مجله پژوهش‌های تولید گیاهی
جلد بیستم، شماره اول، ۱۳۹۲
http://jopp.gau.ac.ir

بررسی برخی پاسخ‌های فیزیولوژیکی سه نوع چمن در شرایط تنش خشکی

*مریم تاتاری[۱]، رضا فتوحی قزوینی[۲]، نعمت‌اله اعتمادی[۳]، علی‌محمد احدی[۴] و سیداصغر موسوی[۵]

[۱]دانشجوی دکتری، گروه علوم باغبانی، دانشگاه گیلان، [۲]استاد گروه علوم باغبانی، دانشگاه گیلان، [۳]استادیار گروه علوم باغبانی، دانشگاه صنعتی اصفهان، [۴]استادیارگروه ژنتیک، دانشگاه شهرکرد، [۵]استادیار بخش تحقیقات باغبانی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی چهارمحال و بختیاری، شهرکرد

تاریخ دریافت: ۹۱/۳/۱۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۱/۸/۱۳

چکیده

یکی از چالش‌های اصلی در مدیریت چمن، محدودیت منابع آب آبیاری است. از جمله راهکارهای موجود برای رفع این مشکل، گسترش گونه‌های مقاوم به خشکی است. در این پژوهش برخی از پاسخ‌های فیزیولوژیکی چمن‌های آگروپایرون دزرتوروم، پوآ پراتنسیس رقم "باریمپالا" و بروموس اینرمیس در شرایط تنش خشکی مورد مقایسه قرار گرفت. بذرهای چمن در گلدان‌های استوانه ایی و در فضای آزاد کشت شدند. پس از استقرار کامل گیاهان، آبیاری قطع گردید تا بیشتر گیاهان به حدود ۸۰ درصد خشکیدگی برسند. پس از آن دوباره نیمی‌از گلدان‌ها آبیاری شدند. با قطع کامل آبیاری به ترتیب چمن‌های بروموس اینرمیس، پوآ پراتنسیس و آگروپایرون دزرتوروم خشک شدند. درصد خشکیدگی آگروپایرون دزرتوروم و پوآ پراتنسیس پس از آبیاری مجدد کاهش یافته و پس از مدتی مشابه گیاهان شاهد شدند، اما بروموس اینرمیس به خشکیدگی کامل رسید. تنش خشکی کیفیت و میزان کلروفیل برگ را کاهش داد. با طولانی شدن تنش، میزان نشت یونی در بروموس اینرمیس به شدت افزایش پیدا کرد. کمترین نشت یونی در آگروپایرون دزرتوروم دیده شد. با طولانی شدن قطع آبیاری محتوای پرولین در هر سه گونه افزایش یافت. بیشترین تجمع پرولین را آگروپایرون دزرتوروم نشان داد. در آگروپایرون دزرتوروم و پوآ پراتنسیس

*مسئول مکاتبه: mtatari1@yahoo.com

فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز بین گیاهان تحت تنش و گیاهان شاهد تا روز پنجم اختلاف معنی‌داری نداشت. پس از آن افزایش یافته و با طولانی شدن تنش کاهش پیدا کرد. بیشترین فعالیت این آنزیم‌ها را آگروپایرون دزرتوروم نشان داد.

واژه‌های کلیدی: آگروپایرون دزرتوروم، پوآ پراتنسیس، بروموس اینرمیس، کلروفیل، آنتی اکسیدان، پرولین

مقدمه

یکی از ارکان اصلی فضای سبز، گیاهان پوششی می‌باشند و چمن یکی از مهم ترین گیاهان پوششی جهان محسوب می‌شود. چمن بیشترین نقش را در تصفیه وکاهش آلودگی هوا در محیط‌های شهری بر عهده دارد (کافی و کاویانی، ۲۰۰۲). چمن‌ها در کنترل فرسایش بادی و آبی خاک موثرند و سبب جذب گرد و غبار و افزایش اکسیژن هوا می‌گردند. استفاده از چمن در زمین‌های ورزشی کاربرد آنها را افزایش داده است، ولی از همه مهم تر نقش چمن در طراحی و احداث فضای سبز است (کافی و کاویانی، ۲۰۰۲). در هیچ یک از شهرهای بزرگ کشور امکان توسعه فضای سبز در حد استانداردهای مطلوب جهانی به راحتی وجود ندارد، زیرا مشکلات مربوط به مدیریت، نگه‌داری و کمبود شدید منابع آب از جمله عوامل محدود کننده در توسعه فضای سبز است. به دلیل کم آبی‌های اخیر در برخی محافل از حذف چمن از سطوح سبز یاد می‌گردد. این در حالی است که در کشوری مانند ایران که زادگاه چمن و چمن کاری است، می‌توان با رعایت نکات فنی، گزینش گونه‌های مقاوم به خشکی و مدیریت صحیح از نقش این گیاهان سودمند بهره برد (روح‌الهی و همکاران، ۲۰۱۰). به این منظور می‌توان از گونه‌های باریک برگ مقاوم به خشکی که قابلیت استفاده به عنوان چمن مقاوم به خشکی را دارند، استفاده نمود. ازجمله این باریک برگان علف گندمی[1] است. یکی از گونه‌های مقاوم به خشکی علف گندمی، آگروپایرون دزرتوروم است که به عنوان چمنی که نیاز به نگه‌داری و آبیاری کمی دارد، در اقلیم‌های نیمه خشک معتدله کشت می‌شود (کاسکی و همکاران، ۱۹۹۹).

از جمله شاخص‌های فیزیولوژیکی مهم در ارزیابی تنش خشکی، نشت یونی است. افزایش نشت یونی نشان‌دهنده بروز آسیب غشایی است (جیرونگ و همکاران، ۲۰۰۸). تغییر متابولیسم

1- Wheatgrass

آنتی‌اکسیدان‌ها نیز یکی از فرآیندهایی است که روی تحمل به تنش خشکی در باریک برگان چند ساله اثرگذار است (داکوستا و هوانگ، ۲۰۰۷). تنش خشکی تولید گونه‌های فعال اکسیژن[1] شامل سوپراکسید (O_2^-)، اکسیژن منفرد (O_2•)، هیدروکسیل (OH^-) و پراکسید هیدروژن (H_2O_2) را تحریک می‌کند (بییان و جیانگ، ۲۰۰۹). گونه‌های فعال اکسیژن به پروتیین‌ها، لیپیدها، کربوهیدرات‌ها و اسیدهای نوکلییک آسیب می‌رسانند. گیاهان برای از بین بردن و دفع مسمومیت به‌دست‌آمده از گونه‌های فعال اکسیژن سیستم‌های دفاعی آنزیمی و غیرآنزیمی دارند. در سیستم آنزیمی، سوپراکسید دیسموتاز[2]، O_2^- را به H_2O_2 تبدیل می‌کند. کاتالاز[3] نیز از جمله آنزیم‌هایی است که پراکسید هیدروژن را به آب و اکسیژن تبدیل می‌کند (بییان و جیانگ، ۲۰۰۹). طولانی شدن تنش خشکی فعالیت سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز را کاهش داده و پراکسیداسیون چربی‌ها را در برگ‌های سه گونه بنت گراس افزایش داد (داکوستا و هوانگ، ۲۰۰۷). فو و هوآنگ (۲۰۰۱) دریافتند که در برگ‌های کنتاکی بلوگراس[4] و تال فسکیو[5] با طولانی شدن خشکی سطح خاک، فعالیت سوپراکسید دیسموتاز افزایش یافته و فعالیت کاتالاز ثابت ماند. با طولانی شدن دوره تنش و خشکی کامل خاک فعالیت این دو آنزیم کاهش یافت. ایشان گزارش کردند که سطح خود تنظیمی این آنزیم‌ها با افزایش یافتن تنش کاهش می‌یابد. در گندم[6] در اوایل دوره تنش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز افزایش یافته و یا بدون تغییر باقی ماند، ولی در تنش شدیدتر مقدار آن کاهش پیدا کرد (ژانگ و همکاران، ۱۹۹۵). طولانی شدن تنش خشکی فعالیت سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز را در برگ‌های سه گونه بنت گراس کاهش داد (داکوستا و هوانگ، ۲۰۰۷). پرولین یکی از مهم‌ترین محلول‌های سازگار است که علاوه بر تنظیم اسمزی، نقش‌های پیشنهادی دیگری نیز برای آن گزارش شده است. پرولین می‌تواند به‌عنوان یک مولکول تنظیمی برای علامت‌دهی عمل نماید و موجب فعال‌سازی پاسخ‌های متعددی شود. موروت گوادری و همکاران (۲۰۰۱) بیان کردند که نقش پرولین به‌عنوان یک پاک‌سازی‌کننده گونه‌های فعال اکسیژن بسیار با اهمیت‌تر از نقش آن به‌عنوان یک محلول سازگار ساده است.

1- Reactive oxygen species
2- Superoxide dismutase
3- Catalase
4- *Poa pratensis* L.
5- *Festuca arundinacea* Schreb.
6- *Triticum aestivum* L.

