photooxidative Stress and Amelioration of Defense Systems in Plants. Boca Raton, FL: CRC Press: 237-73.
18.Heath, R.L. 1987. The biochemistry of ozone attack on the plasma membrane of plant cells. Adv Phyto-Chem. 21: 29-54.
19.Hojati, M. 2010. Study of Hexaconazole (HEX) and Propiconazole (PRO) effects on increasing resistance to water deficit stress in German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). MSc Thesis. Tarbiat Modares University. Tehran, Iran. (In Persian)
20.Izumi, K., Kakagawa, S., Kobayashi, M., Oshio, H., Sakurai, A., and Takahashi, N. 1988. Levels of I.A.A, cytokinins, A.B.A. and Ethylene in rice plants as affected by gibberelin biosynthesis inhibitor, uniconazole-p. Plant Cell Physiol. 29(1): 97-104.
21.Jafari, S.R., Manouchehri Kalantari, Kh., and Turkzadeh, M. 2006. The evaluation of paclobutrazol effects on increase cold hardiness in tomato

seedlings (*Lycopersicum esculentum* L.). Iranian J. Biol. 19(3): 290-298. (In Persian)
22. Jaleel, C.A., Gopi, R., Alagu Lakshmanan, G.M., and Panneerselvam, R. 2006. Triadimefon induced changes in the antioxidant metabolism and ajmalicine production in *Catharanthus roseus* (L.). Plant Sci. 171: 271–276.
23. Jiang, H., and Frey, J. 1998. Drought responses of perennial ryegrass treated with growth regulators. Hort. Sci. 33:270-273.
24. Jones, M.M., Turner, N.C., and Osmond, C.B. 1981. Mechanisms of drought resistance. P. 15-35. *In* Paleg, L.G., and D. Aspinal. (ed.) The physiology and biochemistry of drought resistance in plants. Academic Press. Sydney.
25. Kraus, T., and Fletcher, R. 1994. Paclobutrazol protects wheat seedlings from heat and paraquat injury. Is detoxification of active oxygen involved? Plant Cell Physiol. 35:45-52.
26. Kraus, T.E., McKersie, B.D., and Fletcher, R.A. 1995. Paclobutrazol-induced tolerance of wheat leaves to paraquat may involve increased antioxidant enzyme activity. J. Plant Physiol. 145:570-576.
27. Krizek, D.T., Kramer, G.F., Upadhyaya, A., and Mirecki, R.M. 1993. UV-B Response of cucumber seedling grown under metal halid and high pressure sodium/deluxe lamps. Physiol. Plantarum. 88:350-358.
28. Leul, M., and Zhou, W.J. 1998. Alleviation of water logging damage in winter rape by application of Uniconazole: Effects on morphological characteristics, hormones and photosynthesis. Field Crops Res. 59:121-127.
29. Mackay, C., Hall, J., Hofstra, G., and Fletcher, R. 1990. Uniconazole induced changes in abscisic acid, total amino acids and proline in *Phaseolus vulgaris*. Pestic, Biochem, Physiol. 37:74-82.
30. Marshall, J.G., Rutledge, R.G., Blumwald, E., and Dumbroff, E.D. 2000. Reduction in turgid water in jack pine, white spruce and black spruce in response to drought and paclobutrazol. Tree Physiol. 20: 701-707.
31. Qiu, J., Wang, R.M., Yan, J.Z., and Hu, J. 2005. Seed film coating with uniconazole improves rape seedling growth in relation to physiological changes under waterlogging stress. Plant Growth Regul. 47:75-81.
32. Rademacher, W. 1995. Growth retardants: biochemical features and applications in horticulture. Acta Hort. 394:57-73.
33. Rajguru, S.N., and Stewart, J.McD. 1999. Vectoring of a bioactive peptide for cotton transformation. Proc. Beltwide Cotton Conf., National Cotton Council, Mem-phis, TN. 598p.
34. Ronchi, A., Farina, G., Gozzo, F., and Tonelli, C. 1997. Effects of triazolic fungicide on maize plant metabolism: modifications of transcript abundance in resistance-related pathways. Plant Sci. 130:51-62.

