تأثیر کلرو کولین کلراید (CCC) و زمان محلول‌پاشی بر عملکرد، صفات فیزیولوژیک و فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت ذرت (*Zea mays* cv. Sc 704) در شرایط تنش خشکی

محمدنبی ایلکایی[1]، داود حبیبی[1]، فرزاد پاک‌نژاد[1]، ناصر خدابنده[1]، مسعود علی اکبر بوجار[2] و فاطمه صدیقی[3]

چکیده

هدف از انجام این تحقیق بررسی تأثیر کلروکولین کلراید (CCC) و زمان محلول‌پاشی آن بر صفات فیزیولوژیک و فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی اکسیدانت در گیاه ذرت رقم ۷۰۴ تحت شرایط تنش خشکی بوده است. این پژوهش در سال ۱۳۸۵ به صورت آزمایش کرت‌های دو بار خرد شده (اسپلیت اسپلیت پلات) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج (ماهدشت) انجام گرفت. تیمارهای آبیاری نرمال و تنش (قطع آبیاری پس از گرده‌افشانی) به کرت‌های اصلی و تیمار محلول‌پاشی با دو غلظت (CCC) صفر و ۱/۵ لیتر در هکتار به کرت‌های فرعی و زمان محلول‌پاشی در دو مرحله ۶ برگی و ۱۵ روز بعد از آن، به کرت‌های فرعی فرعی تعلق گرفت. نتایج نشان داد که تاثیر تنش خشکی بر پایداری غشای سیتوپلاسمی، فعالیت‌های آنزیم گلوتاتیون پر اکسیداز و آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز در سطح احتمال ۱٪ و هم‌چنین بر عملکرد دانه و فعالیت آنزیم کاتالاز در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود. مصرف CCC با غلظت ۱/۵ لیتر در هکتار بر عملکرد و محتوای رطوبت نسبی در سطح احتمال ۵٪ و بر فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. میزان محتوای رطوبت نسبی برگ برای تیمار CCC (۶۵/۵٪) نسبت به شاهد (۶۰/۶٪)، تفاوت معنی‌داری را نشان داد. عملکرد دانه (۱۰/۷ تن در هکتار) در تیمار CCC نسبت به شاهد (۹/۱ تن در هکتار) اختلاف معنی‌داری داشت. هم‌چنین میزان فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز در تیمار CCC (۱۷۴۰/۵ میلی‌گرم در پیکومول) نسبت به تیمار شاهد (۸۸۸/۱ میلی‌گرم در پیکومول) تفاوت معنی‌داری داشت.

واژه‌های کلیدی: کلروکولین کلراید، زمان محلول‌پاشی، تنش خشکی، آنزیم‌های آنتی اکسیدانت.

تاریخ دریافت مقاله: ۸۸/۶/۲۰ تاریخ پذیرش: ۸۹/۲/۱۳

۱- اعضای هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

۲- عضو هیأت علمی دانشگاه تربیت معلم

۳- کارشناس ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

مقدمه و بررسی منابع

تنش نتیجه روند غیر عادی فرآیندهای فیزیولوژیکی است که از تأثیر یک یا ترکیبی از عوامل زیستی و محیطی حاصل می‌شود. تنش دارای توان آسیب رسانی می‌باشد که در نتیجه آن متابولیسم غیر عادی در گیاه رخ می‌دهد و ممکن است به صورت افت رشد، مرگ گیاه و یا مرگ بخشی از گیاه بروز کند (Kafi and Damghani, 2002). طبق اظهارات قربانی قوجدی و لادن مقدم (Gorbani Ghojdi and Ladan Moghadam, 2005) تنش‌های محیطی در مزرعه عمدتاً به صورت کمبود عواملی نظیر آب، مواد غذایی و حرارت ظاهر می‌شوند. برخی از گیاهان دارای مکانیسم‌های تحمل در برابر تنش خشکی می‌باشند که با بروز تنش خشکی از میزان شدت خسارت به گیاه می‌کاهند (Kafi and Damghani, 2002). طبق گزارش بولر و همکاران (Bowler *et al*., 1994) تنش خشکی باعث افزایش میزان تولید رادیکال‌های فعال اکسیژن می‌شود که این مواد لیپیدها و پروتئین‌های غشای سلولی را اکسید کرده و در پی آن موجب آسیب‌دیدگی غشای سلولی شده که سرانجام، نشت شیره سلولی اتفاق می‌افتد. برای رهایی و پاک‌سازی سلول از ترکیبات فعال اکسیژن و آسیب‌های حاصل از رادیکال‌های آزاد، سیستم‌های تکامل یافته متفاوتی وجود دارند که موجب خروج، از بین رفتن یا محدودیت تولید رادیکال آزاد در سلول می‌شوند (Gorbani ghojdi and Ladan Moghadam, 2005). یکی از سیستم‌های دفاعی گیاه در برابر تنش خشکی، دفاع از طریق فعالیت آنتی اکسیدانت و به دنبال آن، از بین رفتن رادیکال‌های آزاد می‌باشد. آنزیم‌های حفاظتی در برابر رادیکال آزاد شامل سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، گلوتاتیون پراکسیداز (GPX) و کاتالاز (CAT) می‌باشند (Sami, 1993 ; Kavarinejad and Najafi, 2000).