با توجه به محدودیت آب در بسیاری از شهرهای ایران و نیاز آبی زیاد چمن، در این پژوهش مقاومت به خشکی آگروپایرون دزرتوروم با چمن پوآ پراتنسیس رقم باریمپالا که از جمله چمن‌های تجاری بوده و بروموس اینرمیس که از آن نیز به عنوان چمن استفاده می‌شود (ریوردون و هورست، ۱۹۹۱) مورد مقایسه قرار گرفته و بعضی از جنبه‌های فیزیولوژیک مقاومت به خشکی این سه نوع چمن بررسی شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش طی سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ در ایستگاه تحقیقاتی سازمان پارک‌ها و فضای سبز شهر اصفهان و دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شد. آزمایش به صورت کرت‌های دوبار خرد شده در زمان و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار (هر تکرار با چهار گلدان) اجرا شد. فاکتور اصلی تنش خشکی، فاکتور فرعی نوع چمن و فاکتور فرعی فرعی زمان اندازه‌گیری صفات بود. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD انجام شد. بذرهای چمن آگروپایرون دزرتوروم، پوآ پراتنسیس رقم 'باریمپالا' و بروموس اینرمیس با استفاده از هیپوکلرید سدیم یک درصد ضدعفونی سطحی شده و بلافاصله با آب مقطر شستشو داده شدند. سپس در گلدان‌های استوانه‌ای به عمق ٦٠ سانتی‌متر و قطر ١٥ سانتی‌متر که با خاک سیلتی- رسی- لوم (١٦/٥ درصد شن، ٤٤ درصد سیلت و ٣٩/٥ درصد رس) پر شده بودند، کشت شده و در شرایط طبیعی رشد یافتند. در طول مدت جوانه‌زنی و استقرار گیاهان، مبارزه با علف‌های هرز و کوددهی با کود کامل کریستالون (٢٠-٢٠-٢٠) به میزان ١٥/٧ گرم در ١٠٠ مترمربع به‌صورت محلول پاشی انجام شد. چمن‌ها به‌صورت هفتگی و از ارتفاع ٤ سانتی‌متر سرزنی شدند. آبیاری به‌طور منظم و تاحدی که آب به آرامی از انتهای زهکش گلدان خارج شود، انجام شد تا از بروز خشکی جلوگیری شود. پس از استقرار کامل گیاهان که دو ماه به طول انجامید، تیمار قطع آبیاری اعمال شد و آبیاری نیمی‌از گلدان‌ها به طور کامل قطع شد. تیمار شاهد نیز بدون اعمال تنش خشکی در نظر گرفته شد. تمامی صفات یک روز قبل از اعمال تنش و نیز در ٥، ١٠، ١٥ و ٢٠ روز بعد از قطع کامل آبیاری مورد ارزیابی قرار گرفت. در آزمایش جداگانه‌ایی به‌منظور تعیین میزان برگشت‌پذیری چمن، آبیاری دوباره نیمی از گلدان‌های تحت تنش در زمانی که درصد خشکیدگی هر یک از گونه‌های چمن به حدود ٨٠ درصد رسید، انجام شد. آبیاری تا زمانی که خشکیدگی گونه‌های چمن، از بین رفته و مشابه گیاهان شاهد شوند، انجام شد. درصد خشکیدگی در

روزهای صفر، ۳، ٦، ۹، ۱۲ و ۱۳ پس از آبیاری مجدد ثبت گردید. منظور از روز صفر وقتی است که گیاهان به حدود ۸۰ درصد خشکیدگی رسیدند. این آزمایش نیز به صورت کرت‌های دوبار خرد شده در زمان و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی به اجرا درآمد. ویژگی‌های رنگ، تراکم و بافت چمن از طریق ارزیابی‌های چشمی و طبق برنامه ملی ارزیابی چمن[1] صورت گرفت. رتبه ۹، چمن با رنگ سبز تیره، تراکم بالا و بافت مطلوب (مشابه گیاهان در حالت طبیعی و بدون تنش) و رتبه ۱ برای چمن‌های کاملاً زرد رنگ و با تراکم پایین و بافت نامطلوب در نظر گرفته شد (برد، ۱۹۷۳). درصد خشکیدگی برگ‌ها به‌صورت مشاهده‌ای بین صفر و ۱۰۰ اندازه گیری شد که در آن صفر نشان دهنده عدم وجود علامت خشکیدگی و ۱۰۰ خشکیدگی کامل در اثر تنش خشکی بود (کیان و همکاران، ۲۰۰۰).

اندازه‌گیری کلروفیل برگ‌ها طبق روش هیسکاکس و ایزرائلزتام (۱۹۷۹) و با اندکی تغییرات انجام شد. استخراج و اندازه‌گیری کلروفیل با خیساندن نمونه تازه درون دی متیل سولفوکسید انجام شد و جذب عصاره در ٦٦۳ و ٦٤٥ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر (T80 UV/Visible) انجام گردید.

به‌منظور تعیین نشت یونی برگ‌ها نمونه‌های برگی همراه با آب مقطر روی شیکر قرار داده شدند و هدایت الکتریکی آن اندازه گیری شد. پس از آن نمونه‌ها در آب جوش قرار داده شدند و پس از سرد شدن، مجددا هدایت الکتریکی آنها اندازه‌گیری شد. میزان هدایت الکتریکی از تقسیم هدایت‌الکتریکی اولیه بر هدایت الکتریکی سلول‌های مرده (Ci/Cmax) محاسبه شد (هیو و همکاران، ۲۰۱۰).

فعالیت آنزیم کاتالاز به روش ائبی (۱۹۸٤) سنجیده شد. ۰/۱ گرم نمونه منجمد در یک میلی‌لیتر بافر سدیم فسفات ۵۰ میلی مولار (pH 7.0) عصاره‌گیری شد. نمونه‌ها به مدت یک ساعت در یخچال با دمای ٤ درجه سانتی گراد قرار گرفتند. همگن به‌دست‌آمده به‌مدت ۱۵ دقیقه با شدت ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ (HERMLE-236HK) شد و از محلول روئی برای سنجش آنزیم کاتالاز استفاده شد. محلول واکنش حاوی بافر فسفات۵۰ میلی مولار (pH 7.0)، H_2O_2 ۱۰ میلی‌مولار و ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی‌بود. تجزیه آب اکسیژنه با کاهش جذب طی مدت ۷۰ ثانیه در طول موج ۲٤۰ نانومتر پیگیری و به ازای هر میلی‌گرم پروتیین در عصاره آنزیمی‌بیان شد.

1- National Turfgrass Evaluation Program

فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز طبق روش جیانوپلیتیس و ریس (۱۹۷۷) سنجیده شد. به این منظور ۰/۵ گرم نمونه منجمد با یک میلی لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی مولاری (pH 7.0) عصاره‌گیری شد. محلول واکنش حاوی ۷۵ میکرومولار نیتروبلو تترازولیوم[1]، ۲ میکرومولار ریبوفلاوین، ۱۳ میلی مولار متیونین، ۰/۱ میلی‌مولار EDTA، بافر فسفات ۵۰ میلی مولاری و ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی‌بود. نمونه‌ها در جعبه‌ایی که در آن دو عدد لامپ فلورسانس نصب شده بود، به مدت ۱۵ دقیقه روی شیکر قرار گرفتند. میزان جذب در طول موج ٥٦٠ اندازه‌گیری شد. بازدارندگی آنزیم سوپراکسید دیسموتاز از احیای نوری نیتروبلو تترازولیوم اساس اندازه گیری این آنزیم است. یک واحد فعالیت آنزیمی‌مقداری از آنزیم است که موجب ۵۰ درصد ممانعت از احیای نیتروبلو تترازولیوم در ٥٦٠ نانومتر می‌شود. میزان فعالیت آنزیم بر حسب یک واحد در دقیقه به ازای میلی‌گرم پروتیین محاسبه گردید.

برای اندازه‌گیری میزان پرولین برگ‌ها از روش بیتس و همکاران (۱۹۷۳) با اندکی تغییرات استفاده شد. به‌این منظور نمونه تازه با استفاده از نیتروژن مایع خرد شده و با سولفوسالیسیلیک اسید ۳ درصد هموژن گردید. مخلوط حاصل در دمای اتاق نگه‌داری شد تا به رنگ زرد متمایل به قهوه‌ایی درآید. پس از گذراندن مخلوط حاصل از کاغذ صافی به آن اسید استیک و معرف اسیدی ناین‌هیدرین[2] اضافه شد و به‌مدت یک ساعت در حمام آب گرم با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. به‌منظور توقف واکنش، لوله‌ها در مخلوط آب و یخ قرار داده شدند و ٤ میلی‌لیتر تولوئن به هر کدام از آنها اضافه گردید. به منظور جداسازی اسیدآمینه پرولین، ورتکس انجام شد. پس از آن فاز قرمز رنگ حاوی اسید آمینه پرولین که به‌صورت جداگانه‌ای در بالا قرار گرفته بود، جدا شده و جذب مایع رنگی حاوی پرولین در طول موج ۵۲۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. در نهایت غلظت واقعی پرولین هر نمونه با استفاده از نمونه‌های استاندارد تهیه شده از پرولین خالص با وزن مولکولی ۱۱۵/۵ محاسبه گردید.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اثر تنش خشکی، نوع چمن و زمان نمونه برداری بر صفات اندازه‌گیری شده (جدول ۱) نشان داد که اثر سه گانه خشکی، نوع چمن و زمان اندازه گیری صفات و اثرات دوگانه

1- Nitro blue tetrazolium
2- Acid- ninhydrin

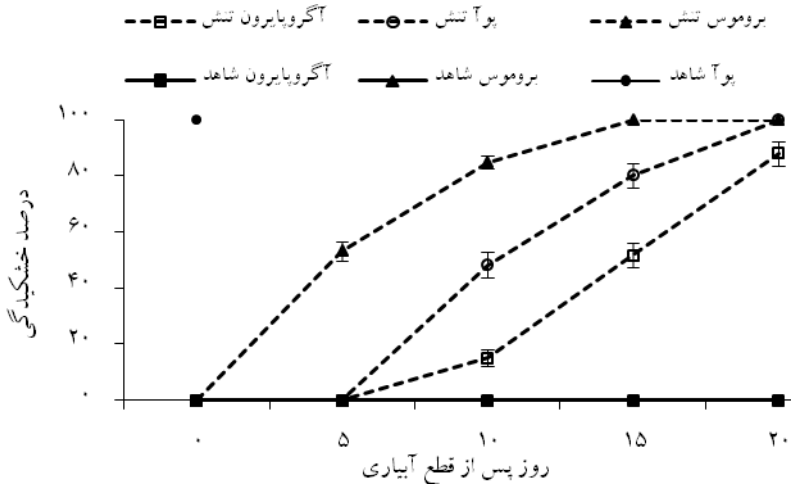
خشکی و زمان اندازه‌گیری صفات و نیز اثر نوع چمن و زمان اندازه‌گیری برای کلیه صفات مورد ارزیابی در سطح یک درصد معنی‌دار بود. اثر خشکی و نوع چمن نیز بر کلیه صفات به غیر از کاتالاز اثر معنی‌داری را نشان داد. اثر ساده خشکی بر درصد خشکیدگی، کیفیت ظاهری، محتوای کلروفیل و پرولین و فعالیت آنزیم کاتالاز در سطح یک درصد و بر فعالیت سوپراکسیددیسموتاز در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. اثر نوع چمن و نیز اثر زمان نمونه‌برداری در تمامی صفات اثر معنی‌داری را در سطح یک درصد نشان داد.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر تنش خشکی و نوع چمن بر صفات اندازه‌گیری شده.

