فصلنامه علمی - پژوهشی گیاه و زیست بوم
سال ۹، ویژه نامه شماره ۱-۳۴، بهار ۱۳۹۲

اثر تنش خشکی بر فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیداتیو در گیاه گل مکزیکی (*Agastache foeniculum [Pursh] Kuntze*)

ساجده سعیدفر[۱]*، محمد محمودی[۲]

چکیده

گل مکزیکی (*Agastache foeniculum [Pursh] Kuntze*) گیاهی علفی، چندساله و معطر متعلق به تیره نعناعیان است که منشأ آن آمریکای شمالی گزارش شده است. دارای خصوصیات ضد درد، ضد تشنج، ضد تورم و ضدالتهابی بوده و برای درمان التهاب‌های معده‌ای، کبدی و برای درمان تورم شدید پروستات به‌کار می‌رود.گل مکزیکی همچنین در صنایع غذایی و نوشابه‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

با توجه با اینکه خشکی از ویژگی‌های بارز جغرافیای کشور ما است وتأثیر تنش‌های خشکی بر محصولات زراعی در ایران به‌طور مفصل مورد بررسی قرار گرفته است ولی متأسفانه در مورد تغییرات آنزیمی گیاهان دارویی تحقیق‌های جامع و مفصلی صورت نگرفته است. این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. در این تحقیق، تغییرات فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیداتیو (کاتالاز، گلاتاتیون پراکسیداز، سوپراکسید دسموتاز) گیاه گل مکزیکی (*Agastache foeniculum [Pursh] Kuntze*) در واکنش به تنش خشکی با به‌کارگیری ۷ تیمار آبیاری شامل ۱۰۰٪، ۸۵ ٪، ۷۰٪ و ۵۵٪ ظرفیت مزرعه‌ای، ۱۰۰٪ ظرفیت مزرعه‌ای (مرحله رویشی)-۸۵٪ ظرفیت مزرعه‌ای (مرحله زایشی)، ۶-۱۰۰٪ ظرفیت مزرعه‌ای (مرحله رویشی)-۷۰٪ ظرفیت مزرعه‌ای (مرحله زایشی) ۷۰- ۸۵٪ ظرفیت مزرعه‌ای (مرحله رویشی)-۱۰۰٪ ظرفیت مزرعه‌ای (مرحله زایشی) بررسی شد. نتایج حاصل بیشترین مقدار آنزیم‌های آنتی اکسیداتیو را در ۵۵٪ ظرفیت مزرعه‌ای ۴ نشان داد. بنابراین می‌توان روش مقابله این گیاه با شرایط تنش خشکی را تا حدود زیادی آنزیمی دانست و با توجه به نحوه سازگاری این گیاه به شرایط تنش خشکی توسعه کشت آن را در مناطق کم‌آب پیشنهاد نمود.

واژه‌های کلیدی: گل مکزیکی، تنش خشکی، آنزیم سوپر اکسید سموتاز، کاتالاز، پراکسیداز

۱- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهواز، باشگاه پژوهشگران جوان، اهواز ، ایران
۲- دانشگاه شهید چمران، گروه باغبانی، اهواز، ایران
* مکاتبه‌کننده: (saeedfar1362@gmail.com)

تاریخ دریافت: پاییز ۱۳۸۹ تاریخ پذیرش: زمستان ۱۳۹۰

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

ایران با متوسط بارندگی ۲۵۰ میلی‌متر در سال جزو مناطق خشک جهان طبقه‌بندی می‌شود. با توجه به اینکه خشکی از ویژگی‌های بارز کشور ماست و از این پدیده طبیعی و غیرقابل‌تغییر راه گریزی نیست، بنابراین بررسی گیاهان سازگار به این شرایط و نحوه مقابله آنزیمی آنها با شرایط تنش حائز اهمیت است. گل مکزیکی (تصویر شماره ۱) از جمله گیاهان دارویی و معطر است که در سال‌های اخیر وارد کشور ما شده و در صنایع داروسازی، بهداشتی، آرایشی و غذایی کاربرد فراوان دارد. با توجه به اهمیت این گیاه و سازگاری آن با اقلیم ایران، بررسی نحوه سازگاری آنزیمی این گیاه به توسعه کشت آن کمک شایانی می‌نماید. این گیاه چندساله، علفی و از خانواده نعناع[1] است.

تصویر ۱- شاخه گلدار گل مکزیکی

۱- *Laminaceae*

www.SID.ir

تحت شرایط تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی در گیاهان ترکیبات سمی مانند رادیکال آزاد اکسیژن تشکیل می‌شود. راه گریز گیاهانی که دچار تنش اکسیداتیو ناشی از تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن شده‌اند دفاع آنزیمی می‌باشد.

دفاع آنزیمی در گیاهان شامل آنزیم‌هایی است که قادرند حد واسط‌های اکسیژنی را حذف، خنثی یا اسکاونج نمایند که از مهم‌ترین آنها می‌توان به کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز اشاره کرد (Asada, 1992; Aghdassi & Johane, 2000; Diaz *et al.*,1997).