کلرمکوات کلراید با فرمول شیمیایی ۲- کلرواتیل، تری متیل آمونیوم کلراید یکی از مشتقات کولین بوده و از واکنش یک آلیفاتیک هالید به نام ۱و۲- دی کلرواتان با تری متیل آمین در دمای ۸۰-۹۰ درجه سلسیوس در شرایط کنترل شده تولید می‌گردد. این ماده به فرم جامد کریستال و قابل حل در آب می‌باشد (Hejazi and Kafashi Sedghi, 2001). به‌طور کلی میزان واکنش بوته‌های تیمار شده توسط مواد کندکننده رشد، تحت تأثیر عواملی چون نحوه مصرف (از طریق محلول‌پاشی بر روی خاک، آغشتن با بذر و محلول‌پاشی بر روی بخش هوایی)، و زمان مصرف (بر اساس مراحل مختلف رشد گیاه) متفاوت می‌باشد. ما و اسمیت (Ma and Smith, 1992) دریافتند که میزان جذب کلرمکوات کلراید پس از محلول‌پاشی بر روی بخش هوایی گیاه، در برگ‌های جوان بیش از برگ‌های پیر می‌باشد. هم‌چنین اثرات مفید تیمار محلول‌پاشی CCC در گندم تحت تنش خشکی توسط به اثبات رسیده است (Emam and Cartwright, 1990).

مطالعات کارت رایت و ودینگتون (Cartwright and Waddington, 1982) نشان داده است که محلول‌پاشی CCC در شرایط تنش با کاهش تعرق در غلات، باعث افزایش میزان تحمل گیاه در برابر اثرات مضر خشکی می‌گردد. تیمار CCC با ایجاد افزایش توان حفظ رطوبت نسبی در گیاه، کندکننده‌های در شرایط خشکی، میزان تحمل گیاه را نسبت به آسیب تنش می‌افزاید (Hejazi and Kafashi Sedghi, 2001). افزایش تراکم بوته در واحد سطح موجب افزایش رقابت رویشی در بوته‌ها شده و در نتیجه با کاهش نسبت ریشه به شاخه، حساسیت گیاه را در برابر تحمل به تنش خشکی، افزایش می‌دهد (Cakir, 2004). بنابراین تیمار کندکننده‌های رشد در مراحل مناسبی از رشد گیاه در ایجاد تعادل رشد ریشه و شاخساره نقش مهمی بازی می‌کند (Aktin and Sada, 1994 ; Emam and Cartwright, 1990).