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		درصد خشکیدگی	کیفیت ظاهری	کلروفیل	کاتالاز	سوپراکسید دیسموتاز	پرولین
بلوک	۲	۰/۰٤^{ns}	۰/۱٦^{ns}	۰/۱۰^{ns}	٦٥۳۲/٦۳**	۱۰۹/۸۸^{ns}	۱۰/۲۹^{ns}
خشکی	۱	٥۷٦/۳۳**	۳٤٤/۸٤**	۱۲/۸٥**	۲۰۸٦۱/٤٤**	۱٦۹٤/۸٥*	۳۲٤۲/۰٤**
خطای خشکی	۲	۰/۰۰۱	۰/۰٥	۰/۰٤	٦/۹۰	۳۸/۱۸	٥/۲٥
نوع چمن	۲	۱۸/٦۲**	۲٥/۲۸**	۲/۸۳**	۱۱٥٦۱٥۱/٤۲**	۱۳۰٦۱/۷۷**	۱۹۹۸/۱٥**
خشکی×نوع چمن	۲	۱۸/٦۲**	۱۹/۱۱**	۱/٤۸**	۲۱۸۹۱/٦۱^{ns}	۱۱٤٥/۹۰**	۱٤٦۳/٥۸**
خطای نوع چمن	۸	۰/۰۱	۰/۰۸	۰/۰٤	٥۱۸۹/۸۷	۷۱/٤٥	۳/٦۱
زمان	٤	٦۷/۱۳**	٤٤/٦۸**	۳/٤۲**	۲۱۹۸۲/۸۷**	۱۲٤۸/۳٦**	۳۷٦/٤۹**
زمان× نوع چمن	۸	٤/٤۱**	۲/۱٤**	۰/٦۹**	۲٥۹۲۷/٤٥**	٥٤۷/۸۲**	٤۱۷/۲۱**
زمان×خشکی	٤	٦۷/۱۳**	۳۸/۷٤**	۲/۹۱**	۲۰۹۲٥/۸۸**	۱۲۰٥/٥٤**	۲۳٥/۳۱۱**
زمان× نوع چمن× خشکی	۸	٤/٤۱**	۱/۹۷**	۰/۷۸**	۱۷۷۱۰/۰۳**	٦۰۹/۲۳**	۳٥۳/٤۷**
خطای باقیمانده	٤۸	۰/۰۱	۰/۱۲	۰/۰۱	۲۱۱٥/۲۸	٥۹/۸٥	۳/۳۸
کل	۸۹	–	–	–	–	–	–
C.V (%)		٥/٤٦	٥/٥۳	٤/٦۷	۱۸/٥۰	۱۳/۸٥	۱۷/٦۳

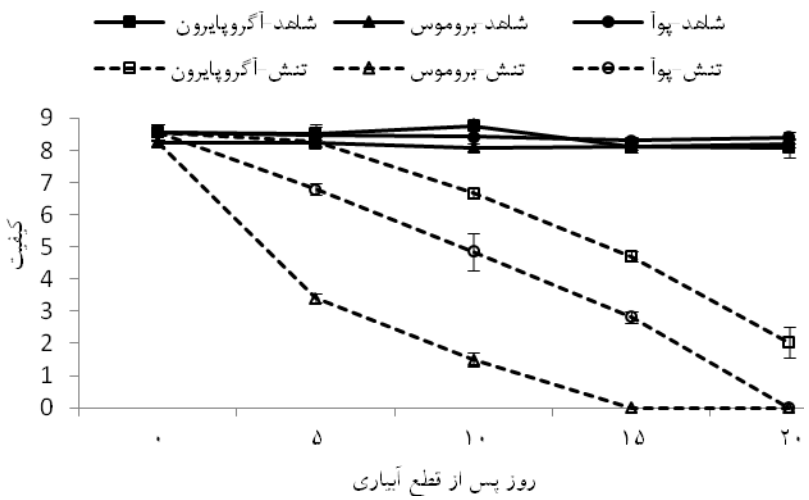
**، * و $^{n.s}$ به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱ درصد، ۵ درصد و عدم وجود اختلاف معنی دار آزمون LSD.

درصد خشکیدگی: نتایج به‌دست‌آمده از اثر تنش خشکی، نوع چمن و زمان نمونه برداری بر درصد خشکیدگی نشان داد که با طولانی تر شدن قطع آبیاری درصد خشکیدگی در هر سه گونه افزایش پیدا کرد. در برموس اینرمیس نسبت به دو گونه دیگر چمن، خشکیدگی با سرعت بیشتری اتفاق افتاد، به طوری که درصد خشکیدگی ۱۰ روز بعد از تنش، به حدود ۸۵ درصد رسید. این گونه گیاهی ۱۵ روز بعد از تنش دچار خشکیدگی کامل شد. پوآ پراتنسیس و آگروپایرون دزرتوروم تا ۵ روز بعد از بودن در معرض تنش خشکی، هیچگونه خشکیدگی را نشان ندادند. پس از آن پوآ پراتنسیس با سرعت بیشتر و آگروپایرون دزرتوروم با سرعت کمتری شروع به خشکیدگی کردند، به‌طوری که ۱۰ روز بعد از اعمال تنش پوآ پراتنسیس و آگروپایرون دزرتوروم به ترتیب حدود ٤٨ و ۱۵ درصد خشکیدگی را نشان دادند. پوآ پراتنسیس ۱۵ روز بعد از قطع آبیاری به حدود ۸۰ درصد خشکیدگی رسید. این در حالی بود که آگروپایرون دزرتوروم پس از گذشت ۲۰ روز از تنش به حدود ۸۸ درصد خشکیدگی رسید (شکل ۱). پوآ پراتنسیس در آخرین نمونه‌برداری به‌طور کامل خشک شد. در پژوهش احمدی و همکاران (۲۰۱۰) نیز آگروپایرون دزرتوروم بعد از سایر گونه‌های چمن مورد بررسی، به خشکیدگی کامل رسید. لیو و همکاران (۲۰۰۸) نیز نشان دادند که پژمردگی برگ با طولانی شدن تیمار هم زمان خشکی و گرما در پنج رقم چمن کنتاکی بلوگراس افزایش یافت. اعتمادی و همکاران (۲۰۰۷) پس از بررسی ۱۵ جمعیت از گیاه چمنی مرغ، گزارش کردند که بین درصد پژمردگی جمعیت‌های مختلف چمن تفاوت معنی‌دار وجود دارد.



شکل ۱- برهمکنش اثر قطع آبیاری، نوع چمن و زمان نمونه برداری بر درصد خشکیدگی.