35.Ruiz, J.M., Sanchez, E., García, P.C., Lopez-Lefebre, L.R., Rivero, R.M., and Romero, L. 2002. Proline metabolism and NAD kinas activity in green bean plants subjected to coldshock. Phytochem. 59:473-478.
36.Shou, HX., Zhu, DH., Chen, CX., Zhu, WY., and Zhu, SL. 1991. The initial study of responses and physiological indexes for drought resistance in eight soybean varieties under drought condition. Acta Agri. Zhejiangensis. 6: 278–281.
37.Still, J.R., and Pill, W.G. 2004. Growth and stress tolerance of tomato seedlings (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in response to seed treatment with paclobutrazol. J. Hort. Sci. Biot. 79: 197 203.
38.Tompson, J.E., Ledge, R.L., and Barber, R.F. 1987. The role of free radicals in senescence and wounding. New Phytol. 105: 317-344.
39.Vieira, R.D., Tekrony, D.M., and Egli, D.B. 1992. Effect of drought and defoliation stress in the field on soybean seed germination and vigor. Crop Sci. 32: 471-475.
40.Wang, W., Vinocur, B., and Altman, A. 2003. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. Planta. 218:1-14.
41.Weijun, Z., and Melakeselam, L. 1999. Uniconazole-induced tolerance of rape plants to heat stress in relation to changes in hormonal levels, enzyme activities and lipid peroxidation. Plant Growth Regul. 27(2): 99-104.
42.Zhang, M., Duan, L., Tian, X., He, Z., Li, J., Wang, B., and Li, Z. 2006. Uniconazole-induced tolerance of soybean to water deficit stress in relation to changes in photosynthesis, hormones and antioxidant system. J. Plant physiol. 164: 709-717.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
J. of Plant Prod. Res. Vol. 21 (1), 2014
http://jopp.gau.ac.ir

Evaluation of Hexaconazole effects on some physiological indices to water deficit stress tolerance in two soybean cultivars

M. Pourdehghan[1], *S.A.M. Modarres-Sanavy[2], F. Ghanati[3] and S. Karami[1]

[1]M.Sc. Student, Dept. of Agronomy, Tarbiat Modares University,
[2]Professor, Dept. of Agronomy, Tarbiat Modares University,
[3]Associate Prof., Dept. of Plant Science, Tarbiat Modares University
Received: 2012-10-17 ; Accepted: 2014-3-11

Abstract

In order to investigate the effect of Hexaconazole (HEX) on the increasing tolerance to water deficit stress of two soybean (*Glycine max* L.) cultivars, an experiment was conducted in Faculty of Agricultural of Tarbiat Modares University as factorial experiment in randomized complete blocks design arrangement. Factors in this study were included soybean cultivars (L17 and Clark63), HEX concentration (0 and 35 mg/L) and water deficit stress levels (optimum irrigation and water deficit stress on 40% Fc). HEX treatment was applied as soil application method at flowering stage and after HEX application the plants were subjected to water deficit stress. Results showed that water deficit stress significantly enhanced proline content, glucose, anthocyanine, superoxide dismutase and proxidase activity but reduced chlorophyll a, b, total, carotenoid and soluble protein. Clark63 was more tolerant than L17. The results indicated that HEX treatment increased the chlorophyll content under water deficit stress condition. Under water deficit condition, HEX treatment relieving effects of stress that proline and glucose in response to HEX decreased. Under optimal irrigation, the proxidase and superoxide dismutase activity increased in both cultivars by HEX application but under water deficit condition the superoxide dismutase and peroxidase activities increased by HEX application in L17 and clark 63 respectively.

Keywords: Water deficit stress, Hexaconazole, Soybean, Antioxidants

*Corresponding author: modaresa@modares.ac.ir