در این پژوهش، اثر کندکننده رشد کلرمکوات بر صفات فیزیولوژیکی چون محتوای نسبی آب برگ، میزان فعالیت‌های برخی از آنتی اکسیدانت مهم درون سلولی در گیاه تحت شرایط تنش خشکی طی دو مرحله مختلف از رشد سریع رویشی در گیاه، مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در بهار سال ۱۳۸۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج با عرض شمالی ٤٨ درجه و طول شرقی ٥٩ و ارتفاع ۱۳۱۳ متر بالاتر از سطح دریا، انجام گرفت. میانگین سالیانه بارندگی در منطقه ٢٥٦ میلی‌متر، بافت خاک از نوع شنی لومی و میزان اسیدیته خاک برابر با ۷/۸ محاسبه شد. آزمایش به صورت کرت‌های دو بار خرد شده (اسپلیت اسپلیت پلات) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار اجرا شد. به

ترتیب اهمیت، تیمار آبیاری در دو سطح نرمال (I1) و تنش خشکی (I2) به کرت‌های اصلی و تیمار محلول‌پاشی کلرمکوات کلراید با دو سطح صفر (C1) و ۱/۵ لیتر در هکتار (C2) به کرت فرعی و زمان محلول‌پاشی در ۲ مرحله ٦ برگی (شروع رشد طولی ساقه) (T1) و ۱۵ روز بعد از آن (T2) به کرت‌های فرعی فرعی، تعلق گرفتند. هر کرت به ابعاد ۳ × ۷ متر مربع با چهار خط کاشت، فاصله ردیف ٦۰ سانتی‌متر و فاصله بین گیاهان۱۰ سانتی‌متر (با تراکم ۱۰ بوته در واحد سطح)، از طریق تنک دستی تنظیم شد. تیمار تنش خشکی از طریق قطع کامل آبیاری پس از مرحله گرده افشانی اعمال شد.

صفات مورد اندازه‌گیری

عملکرد دانه

در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی، بلال های یک متر مربع از هر کرت با در نظر گرفتن اثر حاشیه جهت تعیین عملکرد دانه برداشت شد.

پایداری غشای سیتوپلاسمی

جهت اندازه‌گیری میزان پایداری غشای سیتوپلاسمی، محلول مانیتول با پتانسیل اسمزی حدود ۲- بار در لوله آزمایش تهیه شده و به هر یک ۱۵ عدد دیسک برگی به قطر ۲ سانتی‌متر وارد کرده و پس از ٢٤ ساعت توسط دستگاه EC متر، میزان هدایت الکتریکی محلول، در دمای ۲۵ درجه سلسیوس اندازه‌گیری شد (Khavarinejad and Nagafi, 2000).

محتوای رطوبت نسبی

برای اندازه‌گیری محتوای نسبی برگ، از هر کرت آزمایشی تعدادی برگ کاملاً سبز انتخاب و توزین شد (به عنوان وزن تر برگ). برگ‌ها به مدت ٢٤ ساعت به حالت اشباع قرار گرفته و سپس به مدت ٤٨ ساعت در آون تنظیم شده با دمای ۷۰ درجه سلسیوس نگهداری شد. به ترتیب هر مرحله وزن تورژسانس و وزن خشک نمونه‌ها اندازه‌گیری شدند. سپس با استفاده از فرمول ذیل درصد رطوبت نسبی برگ محاسبه شد (Ardakani and Nadvar, 2010).

۱۰۰ *(وزن خشک)- (وزن توژسانس)/ (وزن خشک)- (وزن تر)= RWC ٪

اندازه‌گیری آنزیم‌های آنتی اکسیدانت:

سوپر اکسید دیسموتاز[1]: (SOD)

جهت اندازه‌گیری فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز، در هنگام صبح (قبل از گرم شدن هوا) ۳ عدد برگ از هر واحد آزمایشی، برداشت شده و در درون کیسه پلاستیکی فوراً به آزمایشگاه منتقل شد. در آزمایشگاه ابتدا محلول بافر تریس (حاوی فسفات، دی سدیک با اسیدیته ۷) به همراه ۱/۳ میلی مول EDTA و ۰/۱ میلی مول کربنات مونو سدیک تهیه شده هم‌چنین از ماده اپی نفرین با غلظت ۰/۲۵ میلی مول به عنوان سوبسترا استفاده شد. سپس محلول تهیه شده قبلی را به آن اضافه کرده، به دنبال آن توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر ویژه تغییرات جذب نوری حاصل از اکسیداسیون اپی نفرین به عنوان ارزیابی فعالیت آنزیمی بررسی شد. لازم به ذکر است که از آنزیم استاندارد خالص (با واحد اکسیداسیون ۰/۵ میلی مول اپی نفرین در یک دقیقه) جهت کالیبره نمودن روند فعالیت آنزیمی استفاده شد (Malan *et al*., 1990).