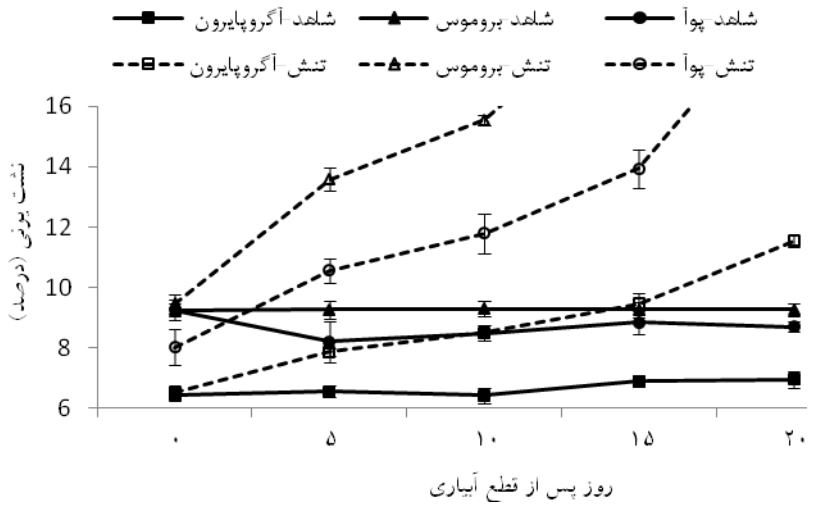
کیفیت چمن: نتایج نشان داد که کیفیت چمن هر سه گونه در گیاهان شاهد تقریبا در یک سطح قرار گرفت. در تیمار قطع آبیاری کیفیت چمن در هر سه گونه کاهش پیدا کرد. کمترین و بیشترین میزان کاهش کیفیت را به ترتیب بروموس اینرمیس و آگروپایرون دزرتوروم به خود اختصاص دادند. در بروموس اینرمیس در ابتدا کیفیت چمن با شیب نسبتاً تندی کاهش یافت. از ۵ تا ۱۰ روز بعد از اعمال تنش کاهش کیفیت با سرعت کمتری نزول پیدا کرد و ۱۰ روز بعد از تنش مقیاس کیفیت چمن به ۱/۵ رسید. در پوآ پراتنسیس کیفیت چمن در تمامی نمونه برداری‌ها با شیب تقریبا یکسانی کاهش یافت و در روز پانزدهم به مقیاس ۲/۸۲ رسید. در آگروپایرون دزرتوروم گیاهان در معرض تنش تا روز پنجم، اختلاف معنی داری با گیاهان شاهد نداشتند. پس از آن کیفیت چمن کاهش پیدا کرد و در پایان به مقیاس ۲/۰۳ رسید (شکل ۲). خشکی با اثر منفی بر میزان رشد شاخساره سبب کاهش تراکم و عرض برگ‌ها می‌شود. با توجه به اینکه عرض برگ نمایانگر بافت چمن است و بافت چمن نیز یکی از مولفه‌های کیفیت چمن است، بنابراین خشکی، کیفیت چمن را کاهش می‌دهد. از طرف دیگر کاهش محتوای کلروفیل که از اثرات تنش خشکی است (شکل ٤)، روی رنگ چمن که یکی از دیگر نمادهای کیفیت است، اثرگذار می‌باشد. این عوامل در کنار افزایش سوختگی برگ‌ها و کاهش تراکم چمن سبب کاهش کیفیت چمن می‌گردند. برای چمنی مثل پوآ پراتنسیس که از طریق ریزوم و به صورت رونده توسعه می‌یابد، هر چه جوانه‌های رویشی در سطح زمین بیشتر باشد، به دلیل ایجاد نقاط رشدی و امکان گستردگی بیشتر، چمنی توسعه یافته‌تر و متراکم‌تر به وجود می‌آورد. با این وجود تنش خشکی منجر به کاهش تراکم و کیفیت پوآ پراتنسیس شد. بییان و جیانگ (۲۰۰۹) گزارش کردند کیفیت کنتاکی بلوگراس در طی پنج روزی که در معرض تنش خشکی بود، تا حد زیادی کاهش پیدا کرد که قرابت زیادی با ارزیابی انجام شده روی پوآ پراتنسیس در این آزمایش دارد. به گزارش احمدی و همکاران(۲۰۱۰) آگروپایرون دزرتوروم در شرایط تنش، دیرتر از سایر گونه‌ها شاخص‌های کیفیتی خود را کاهش داد که با نتایج این پژوهش تطابق دارد. عدم کاهش کیفیت و افزایش پژمردگی برگ ۵ روز پس از قطع آبیاری مقاومت بالاتر این چمن را در مقابل خشکی نسبت به دو گونه دیگر چمن نشان داد.



شکل ۲- برهمکنش اثر تنش خشکی، نوع چمن و زمان نمونه برداری بر کیفیت چمن.

نشت یونی: نتایج به‌دست‌آمده از بررسی نشت یونی سلول نشان داد که در هر سه گونه گیاهی با قطع کامل آبیاری میزان نشت یونی و نفوذ پذیری سلول افزایش پیدا کرد. مشخص شده که مولفه اصلی در تحمل به آب از دست دهی در باریک برگان، ثبات غشای سلولی است و افزایش نشت یونی نشان دهنده بروز آسیب غشایی است. زیرا افزایش نفوذ پذیری غشا تراوش الکترولیت‌ها از سلول را به دنبال دارد (بلوم و ابرکن، ۱۹۸۱). در سومین نمونه‌برداری، میزان نشت یونی در گیاهان شاهد پوآ پراتنسیس با نشت یونی گیاهان تحت تنش آگروپایرون دزرتوروم تقریبا منطبق بر هم بود. در گیاهان شاهد و نیز در گیاهان تحت تنش بیشترین نشت یونی را بروموس اینرمیس داشت. در این گونه گیاهی تا ۵ روز پس از قطع کامل آبیاری، نشت یونی با شیب تندی افزایش یافت و پس از آن با سرعت کمتری زیاد شد، به‌طوری‌که ۱۰ روز بعد از تنش به ۱۵/۵۵ درصد رسید. در نمونه برداری‌های بعدی بروموس اینرمیس به طور کامل خشک شد. در پوآ پراتنسیس تا ۵ روز بعد از تنش، نشت یونی به سرعت افزایش یافت. پس از آن سرعت افزایش آن کمتر شد و دوباره از ۱۰ تا ۱۵ روز بعد از اعمال تنش روند افزایش نفوذ پذیری سرعت پیدا کرد و به ۱۳/۹۳ درصد رسید. در نمونه گیری بعدی پوآ پراتنسیس دچار مرگ سلولی شد. گو و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند که با پیشرفت تنش نشت یونی افزایش پیدا کرد. افزایش نشت یونی توسط لیو و همکاران (۲۰۰۸) برای پنج رقم چمن پوآ پراتنسیس

تحت تنش هم زمان گرما و خشکی نیز گزارش شد. کمترین افزایش نشت یونی را آگروپایرون دزرتوروم به خود اختصاص داد. روند افزایش نشت یونی در این گونه گیاهی از ۱۵ تا ۲۰ روز پس از تنش سرعت بیشتری نسبت به زمان‌های نمونه گیری قبلی داشت. در آخرین نمونه برداری میزان نفوذ پذیری سلول در آگروپایرون دزرتوروم به ۱۱/۵۳ درصد رسید (شکل ۳). به نظر می‌رسد آگروپایرون دزرتوروم توانایی بیشتری در حفظ ساختار غشا و جلوگیری از افزایش نفوذپذیری آن دارد. پایین‌تر بودن مقدار نشت الکترولیتی بر پایداری غشای سلولی و مقاومت بهتر گیاه در برابر تنش وارده دلالت دارد. چمن‌های بردبار به خشکی قادر به حفظ سطوح پایینی از نشت الکترولیتی در طول دوره تنش خشکی هستند (لیو و همکاران، ۲۰۰۸). تنش خشکی باعث افزایش نفوذپذیری غشا در ژنوتیپ‌های مختلف نخود[1] شد (فرشادفر و جوادی نیا، ۲۰۱۱). جیرونگ و همکاران (۲۰۰۸) نیز بیان کردند که در حقیقت در شرایط تنش خشکی، ارقام مقاوم ثبات غشای سلولی بیشتری نسبت به ارقام حساس دارند که با نشت یونی کمتر مشخص می‌شود. این یافته در پژوهش حاضر نیز صدق می‌کند.



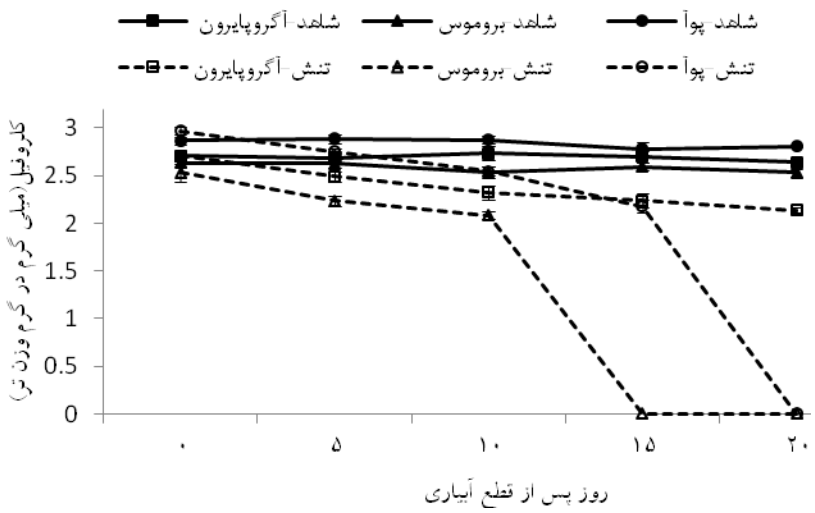
شکل ۳- برهمکنش اثر تنش خشکی، نوع چمن و زمان نمونه برداری بر نشت یونی سلول.

1- Cicer arietinum

محتوای کلروفیل: تایج بررسی محتوای کلروفیل برگ نشان داد که در گیاهان با آبیاری مناسب میزان کلروفیل پوآ پراتنسیس بیشتر از دو گونه دیگر بود. کمترین کلروفیل برگ نیز متعلق به بروموس اینرمیس بود. اگرچه افزایش و کاهش در کلروفیل برگ گیاهان شاهد دیده شد، اما این تغییرات باعث ایجاد اختلاف معنی‌دار بین زمان‌های مختلف نمونه برداری نشد. با بروز تنش، کلروفیل برگ در هر سه گونه چمن شروع به کاهش نمود. محتوای کلروفیل در پوآ پراتنسیس و آگروپایرون دزرتوروم تا ۱۰ روز بعد از تنش با شیب نسبتا یکسانی کاهش یافت. پس از آن کاهش کلروفیل در پوآ پراتنسیس سرعت گرفت و ۱۵ روز بعد از قطع آبیاری به ۲/۱۷۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر رسید. درحالی‌که در این زمان سرعت تنزل کلروفیل در آگروپایرون دزرتوروم کاهش یافت و در آخرین نمونه‌برداری به ۲/۱۳۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر رسید که حدود ۰/۸ برابر کمتر از گیاهان شاهد در این زمان بود. به گزارش بییان و جیانگ (۲۰۰۹) نیز با خشکی کامل خاک در کنتاکی بلو گراس و تال فسکیو میزان کلروفیل برگ کاهش پیدا کرد. جوانگ (۲۰۰٤) نیز کاهش غلظت کلروفیل برگ‌ها در تنش خشکی را گزارش کرد و علت این امر را تخریب غشا در اثر تنش اکسایشی عنوان نمود. در این پژوهش مشخص شد با وجودی که پوآ پراتنسیس در شرایط بدون اعمال خشکی محتوای نسبی آب برگ و کلروفیل بیشتری نسبت به دو گونه دیگر داشت، اما با طولانی شدن تنش مقایر این فاکتورها در پوآ پراتنسیس به پایین‌تر از مقدار آنها در آگروپایرون دزرتوروم رسید. بنابراین می‌توان گفت در شرایط تنش مقاومت در برابر از دست دادن محتوای نسبی آب برگ یا کلروفیل مهم تر از داشتن مقدار بالاتری از این عوامل در شرایط بدون تنش است. سرعت از دست دهی کلروفیل در ابتدای قطع آبیاری زیاد بود و با طولانی شدن تنش، کلروفیل با شیب کندتری کاهش یافت. در این خصوص سانتوز (۲۰۰٤) گزارش کرد که در روزهای اولیه پس از تنش اسمزی فعالیت آنزیم کلروفیلاز که سبب تجزیه کلروفیل می‌گردد افزایش می‌یابد، ولی با گذشت زمان و با طولانی شدن تنش کاهش ساخت کلروفیل دلیل اصلی کاهش میزان آن است. زیرا خشکی زیاد مانع از تشکیل آمینول آوولینیک اسید[1] می‌شود. این ماده پیش ماده پروتوکلروفیل[2] است که در معرض نور تبدیل به کلروفیل می‌شود. بروموس اینرمیس در مقایسه با دو گونه دیگر با بیشترین سرعت به کمترین میزان کلروفیل با میانگین ۲/۰۸ در روز دهم بعد از تنش رسید و پس از آن به‌طور کامل خشک شد (شکل ٤). کاهش سریع