گلوتاتیون پر اکسیداز: (GPX)

برای محاسبه فعالیت آنزیمی گلوتاتیون پرکسیداز، نمونه برگ‌ها در آزمایشگاه با آب مقطر شسته شده و بلافاصله در بافر تریس ۰/۱٦ مولار با PH= ۵/۷ خرد و یکنواخت شدند. سپس در حضور حجم مشابه از همان بافر حاوی دیجیتونین[2] (آنزیم هضم کننده دیوار) فرایند هضم غشا و دیواره سلول انجام شد. در پایان مقدار ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول مذکور برای سنجش پروتئین برداشت شد و مقدار پروتئین آن بر حسب میلی‌گرم بر میلی‌لیتر تعیین شد. سپس در باقی‌مانده محلول استخراجی مقدار آنزیم گلوتاتیون اندازه‌گیری شد (Beyer and Fridovich, 1991) عصاره استخراجی به محلول بافر حاوی فسفات منو پتاسیک ۰/٥٦ مول (PH=۷/۵)، همراه ۱/۲ میلی‌مول EDTA و یک میلی‌مول NaNO3 و ۰/۲ میلی‌مول NADPH وارد شد. سپس به آن ۰/۲ میلی‌لیتر گلوتاتیون احیا به همراه ۰/۱ میلی‌مول، آب اکسیژنه اضافه شد. بلافاصله میزان اکسیداسیون NADPH، از طریق تعیین مقدار تغییر جذب در ۳٤۰ نانومتر در دمای ۳۰ درجه سلسیوس توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر (مدل100Z-U-Shimadzu-U) اندازه‌گیری شد (Karin and Kolarov, 1987).

1. Super oxide dismutase
2. Digit nine

هم‌زمان یک محلول بلانک حاوی تمام مواد فوق بدون حضور عصاره استخراجی برای تصحیح و حذف خطاهای احتمالی مورد استفاده قرار گرفت. یک واحد از فعالیت آنزیم گلوتاتیون پر اکسیداز معادل مقدار آنزیمی است که بتواند یک میکرومول از سوبسترای NADPH را در یک دقیقه کاتالیز کند. جهت استانداردسازی، از نمونه آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز خالص استفاده شد (Paleg and Aspinall, 1981).

کاتالاز: (CAT)

جهت اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز، نمونه برگ ها پس از شستشو با آب مقطر بلافاصله در محلول بافر فسفات– تریس ۰/۱٦ مول (pH=۷/۵) وارد و خرد و هموژنه شد. سپس حجم مشابه بافر حاوی دیجیتونین (آنزیم هضم کننده دیواره) اضافه شد تا فرایند هضم غشاء و دیواره سلولی صورت گیرد. سپس میزان ۰/۵ میلی‌لیتر محلول یکنواخت برای سنجش پروتئین برداشته و مقدار پروتئین آن بر حسب میلی‌گرم بر لیتر تعیین شد. در باقی‌مانده محلول استخراجی فوق مقدار هر یک از آنزیم‌ها به روش خاصی تعیین شد. در این روش شدت حذف آب اکسیژنه به عنوان سوبسترا ارزیابی شد. بافر زمینه حاوی ۰/۱۷ میلی‌مول فسفات دی سدیک (pH=۵/۷) همراه با ۰/۱۵ مول EDTA، ۰/۱۱ میلی‌مول کلرید منیزیم بود. واحد فعالیت آنزیم کاتالاز، معادل نسبت تبدیل آب اکسیژنه در مدت ۱ دقیقه، به هنگام پیشرفت واکنش درجه اول، در نظر گرفته شد (Malan *et al*., 1990).

تجزیه واریانس داده‌های جمع‌آوری شده توسط برنامه آماری SAS و مقایسه میانگین داده‌ها نیز به روش دانکن صورت گرفت، هم‌چنین نمودارها نیز توسط برنامه Excel رسم شد.