1-5-Aminolaevulinic acid
2-Protochlirophyll

رنگیزه در بروموس اینرمیس می‌تواند به علت افزایش هر چه بیشتر نشت یونی باشد. افزایش نشت یونی نشان دهنده آسیب به غشای سلولی است، بنابراین می‌توان انتظار داشت خشکی اثر مخرب خود را بر روی غشای کلروپلاست‌ها نیز داشته و سبب کاهش میزان کلروفیل گردیده است. تفاوت‌های ژنتیکی بین سه گونه چمن منجر به تفاوت در میزان کلروفیل آنها در مواجهه با قطع آبیاری بود. واکنش میزان کلروفیل به تنش خشکی علاوه بر تفاوت‌های ژنتیکی ممکن است ناشی از متابولیسم متفاوت تحمل گیاه در برابر تنش خشکی باشد (فرشادفر و جوادی نیا، ۲۰۱۱).

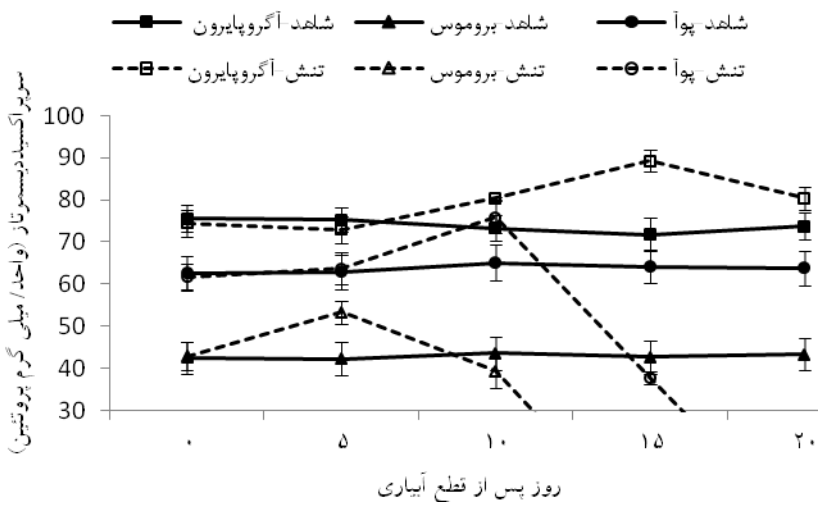


شکل ٤- برهمکنش اثر تنش خشکی، نوع چمن و زمان نمونه برداری بر محتوای کلروفیل.

سوپراکسید دیسموتاز: نتایج بررسی فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (شکل ۵) نشان داد که در گیاهان تحت تنش و نیز در گیاهانی که به خوبی آبیاری شده بودند، بروموس اینرمیس کمترین فعالیت و آگروپایرون دزرتوروم بیشترین فعالیت این آنزیم را داشت. فعالیت سوپراکسید دیسموتاز در بروموس اینرمیس بلافاصله پس از اعمال تنش شروع به افزایش کرد و این افزایش تا ۵ روز بعد از تنش ادامه پیدا کرد و به میانگین ۵۳/۳٤ واحد در میلی‌گرم پروتیین رسید. پس از آن روند نزولی را در پیش گرفت و فعالیت آن در روز دهم پس از قطع آبیاری تقریبا مشابه قبل از اعمال تنش شد. افزایش سوپراکسید دیسموتاز در مراحل اولیه تنش خشکی، گیاه را از آسیب اکسایشی حفاظت می‌کند. اگر

چه کاهش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز پس از طولانی شدن تنش خشکی نشان می‌دهد که عمل از بین بردن گونه‌های فعال اکسیژن توسط سوپراکسید دیسموتاز تضعیف گردیده است. پوآ پراتنسیس تا ۵ روز پس از قطع آبیاری افزایشی را در فعالیت سوپراکسید دیسموتاز نشان نداد. پس از آن افزایش پیدا کرد و در روز دهم بعد از تنش به بیشترین مقدار خود که ۷۵/۹۱ واحد در میلی‌گرم پروتیین بود، رسید. از ۱۰ تا ۱۵ روز پس از تنش خشکی کاهش شدید فعالیت سوپراکسید دیسموتاز در این گونه چمن دیده شد، به‌طوری‌که در چهارمین نمونه‌برداری فعالیت این آنزیم به کمتر از فعالیت آن در گیاهان شاهد رسید. با طولانی‌تر شدن خشکی در روز پانزدهم بعد از تنش به نظر می‌رسد میزان پراکسید هیدروژن تولید شده به حدی افزایش می‌یابد که میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز را به کمتر از مقدار فعالیت آن در گیاهان شاهد کاهش می‌دهد. این امر می‌تواند به‌دلیل تخریب ساختارهای تولیدکننده سوپراکسید دیسموتاز نیز باشد. پس از آن نیز با خشکی کامل پوآ پراتنسیس عدد صفر برای فعالیت آنزیم در نظر گرفته شد. به گزارش فو و هوانگ (۲۰۰۱) در کنتاکی بلو گراس با پیشرفت خشکی فعالیت سوپراکسید دیسموتاز در ابتدا افزایش و سپس کاهش پیدا کرد. ایشان دریافتند که فعالیت این آنزیم به‌عنوان یک پاسخ دفاعی به تنش خشکی افزایش می‌یابد، اما این سطح خود تنظیمی‌با افزایش یافتن تنش کاهش می‌یابد که با یافته‌های این پژوهش تطابق دارد. در آگروپایرون دزرتوروم نیز تا ۵ روز پس از قطع آبیاری افزایش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز دیده نشد. فعالیت این آنزیم از ۵ روز بعد از تنش افزایش یافت و این افزایش تا ۱۰ روز پس از آن ادامه پیدا کرد و به ۸۹/۲۵ واحد در میلی‌گرم پروتیین رسید. با افزایش این آنزیم شدت پاک سازی یون سوپراکسید افزایش و آسیب‌های به‌وجودآمده از آن در گیاه کاهش یافت. پس از آن در آگروپایرون دزرتوروم نیز فعالیت این آنزیم کاهش پیدا کرد و به ۸۰/٤۰ واحد در میلی‌گرم پروتیین رسید. به طور کلی فعالیت سوپراکسید دیسموتاز در هر سه گونه چمن از الگوی نسبتاً مشابهی پیروی کرد. این آنزیم به عنوان یکی از اجزای مهم مکانیزم دفاعی گیاه در نظر گرفته می‌شود، بنابراین از این آنزیم می‌توان جهت تعیین گونه‌های مقاوم به خشکی استفاده نمود (ساعی و همکاران، ۲۰۰۵). محققان افزایش، کاهش و یا عدم تغییر فعالیت سوپراکسید دیسموتاز را در گونه‌های مختلف گزارش کرده‌اند (گانز و همکاران، ۲۰۰۸ و توحیدی مقدم و همکاران، ۲۰۰۹). نتایج این آزمایش نشان داد که با اعمال تنش خشکی مقدار سوپراکسید دیسموتاز تولید شده در سلول افزایش یافت، بنابراین حجم سوپراکسید دیسموتاز تولید شده در روزهای اولیه قطع آبیاری توان مهار عوامل ایجاد کننده تنش اکسایشی را داشت. به

موازات فعالیت سوپراکسید دیسموتاز و به دنبال آن تولید پراکسید هیدروژن فعالیت این آنزیم در آگروپایرون دزرتوروم نیز افزایش یافت و تا ۱۵ روز بعد از تنش اقدام به مهار پراکسید هیدروژن موجود در محیط نمود. با طولانی‌تر شدن قطع آبیاری در روز بیستم بعد از تنش میزان سوپراکسید تولید شده به حدی افزایش می‌یابد که این آنزیم را غیرفعال می‌کند و یا آنزیم‌های از بین برنده پراکسید هیدروژن نمی‌توانند این گونه فعال اکسیژن موجود در محیط را به حدی کاهش دهند که مانع فعالیت سوپراکسید دیسموتاز شود.

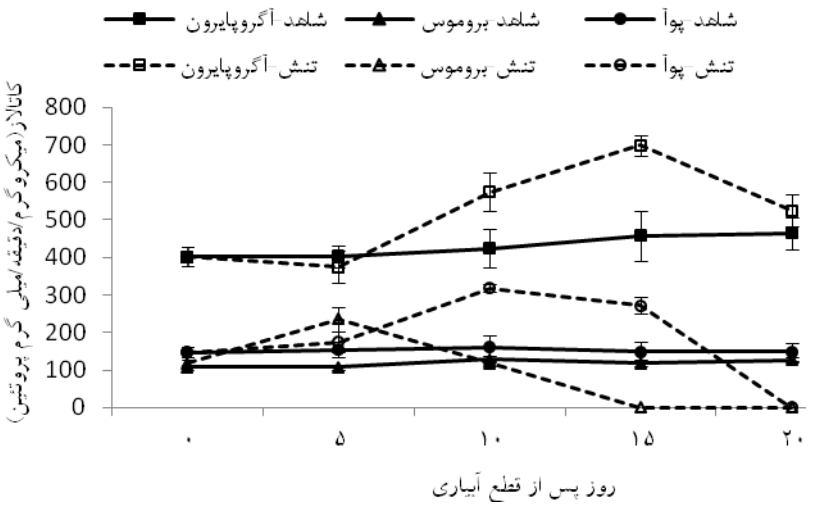


شکل ۵- برهمکنش اثر تنش خشکی، نوع چمن و زمان نمونه برداری بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز.

کاتالاز: نتایج به‌دست‌آمده از بررسی میزان فعالیت کاتالاز (شکل ٦) نشان داد که در گیاهان با آبیاری مناسب، فعالیت کاتالاز در زمان‌های مختلف نمونه برداری اختلاف معنی داری با یکدیگر نداشتند. در بین سه گونه چمن مورد بررسی فعالیت کاتالاز در آگروپایرون دزرتوروم بسیار بیشتر از دو گونه دیگر بود. با اعمال تنش در بروموس اینرمیس افزایش فعالیت کاتالاز تا ۵ روز پس از اعمال خشکی مشاهده شد و پس از رسیدن به میانگین ۲۳۵/۱٦ میکرومول در دقیقه بر میلی‌گرم پروتیین، فعالیت این آنزیم روند نزولی پیدا کرد و در سومین نمونه برداری به سطح گیاهان شاهد رسید. در نمونه برداری‌های بعدی بروموس اینرمیس به طور کامل خشک شده بود. سیموآ استویلوا و همکاران (۲۰۱۰) افزایش

فعالیت کاتالاز را در گندم در معرض تنش خشکی، گزارش کردند. ایشان همچنین گزارش کردند که فعالیت کاتالاز در ارقام حساس بیشتر بود که این یافته با نتایج به‌دست آمده در این پژوهش بر روی گونه بروموس اینرمیس در مقایسه با سایر گونه‌ها مغایرت دارد. فعالیت کاتالاز در پوآ پراتنسیس تا ۵ روز پس از اعمال تنش در سطح گیاهان شاهد باقی ماند. پس از آن فعالیت این آنزیم تا ۱۰ روز پس از قطع آبیاری افزایش پیدا کرد و به میانگین ۳۱۷/۶۰ میکرومول در دقیقه بر میلی‌گرم پروتیین رسید. پس از این زمان فعالیت کاتالاز روند کاهشی در پیش گرفت و در آخرین نمونه‌برداری به‌طور کامل دچار خشکیدگی شد. فو و هوانگ (۲۰۰۱) گزارش کردند در کنتاکی بلو گراس با پیشرفت خشکی فعالیت کاتالاز در ابتدا افزایش و سپس به کمتر از میزان فعالیت آن در گیاهان شاهد کاهش پیدا کرد. به گفته ایشان کاهش فعالیت کاتالاز منجر به تجمع پراکسید هیدروژن می‌شود که می‌تواند با سوپراکسید برای تولید رادیکال‌های آزاد هیدروکسیل واکنش دهد. در آگروپایرون دزرتوروم نیز تا ۵ روز پس از قطع آبیاری فعالیت کاتالاز تغییر معنی داری نداشت. پس از آن شروع به افزایش کرد. به طوری‌که در روز پانزدهم پس از تنش خشکی به بیشترین مقدار خود رسید و دارای میانگین ۶۹۸/۲۸ میکرومول در دقیقه بر میلی‌گرم پروتیین شد. از ۱۵ تا ۲۰ روز بعد از تنش فعالیت کاتالاز کاهش پیدا کرد. با وجودی که فعالیت کاتالاز در گیاهان شاهد و تحت تیمار آگروپایرون دزرتوروم در سطحی بالاتر از دو گونه دیگر چمن قرار گرفت، اما تغییرات کاتالاز در پوآ پراتنسیس و آگروپایرون دزرتوروم از الگوی تقریبا مشابهی پیروی کرد. در هر سه گونه چمن با طولانی شدن دوره تنش فعالیت آنزیم کاتالاز کاهش یافت. پژوهش‌های انجام شده در زمینه تنش خشکی، افزایش و یا کاهش فعالیت کاتالاز را گزارش کرده‌اند. این تفاوت‌ها می‌تواند مربوط به تفاوت در گونه‌های گیاهی، شدت تنش و یا زمان‌های نمونه‌برداری باشد. در همین راستا شارما و دوبی (۲۰۰۵) کاهش فعالیت کاتالاز را در دانهال‌های برنج تحت تنش خشکی گزارش کردند. در حالی که پان و همکاران (۲۰۰۶) اثرات ترکیبی شوری و خشکی در دانهال‌های شیرین بیان را مورد مطالعه قرار داده و افزایش فعالیت کاتالاز را گزارش کردند. کاتالاز یک آنزیم تبدیل کننده پراکسید هیدروژن به آب و اکسیژن مولکولی است که با طولانی شدن تنش خشکی میزان آن در برگ‌ها کاهش یافت. این امر نشان می دهد به علت رابطه ضعیف کاتالاز با پیش ماده خود، عاملی در جهت محدود نمودن عمل محافظتی کاتالاز دخالت نموده و باعث غیر فعال شدن کاتالاز گردیده است (گرامر، ۲۰۰۲). در این پژوهش آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز از الگوی نسبتا مشابهی پیروی کردند. به نظر می‌رسد با تولید پراکسید هیدروژن

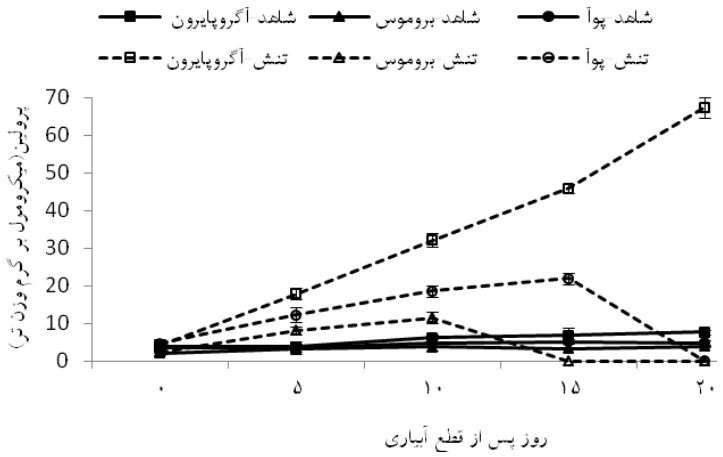
توسط سوپراکسید دیسموتاز، آنزیم کاتالاز نیز به موازات آن تغییر کرده و پراکسید هیدروژن تولید شده را از بین می‌برد.



شکل ٦- برهمکنش اثر تنش خشکی، نوع چمن و زمان نمونه‌برداری بر فعالیت آنزیم کاتالاز.

پرولین: نتایج حاصل از بررسی میزان پرولین نشان داد که میزان پرولین در هر سه گونه گیاهی که به خوبی آبیاری شده بودند، در یک سطح قرار داشت. با قطع کامل آبیاری میزان پرولین در هر سه گونه چمن روند افزایش داشت. تجمع پرولین در تنش اسمزی توسط گانز و همکاران (۲۰۰۸)، گیل و توتجا (۲۰۱۰) و فرخنده و همکاران (۲۰۱۲) نیز گزارش شده است. گیاهان تمایل دارند که با فرآیندی به نام تنظیم اسمزی به تنش کم آبی غلبه پیدا کنند و پتانسیل اسمزی سلولی خود را با تجمع مواد محلول کاهش دهند. در پاسخ به تنش خشکی فرآیندهای متابولیکی خاصی صورت می‌گیرد که غلظت مواد محلول خالص را در سلول افزایش می‌دهند و در نتیجه باعث حرکت آب به سلول‌های برگ و در نتیجه افزایش فشار تورگر می‌شوند. تعداد زیادی از ترکیبات سنتز می‌شوند که نقش کلیدی را در حفظ تعادل اسمزی، حفاظت غشا و ماکرومولکول‌ها دارند. این ترکیبات محلول‌های سازگار نامیده می‌شوند که یکی از مهم‌ترین آنها پرولین است (ماهاجان و توتجا، ۲۰۰۵). کمترین و بیشترین میزان افزایش پرولین به ترتیب متعلق به برومونس اینرمیس و آگروپایرون دزرتوروم بود. میزان پرولین در برومونس اینرمیس ۱۰ روز پس از اعمال تنش برابر با ۱۱/۵۲ میکرومول بر گرم وزن تر و ۳/۱۰ برابر گیاهان