نتایج و بحث

گلوتاتیون پر اکسیداز

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای آبیاری اثر معنی‌داری را در سطح احتمال ۱٪ بر فعالیت آنزیم گلوتاتیون پر اکسیداز داشت (جدول ۱). با توجه به جدول ۲ غلظت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز در شرایط اعمال تنش افزایش یافته است. افزایش فعالیت آنزیمی احتمالاً در ارتباط با سیستم دفاعی گیاه برای مقابله با رادیکال های آزاد اکسیژن می‌باشد (Sami, 1993). مصرف CCC نیز باعث افزایش معنی‌داری (در سطح ۱٪) بر فعالیت این آنزیم شده است (جدول ۱). مصرف CCC باعث افزایش غلظت GPX در گیاه شد (جدول۲). زمان محلول‌پاشی CCC تفاوت معنی‌داری را بر غلظت این آنزیم نشان نداد. مطابق نتایج اثرات متقابل، بیشترین میزان فعالیت آنزیمی در گیاهانی بود که تحت شرایط تنش خشکی، با مصرف CCC و در مرحله دوم محلول‌پاشی قرار داشتند (شکل ۱).

آنزیم کاتالاز

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) غلظت آنزیم در تیمارهای مختلف آبیاری در سطح ۱٪ معنی‌دار شد، به نحوی که اعمال تنش باعث افزایش غلظت این آنزیم در گیاه گردید (جدول ۲). به عبارت دیگر گیاه به منظور تجزیه پراکسید هیدروژن و افزایش تحمل گیاه در مقابل رادیکال‌های فعال اکسیژن، بایستی غلظت این آنزیم را در شرایط تنش افزایش می‌داد. آنزیم کاتالاز به عنوان یک آنزیم محافظتی در سیستم دفاع آنتی اکسیدانت باعث تجزیه پراکسید هیدروژن می‌شود. افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز در شرایط تنش به عنوان مکانیزم سیستم دفاعی، شناخته شده است (Laurer, 2003). هم‌چنین محلول‌پاشی CCC باعث افزایش معنی‌دار (در سطح ۱٪) در فعالیت کاتالاز گردید (جدول ۲). مطابق نتایج اثر بر همکنش تیمارها، بالاترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در تیمار CCC و در مرحله دوم محلول‌پاشی مشاهده شد (شکل ۲). این نتایج با گزارشات مالان و همکاران (Malan *et al.*, 1990) مطابقت داشت.

سوپراکسید دیسموتاز (SOD)

مطابق نتایج، میزان فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز در تیمار های مختلف آبیاری، تفاوت معنی‌داری را (در سطح احتمال ۱٪) نشان داد (جدول ۱)، به طوری‌که میزان غلظت این آنزیم در زمان تنش خشکی افزایش یافت. آنزیم SOD به عنوان آنتی اکسیدانت نقش مهمی در تبدیل رادیکال‌های آزاد اکسیژن به پراکسید هیدروژن بر عهده دارد و به این دلیل میزان فعالیت آنزیم به همراه بروز تنش در گیاه، افزایش می‌یابد (Sami, 1993). مصرف CCC و زمان محلول‌پاشی آن باعث افزایش معنی‌داری فعالیت آنزیم SOD (در سطح احتمال ۱٪) شدند (جدول۲). اثر متقابل تیمارها (جدول ۲)، بالاترین

جدول ۱- تجزیه واریانس تیمارهای مختلف برای صفات مورد اندازه‌گیری

Table l. Analysis variance of different treatments for the measured traits.

میانگین مربعات (MS)

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	هدایت الکتریکی EC	محتوای رطوبت نسبی RWC	عملکرد دانه Grain yield	کاتالاز CAT	سوپر اکسید دیسموتاز SOD
تکرار Replication	3	5936.6	76.3	42.3	236.7	8444.3
تیمار آبیاری(A) Irrigation treatment	1	841362.**	55.1	195.8*	11565.3*	8472786.1**
خطا Error	3	4911.1	135.1	18.1	826.7	12492.5
تیمار کلرمکوات(B) CCC treatment	1	355.7	195.2*	21.8*	108188.8**	5812345.1**
AB	1	2977.4	260.6*	0.9	4087.2*	4145760.1**
خطا Error	6	4577.9	30.2	2.5	445.8	5223.6
زمان مصرف کلرمکوات (C) Foliar time of CCC	1	209	216.3	2.1	475.3	1016025.1**
AC	1	7723.6	47.8	6.5	158.8	1157481.1**
BC	1	798.2	13.2	10	0.2	2379471.1**
ABC	1	3864.7	78	7.6	4732.9*	3225840.1
خطا Error	12	2758.7	69.5	8	624.1	17269.9
ضریب تغییرات (درصد) C.V.		10.77	13.22	28.46	25.92	10