شاهد بود. محتوای پرولین در پوآ پراتنسیس در روز پانزدهم پس از قطع آبیاری برابر با ۲۱/۸۹ میکرومول بر گرم وزن تر و ٤/۲۳ برابر گیاهان شاهد بود. در روز بیستم پس از تنش خشکی، میزان پرولین در آگروپایرون دزرتوروم تحت تنش برابر با ٦٧/٣٦ میکرومول بر گرم وزن تر و ۸/۷۳ برابر گیاهان شاهد در زمان مشابه در این گونه چمن بود (شکل ۷). این در حالی است که طبق یافته احمدی و همکاران (۲۰۱۰) مقدار نهایی پرولین در آگروپایرون دزرتوروم پیش از خشکیدگی ۲۰۰/٦۳ میکرومول بر گرم وزن تر است که این مقدار، کمتر از مقدار پرولین چمن‌های گرمسیری و بیشتر از مقدار پرولین چمن‌های سردسیری در زمان مشابه بود. اختلاف موجود در نتایج ارایه شده برای آگروپایرون دزرتوروم می‌تواند در اثر متفاوت بودن شرایط محیطی و طول دوره قطع آبیاری باشد. با توجه به اینکه احمدی و همکاران (۲۰۱۰) پژوهش خود را در شرایط گلخانه به انجام رساند دوره قطع آبیاری برای رسیدن گیاهان به حدود ۹۰ درصد خشکیدگی طولانی بود و آگروپایرون دزرتوروم فرصت کافی برای افزایش میزان پرولین برای مقابله با خشکی را داشت. به گفته پین هرو و همکاران (۲۰۰۱) سنتز و تجمع اسمولیت‌ها بین گونه‌های گیاهی و بین ارقام مختلف یک گونه متفاوت است. به گزارش سانوکا و همکاران (۲۰۰٤) تجمع پرولین رابطه مثبت و مستقیم با افزایش مقاومت به خشکی در تنش‌های خشکی و شوری ایجاد شده در گیاهان دارد. به‌نظر می‌رسد آگروپایرون دزرتوروم در شرایط تنش خشکی شدید می‌تواند با سنتز و تجمع پرولین به‌صورت کارآمدتری محتوای نسبی آب برگ خود را حفظ کرده و کاهش آماس سلولی را جبران کند.



شکل ۷- برهم‌کنش اثر تنش خشکی، نوع چمن و زمان نمونه‌برداری بر محتوای پرولین.

درصد خشکیدگی پس از آبیاری مجدد: نتایج تجزیه واریانس اثر تنش خشکی و نوع چمن بر درصد پژمردگی پس از آبیاری مجدد (جدول ۲) نشان داد که اثرات ساده خشکی، نوع چمن و زمان نمونه برداری بر این صفت در سطح یک درصد معنی‌دار بود. تمامی اثرات متقابل دو گانه و سه گانه شامل اثرات خشکی و نوع چمن، زمان و نوع چمن، زمان و خشکی و نیز اثرات متقابل زمان، نوع چمن و خشکی بر این صفت در سطح یک درصد معنی‌دار بود.

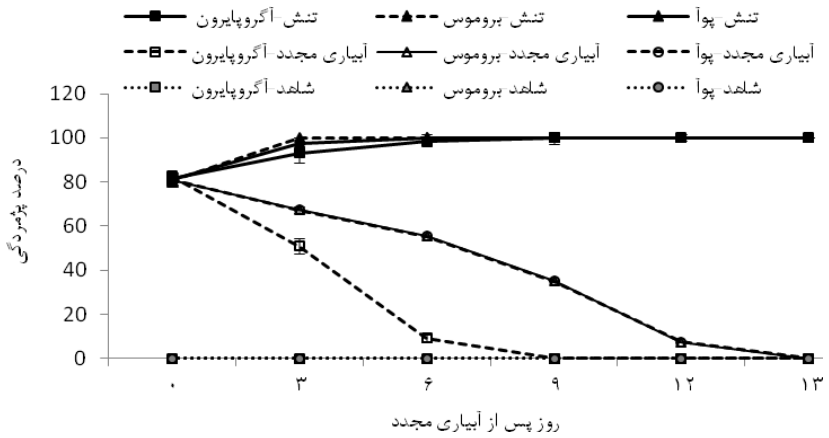
جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تنش خشکی و نوع چمن بر درصد پژمردگی پس از آبیاری مجدد.

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات درصد پژمردگی پس از آبیاری مجدد
بلوک	۲	۰/۸۵ ns
خشکی	۲	۱۲۵۵٤۷/۳۷ **
خطای خشکی	٤	۵/۳۰
نوع چمن	۲	۸۹۷٦/۹۸ **
خشکی×نوع چمن	٤	۸۵۹۹/۲٦ **
خطای نوع چمن	۱۲	۳/۹٦
زمان	۵	٦۳۵/۷۰ **
زمان× نوع چمن	۱۰	۵۹۲/٦۹ **
زمان×خشکی	۱۰	۱٦۹۰/۳۹ **
زمان× نوع چمن×خشکی	۲۰	۵۹۵/٦٤ **
بلوک× زمان	۱۰	۱۰/۳٦ **
خطای باقیمانده	۸۰	۳/۷۸
کل	۱٦۱	-
C.V (%)		۵/۰۱

** و n.s به ترتیب معنی دار در سطح ۱٪، ۵٪ و عدم وجود اختلاف معنی دار آزمون LSD.

نتایج به‌دست‌آمده از اثر تنش خشکی، نوع چمن و زمان نمونه برداری بر درصد پژمردگی پس از آبیاری نشان داد که آبیاری دوباره منجر به بازگشت‌پذیری چمن بروموس اینرمیس نشد و در نهایت بروموس اینرمیس به‌طور کامل خشک شد. درصد پژمردگی پوآ پراتنسیس پس از آبیاری دوباره روند

نزولی را در پیش گرفت. به‌طوری که درصد پژمردگی پس از گذشت ٦ روز از آبیاری دوباره به ۵۵/۳۳ درصد رسید. پس از آن درصد پژمردگی با سرعت بیشتری کاهش یافت و ۱۳ روز پس از آبیاری مجدد، میزان پژمردگی مشابه گیاهان شاهد شد. آگروپایرون دزرتوروم به سرعت به آبیاری مجدد واکنش نشان داد و درصد پژمردگی با شیب تندی کاهش یافت. به‌طوری که ٦ روز پس از آبیاری مجدد مشابه گیاهان شاهد با آبیاری مناسب شد و توان بازیابی در این مدت کم را از خود نشان داد (شکل ۸). به گزارش احمدی و همکاران (۲۰۱۰) نیز سرعت بازگشت‌پذیری در آگروپایرون دزرتوروم بیشتر از سایر گونه‌ها بود. حفظ سیالیت غشا یکی از مهم ترین عوامل در مقابل آسیب تنش است. آب‌دهی مجدد پس از یک دوره طولانی آب از دست دهی، می‌تواند باعث از بین رفتن استحکام غشا و نشتی محلول‌ها شود. در طی آب‌دهی دوباره در گیاهان حساس به تنش، آب در سطح غشا جانشین قند می‌شود که منتهی به نشتی غشا خواهد شد (ماهاجان و توتجا، ۲۰۰۵). به نظر می‌رسد آبیاری دوباره در بروموس اینرمیس باعث افزایش هر چه بیشتر نشت یونی شده و افزایش نفوذ پذیری غشا مرگ سلول را به دنبال داشت. پوآ پراتنسیس قادر است در شرایط خشکی مدتی را زنده مانده و زمانی که شرایط رطوبتی مساعد گردید از گره ریزوم‌های زیرزمینی و یا تاج‌های پیر و قدیمی‌اش شاخه جدید تولید کرده و ظرف مدت کوتاهی پوشش کافی ایجاد نماید (کریستیانز، ۲۰۰٤). روند خشک‌شدن آگروپایرون دزرتوروم کندتر از دو گیاه قبلی بود و پس از آبیاری دوباره نیز با گذشت ٦ روز و با سرعت بیشتری نسبت به پوآ پراتنسیس به حالت اولیه برگشت. این گونه چمن پس از گذراندن دوره خشکی قادر است شروع به پنجه زنی کرده و در مدت کوتاهی با ایجاد پوشش جدید جای خالی گیاهان خشک شده را پر کند. به نظر می‌رسد بروموس اینرمیس ذخایر هیدروکربنی کافی را در بافت‌های خود ندارد تا پس از آبیاری دوباره با پنجه زنی و ایجاد پوشش جدید گسترش یابد. این گونه در شرایط بروز تنش خشکی به خواب می‌رود (ریودرون و هورست، ۱۹۹۱).



شکل ۸- برهمکنش اثر تنش خشکی، نوع چمن و زمان نمونه‌برداری بر درصد پژمردگی پس از آبیاری مجدد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد که قطع کامل آبیاری در چمن‌های آگروپایرون دزرتوروم و پوآ پراتنسیس رقم "باریمپالا" در ۵ روز اول پس از اعمال خشکی تاثیر چندانی بر بیشتر پارامترهای مورد اندازه گیری نداشت. با طولانی‌تر شدن خشکی، آگروپایرون دزرتوروم از لحاظ آنزیم‌های آنتی اکسیدانی، محتوای پرولین و کیفیت در سطح بالاتری از پوآ پراتنسیس قرار گرفت و میزان نشت یونی کمتری را نشان داد. در آگروپایرون دزرتوروم پس از گذشت ۲۰ روز و در پوآ پراتنسیس پس از گذشت ۱۵ روز از قطع کامل آبیاری و رسیدن به سطوح بالایی از درصد خشکیدگی، آبیاری دوباره منجر به بازگشت پذیری چمن و رسیدن درصد خشکیدگی این گونه‌ها به سطح گیاهان شاهد شد. برومس اینرمیس با قطع کامل آبیاری فاکتورهای کیفی و فیزیولوژیکی خود را به سرعت کاهش داد. در نهایت با توجه به نتایج این پژوهش به نظر می‌رسد که استفاده از برخی از گونه‌های باریک برگ مانند آگروپایرون دزرتوروم که قابلیت استفاده به‌عنوان چمن را دارند می‌تواند به تنهایی یا به صورت مخلوط با ارقام چمن‌های تجاری از جمله پوآ پراتنسیس رقم "باریمپالا"یکی از راهکارهای مدیریتی برای مقابله با بحران کم آبی در فضای سبز باشند.