ns ؛ * ؛ **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ ٪

Ns, **, *: Non significant and significant at the 5 and 1 % levels of probability, respectively.

میزان فعالیت آنزیم SOD در تیمار CCC و در مرحله دوم محلول‌پاشی حاصل شد. در حقیقت طبق گزارش برخی محققین تیمار CCC در مرحله مناسبی از رشد گیاه با کاهش مؤثر در میزان هورمون جیبرالین موجب کندی رشد بخش هوایی می‌شود (Ma and Smith, 1992). کاهش رشد بخش هوایی گیاه با اختصاص مواد غذایی بیشتر به ریشه، و هم‌چنین با فراهم سازی شرایط مناسب جهت افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت در شرایط تنش خشکی، باعث افزایش میزان تحمل گیاه در شرایط تنش می‌شود (Paleg and Aspinall, 1981) که این نتایج با نتایج جونگ و رادماچر (Jung and Rademacher, 1983) مطابقت دارد. یکی از اثرهای مفید تیمار CCC، افزایش تراکم بافت گیاه و تغلیظ شیره سلولی می‌باشد که این شرایط می‌تواند با افزایش تحمل در برابر تنش خشکی ارتباط داشته باشد (Jung and Rademacher, 1983).

جدول ۲- مقایسه میانگین تیمارهای آزمایش به روش آزمون دانکن

Table 2. Mean comparison of the traits using Duncan test

تیمار Treatment	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس) EC (ds)	درصد محتوای رطوبت نسبی RWC%	عملکرد دانه Grain yield (Ton/ha)	کاتالاز CAT (mg.pm)	سوپراکسید دیسموتاز SOD (mg.pm)	گلوتاتیون پراکسیداز GPO
آبیاری Irrigation						
(طبیعی) Non stress	247.8 b	64.3 a	12.4 a	77.3 b	799.7 b	7.6 b
(تنش خشکی) Stress	727.6 a	61.7 a	7.4 b	115.3 a	1828.8 a	12.7 a
غلظت Concentration						
0 lit/ha	491 a	60.6 b	9.1 b	77.9 b	1888.1 b	8.5 b
1.5 lit/ha	484.3 a	65.5 a	10.7 a	114.7 a	1740.5 a	11.8 a
زمان محلول‌پاشی Foliar time						
6 leafy stage	490.2 a	60.4 a	10.2 a	92.5 a	1136.1 b	10.2 a
After 15 days	485.1 a	65.4 a	9.6 a	100.1 a	1492.5 a	10.1 a

تیمارهای دارای یک حروف مشترک، تفاوت معنی‌داری ندارند.

Treatments with the same letters don't show significant differences.

عملکرد دانه

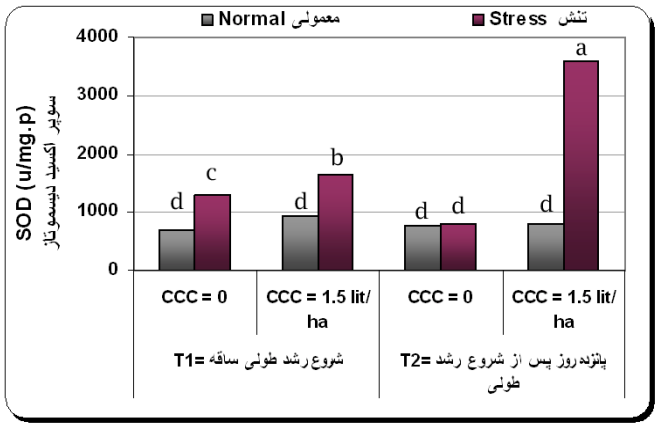
میانگین صفت عملکرد دانه در سطوح مختلف آبیاری تفاوت معنی‌داری را (در سطح ۵٪) نشان داد (جدول ۱). تیمار CCC باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه (۱۰/۷ تن در هکتار) نسبت به تیمار شاهد (۹/۱ تن در هکتار) (در سطح احتمال ۵٪) گردید(جدول ۲). این نتایج با گزارش الحکیمی و همکاران (Alhakimi *et al*., 1995) در گندم مطابقت داشت. این محققین دلیل اصلی بهبود شرایط تحمل به خشکی را در ارتباط با افزایش غلظت شیره سلولی در گیاه و افزایش نسبت ریشه به بخش هوایی و جذب مؤثرتر آب و مواد غذایی دانسته‌اند. بهبود شرایط حفظ رطوبت نسبی در بافت به مکانیسم تحمل در برابر رادیکال‌های آزاد سمی در سلول بر اساس افزایش فعالیت آنتی اکسیدانت کمک می‌کند (Bowler *et al*., 1994).

پایداری غشای سیتوپلاسمی

هدایت الکتریکی بافت گیاه در شرایط تنش افزایش یافت که نشانگر ناپایداری غشای سیتوپلاسمی در زمان تنش و در نتیجه افزایش میزات نشت مواد درون سلولی بیشتر و افزایش میزان هدایت الکتریکی می‌باشد (جدول ۱). تنش خشکی با افزایش میزان خسارت بر غشای سلولی موجب افزایش میزان نشت سلولی و افزایش میزان املاح در محلول می‌شود که اندازه‌گیری میزان هدایت الکتریکی بافت میزان پایداری غشای سیتوپلاسمی را نشان می‌دهد. ارقام مقاوم به تنش خشکی در هنگام بروز تنش با هدایت الکتریکی کمتری نسبت به ارقام حساس همراه می‌باشند (Ritchie *et al*, 1990). بنابر گزارش برخی محققین مانند لاورر (Laurer, 2003) تیمار CCC با افزایش تراکم بافت گیاه و افزایش غلظت شیره سلولی در پایداری غشای سلولی و حفظ مکانیسم‌های پاک‌سازی رادیکال‌های آزاد موثر می‌باشد.

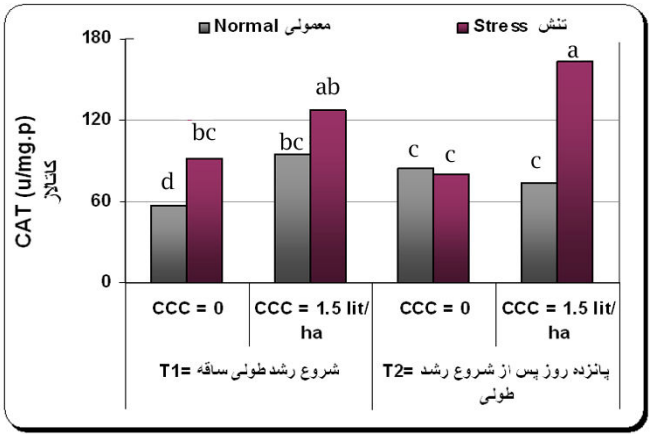
محتوی نسبی آب (RWC)

تیمار CCC باعث افزایش معنی‌دار محتوای آب نسبی (در سطح ۵٪) گردید (جدول ۲). اثر متقابل آبیاری و تیمار CCC نیز (در سطح ۵ درصد) معنی‌دار بود. تیمار محلول‌پاشی ۱/۵ لیتر در هکتار CCC باعث تغییرات معنی‌دار در کاهش میزان RWC نسبت به تیمار شاهد گردید (جدول ۲). تیمار CCC با افزایش میزان تراکم بافت سلولی باعث افزایش غلظت شیره سلولی شده و از این طریق بر تحمل گیاه در برابر از دست دادن آب بافت در شرایط خشکی، می‌افزاید (Kafi and Damgani, 2001).