منابع

1.Aebi, H. 1984. Catalase *in vitro*. Methods Enzymol. 105: 121-126.
2.Ahmadi, S., Basirat, M., and Etemadi, N. 2010. Study of drought tolerance of five turfgrass species, varieties and populations for application in landscape. M. Sc. Thesis. Faculty of Natural Resources, Esfahan University of Technology, Iran. (In persian).
3.Bates, L.S., Waldren, R.P., and Teare, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant Soil, 39: 205-207.
4.Beard, J.B. 1973. Turfgrass: Science and Culture. Prentice-Hall, Englewood, Cliffs, NJ. Pp: 668.
5.Bian, S., and Jiang, Y. 2009. Reactive oxygen species, antioxidant enzyme activities and gene expression patterns in leaves and roots of Kentucky bluegrass in response to drought stress and recovery. Sci. Hortic. 120: 264-270.
6.Blum, A., and Ebercon, A. 1981. Cell membrane stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat. Crop Sci. 21: 43-47.
7.Christians, N. 2004. Fundamentals of turfgrass management. Jhon Wiley and Sons Inc. New Jersey, Pp: 359.
8.DaCosta, M., and Huang, B. 2007. Changes in antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation for bentgrass species in responses to drought stress. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 132, 319-326.
9.Etemadi, N., Razmjoo, K.H., Khalighi, A., Zamani, Z., and Lessani, H. 2007. Comparision of different methods for measuring the color and texture in populations of *Cynodon dactylon* L. Pers. Sci. Technol. Agr. Nat. Resour. 4: 161-169. (In persian).
10.Farkhondeh, R., Nabizadeh, E., and Jalilnezhad, N. 2012. Effect of salinity stress on proline content, membrane stability and water relations in two sugar beet cultivars. Int. J. of Agri. Sci. 2: 385-392.
11-Farshadfar, A., and Javadinia J. 2011. Evaluation of chickpea(*Cicer arietinum* L.)genotypes for drought tolerance. SPIJ, 24: 517:537.
12.Fu, J., and Huang, B. 2001. Involvement of antioxidants and lipid peroxidation in the adaptation of two cool-seasion grasses to localized drought stress. Environ. Exp. Bot. 45: 105-114.
13.Gill, S.S., and Tuteja, N. 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. Plant Physiol. Biochem. 48: 909-930.
14.Gramer, G.R. 2002. Response of absisic acid mutant of Arabidopsis to salinity. Func. Plant Biol. 29: 561-567.
15.Gunes, A., Pilbeam, D.J., Inal, A., and Coban, S. 2008. Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress, I: Growth, antioxidant mechanisms, and lipid peroxidation. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 39: 1885-1903.

16.Guo, Z., Ou, W., Lu, S., and Zhong, Q. 2006. Differential responses of antioxidative system to chilling and drought in four rice cultivars differing in sensitivity. Plant Physiol. Biochem. 44: 828-836.
17.Hiscox, J.D., and Israelstam, G.F. 1979. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. Can. J. Bot. 57: 1332-1334.
18.Hu, L., Wang, Z., Du, H., and Huang, B. 2010. Differential accumulation of dehydrins in response to water stress for hybrid and common bermudagrass genotypes differing in drought tolerance. J. Plant Physiol. 167: 103-109.
19.Jinrong, L., Xiaorong, X. Jianxiong, D. Jixiong, S., and Xiaomin, B. 2008. Effects of simultaneous drought and heat stress on Kentucky bluegrass. Sci. Hortic. 115: 190-195.
20.Juang, S. 2004. Variation in antioxidant metabolism of young and mature leaves of *Arabidopsis thaliana* subjected to drought. Plant Sci. 166: 459-466.
21.Kafi, M., and Kaviani, S.H. 2002. Establishment management and turf maintenance. Cultural and Artistic Institution Shaghayegh Rusta, Pp: 230. (In persian).
22.Koski, A.J., Qian, Y., Hughes, H.G., Christensen, D.K., Reid, S., Cuany, R.L., and Wilhelm, S.J. 1999. Alternative grasses for western U.S. Lawns. Agronomy, 91:137.
23.Liu, J., Xie, X., Du, J., Sun, J., and Bai, X. 2008. Effects of simultaneous drought and heat stress on Kentucky bluegrass. Sci. Hort. 115: 190-195.
24.Mahajan, S., and Tuteja, N. 2005. Cold, salinity and drought stresses: An overview. Arch. Biochem. Biophys. 444: 139-158.
25.Morot-Guadry, J.F., Job, D., and Lea, P.J. 2001. Amino acid metabolism. In: P.J. Lea and J.F. Morot-Guadry (eds.), Plant Nitrogen. Berlin. Springer; pp. 167-211.
26.Pan, Y., Wu, L.J., and Yu, Z.L. 2006. Effect of salt and drought stress on antioxidant enzymes activities and SOD isoenzymes of liquorice (Glycyrrhiza uralensis Fisch). Plant Growth Regul. 49: 157-165.
27.Pinhero, R.G., Rao, M.V., Palyath, G., Murr, D.P., and Fletcher, R.A. 2001. Changes in the activities of antioxidant enzymes and their relationship to genetic and Paclobutrazol-induced chilling tolerance of maize seedling. Plant Physiol. 114: 695-704.
28.Qian, Y.L., Engelke, M.C., and Foster, M.J.V. 2000. Salinity effects on zoysigrass cultivars and experimental lines. Crop Sci. 40: 488-492.
29.Riordon and, T.P., and Horst, G.L. 1991. Cool season turfgrasses for Nebraska. University of Nebraska-Lincoln Extension, Pp: 1049.
30.Roohollahi, I., Kafi, M., and Naderi, R. 2010. Drought reaction and rooting characteristics in response to plant growth regulators on poa pratensis cv. Barimpala. Int. J. Food Agric. Environ. 8: 285-288.

31.Saie, M., Habibi, D., Mashhadi, A., Boujar, M., Mahmoudi, A., and Ardekani, M. 2005. Determination of antioxidant enzyme activity as a parameter in determination the resistant species of forage sorghum to drought stress. The First International Conference of Biological Sciences, Iran.
32.Saneoka, H., Moghaieb, R.E.A., Premachandra, G.S., and Fujita, K. 2004. Nitrogen nutrition and water stress effects on cell membrane stability and leaf water relations in Agrostis palustris Huds. Environ. Exp. Bot.52:131-138.
33.Santos, C.V. 2004. Regulation of chlorophyll biosynthesis and degradation by salt stress in sunflower leaves. Sci. Hortic. 103:93-99.
34.Sharma, P., and Dubey, R.S. 2005. Drought induces oxidative stress and enhances the activities of antioxidant enzyme in growing rice seedling. Plant Growth Regul. 46: 209–221.
35.Simova-Stoilova, L., Vaseva, I., Grigorova, B., Demirevska, K., and Feller, U. 2010. Proteolytic activity and cysteine protease expression in wheat leaves under severe soil drought and recovery, Plant Physiol. Biochem. 48: 200-206.
36.Tohidi-Moghaddam, H.R., Shirani-Rad, A.R., Noormohammadi, G., Habibi, D., and Boojar, M.M.A. 2009. Effect of super absorbent application on antioxidant enzyme activities in canola (*Brassica napus* L.) cultivars under water stress conditions. American J. Agric. Biol. Sci. 4: 215-223.
37.Zhang, J., Cui, S., Li, J., and Kirkham, M.B. 1995. Protoplasmic factors, antioxidant responses, and chilling resistance in maize. Plant Physiol. Biochem. 33, 567-575.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
J. of Plant Production, Vol. 20 (1), 2013
http://jopp.gau.ac.ir

Study of some physiological responses in three species of turfgrass in drought stress conditions

***M. Tatari[1], R. Fotouhi Ghazvini[2], N. Etemadi[3], A.M. Ahadi[4] and A. Mousavi[5]**
1. Ph.D. Student, Dept. of Horticultural Sciences, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, [2]Prof., Dept. of Horticultural Sciences, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, [3]Assistant Prof., Dept. of Horticultural Sciences, Faculty of Agricultural Sciences, Esfahan University of Technology, [4]Assistant Prof., Dept. of Genetic, Faculty of Sciences, Shahrekord University, [5]Assistant Prof., Dept. of Horticultural Sciences, Agricultural and Natural Resources Research Center

Abstract

One of the main challenges in turf management is limitation of water resources. Development of drought resistant species is one of the existing approaches for solving this problem. In this study some of the physiological responces of Bromus inermis, Poa pratensis cv. 'Barimpala' and Agropyron desertorum in drought stress conditions was evaluated. Seeds were cultivated at cylindrical pots and exposed to outdoors. After establishment of plants withholded irrigation until leaf wilting of most plants reach 80% then the half of pots rewatered. After withholding irrigation, Bromus inermis, Poa pratensis and Agropyron desertorum were wilted respectively. Leaf wilting in Agropyron desertorum and Poa pratensis decreased during rewatering and after a while was similar to control plants, but Bromus inermis was compeletly wilted. Turf quality and chlorophyll content was decreased due to drought stress. With prolonged stress treatment, electrolyte leakage strongly increased in *Bromus inermis*. The least electrolyte leakage was observed in *Agropyron desertorum*. Proline content was increased in three species with prolonged withholding irrigation. The highest proline content was observed in *Agropyron desertorum*. There was no significant difference in activities of superoxide dismutase and catalase between stressed plants and control plants, then increased and decreased with prolonged stress. The highest activities of these enzymes were showed in *Agropyron desertorum*.

Keywords: *Agropyron desertorum*; *Poa pratensis*; *Bromus inermis*; Chlorophyll; Antioxidant; Proline

*Corresponding Author; Email: mtatari1@yahoo.com