شکل ۱- اثر متقابل غلظت CCC و زمان محلول‌پاشی بر فعالیت آنزیم SOD

Fig 1. Interaction effects of CCC concentrations and the spraying time on the SOD enzyme activity



شکل ۲- تأثیر متقابل غلظت CCC و زمان محلول‌پاشی بر فعالیت آنزیم CAT

Fig 2. Interaction effects of CCC concentration and the spraying time on the CAT enzyme activity

منابع

Ardakani MR, Nadvar R (2010) Principles and techniques for plant and scientist (translated). Tehran University. 502 pp. [In Persian with English Abstract].

Hejazi A, Kafashi sedghi M (2001) Application of plant growth regulators. Mashhad University Publication. 345 pp. [In Persian with English Abstract].

Kafi M, Damgani AM (2001) Mechanisms of plants resistant to environmental stresses. Publication of Ferdowsi University, Mashhad. 472 pp.

Khavarinejad R, Nagafi F (2000) Applicatory plant physiology. Tarbiat Moallem University, Tehran. 342 pp.

Ghorbani Ghojdi H, Ladan Moghadam A. (2006) Introduction to oxidative stresses and plant strains. Davvabin, Tehran.128 pp.

Aktin A, Sada B (1994) Effects of different Cycocel application dates, and different plant densities on grain yield, yield component, crude protein and some morphological characters of maize (*Zea mays* L.) hybrids TTm-813. Doga, Turk-Tarin- ve-Ormancilish 17: 1097-1111.

Alhakimi A, Monneveux P, Galiba G (1995) Soluble sugars, praline and relative water content (RWC) as trait for improving drought tolerance and divergent selection for RWC from *Triticum polonicum* into *Triticum durum.* Journal of Genetic and Breeding 49: 237-244.

Andrade FH, Echarte L, Rizzalli R, Della Maggiora A, Casanovas M (2002) Kernel number prediction in maize under nitrogen and water stress. Crop Science 42: 1173-1179.

Beyer W, Imlay J, Fridovich M (1991) Superoxide Dismutase Prog. Nucl. Acid Research 40: 221-253.

Bowler C, Van Camp W, Van Montagu M, Inze D (1994) Superoxide dismutase and stress tolerance. Annual Review of Plant Physiology, Plant Molecular Biology 43: 83- 116.

Cakir R (2004) Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. Field Crop Research 86: 95-113.

Cartwright PM, Waddington SR (1982) Growth regulators and grain yield in spring cereals. BPGRG: 61- 70.

Christophe B, Audigier C, Ladonne F, Wagner MH, Coste F, Corbineau F, Côme D (2001) Changes in oligosaccharide content and antioxidant enzyme activities in developing bean seeds as related to acquisition of drying tolerance and seed quality. Journal of Experimental Botany 52 (357): 701-708.

Emam Y, Cartwright PM (1990) Effect of drying soil and CCC on root/shoot growth and water use in barley plants In: Davies WJ, Jeff coat B (eds.), importance of root to shoot communication in the response to environmental stress. BSPGR Monograph 21: 389-391.

Jung J and Rademacher W (1983) Plant growth regulating chemicals. In: Nickell, L. G (ed), Cereal Plants. CRC Press. Inc: 254-271.

Laurer, J. 2003. What happens within the corn plant when drought occurs? Wisconsin Crop Manager 22: 153-155.

Ludlow MM, Muchow RC (1990) A critical evaluation of traits for improving crop yield in water limited environments. Advances in Agronomy 43: 633-662.

Malan C, Greyling MM, Gressel J (1990) Correlation between Cu/Zn superoxide dismutase and glutathione reductase and environmental and Xenobiotic stress tolerance in maize inbreeds. Plant Science 69: 157-166.

Ma BL, Smith DL (1992) Chlormequat and ethephon timing and grain production of spring barley. Agronomy Journal 84: 934-939.

Paleg LG, Aspinall D (1981) The physiology and biochemistry of drought resistance. Academic Press. 507 pp.

Ritchie SW, Nguyen HT, Scott AH (1990) Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. Crop Science 30: 105-111.

Rojas GM, Caceres JP (1981) Response of maize cultivars resistant and susceptible to drought following chlormequat application. Annual Report. Division of Agricultural and Marine Sciences. Monterry Institute of Technology, 18.pp.

Sami A (1993) Oxidative stress and antioxidant defenses in biology. Chapman and Hall. 448 pp.