کاتالاز از سلول‌ها در برابر پراکسید هیدروژن محافظت می‌کند. یافته‌های بیوشیمیایی نشان می‌دهد که کاتالاز در سلول‌های گیاهی تنها در پراکسی زوم و گلی اکسی زوم مستقر می‌باشد. احتمالاً کاتالاز در این دو اندامک تخریب پراکسید هیدروژن تولید شده از فعالیت‌های اکسیدازهای فلاوین را انجام می‌دهد. سوپراکسیدگلاتاتیون باعث پایداری غشاء سلول‌های گیاهان در خشکی می‌شود. SOD تجزیه آنیون سوپراکسید را کاتالیز کرده و نخستین دیوار دفاعی را علیه سمیت اکسیژن مهیا می‌نماید. SOD آنزیمی است که دیسموتاسیون دو آنیون سوپراکسید را به پراکسید هیدروژن و اکسیژن مولکولی کاتالیز می‌نماید (Mates & Perez-Gomez, 1999).

$$2O_2^- + 2H^+ \rightarrow H_2O_2 + O_2$$

گلوتاتیون پراکسیداز GPX کاهش پراکسید هیدروژن را با استفاده از گلوتاتیون احیاء شده (GSH) کاتالیز می‌کند بنابراین سلول‌ها را در برابر آسیب ناشی از اکسایش حفاظت می‌کند. در موجودات زنده پنج ایزوآنزیم GPX یافت شده است این ترکیبات در همه‌جا حاضر می‌باشند سطوح هر دو آنزیم برحسب تنوع بافت فرق می‌کند (Esterbauer *et al.*, 1992).

پراکسید و کاتالاز در چندین سیکل فیزیولوژیکی شامل پاسخ به تنش‌های زنده و غیرزنده یافت می‌شوند در نتیجه تنش‌های محیطی محصولات واسطه‌ای از قبیل O_2 و H_2O_2 و OH و غیره افزایش می‌یابد (Rag, *et al.*, 1994). میزان آنزیم‌های آنتی اکسیداتیو تحت شرایط تنش خشکی در ۶ رقم گندم افزایش یافت (ساعی، ۱۳۸۳). فعالیت سوپراکسید دسموتاز در اثر تنش خشکی در گوجه‌فرنگی نشان از بهبود مقاومت گیاه در برابر تنش داشته است (Rahman & A.Mackay, 1997). همچنین تنش آبی اثر معنی‌داری بر پارامترهای رشدی، روابط آبی و آنزیم‌های گیاهان دارویی از فبیل ریحان داشته است (حسنی، ۱۳۸۲). کاربرد کتوکونازول (KCZ) در گیاه دارویی پروانش که در مناطق کم‌آب کشت و کار می شود، می‌تواند با افزایش آنتی اکسیدانت‌ها بخشی از اثرات خشکی را تعدیل نماید، پس افزایش آنتی اکسیدانت‌ها بیانگر قدرت مقاومت گیاه در مقابله با تنش می‌باشند (Jaleel *et al.*, 2007). همچنین تحقیقات نشان می‌دهد که عکس‌العمل یک گونه گیاهی نیز در مراحل مختلف رشدی به تنش خشکی یکسان نمی‌باشد. گیاهان جوان *Cryptantha flava* نسبت به گیاهان مسن‌تر، فتوسنتز، پتانسیل آب برگ و کارایی مصرف آب کمتری تحت شرایط تنش خشکی دارد. درحالی‌که تبادلات گازی در هر دو مرحله به‌طور یکسان کاهش می‌یابد (Capser *et al.*, 2006). در تحقیق دیگری مشخص شد که برگ‌های رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.) و اسطوخودوس (*Lavandula stoechas* L.) نسبت به زیتون (*Olea europea* L.) در مراحل اول رشد، به تنش

Archive of SID

www.SID.ir

خشکی حساس‌تر می‌باشد و روزنه‌های برگ آنها بسته می‌ماند. سطح برگ که یک عامل مهم در عملکرد فتوسنتزی گیاه به‌شمار می‌آید، در هر سه گونه تحت شرایط تنش خشکی کاهش می‌یابد (Nogues & Baker, 2000). گیاه دارویی *Phellodendron amurense* در مراحل اول رشد بایستی برای حداکثر رشد و بیوماس در شرایط بدون تنش پرورش یابد و در مراحل بعدی تنش آبی می‌تواند به افزایش آلکالوئیدها کمک نماید (Xia *et al.*, 2007). با توجه به اثرات مختلف تنش خشکی بر آنزیم‌های آنتی اکسیداتیو در گیاهان دارویی، هدف از انجام این آزمایش بررسی میزان تغییرات هر یک از آنزیم‌های آنتی اکسیداتیو گیاه گل مکزیکی در سطوم مختلف خشکی و در مراحل مختلف چرخه زیستی این گیاه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در مزرعه آموزشی - پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس واقع در پیکانشهر سال ۱۳۸۸ انجام شد.

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با هفت تیمار تنش خشکی و در سه تکرار با کشت بذر در نیمه دوم فروردین انجام شد.

بذور بر روی ردیف‌ها به فاصله ۲۰ سانتی‌متر از هم و به عمق ۰/۵ سانتی‌متر کشت شدند. فاصله ردیف‌ها در هر کرت از هم ۴۰ سانتی‌متر، فاصله کرت‌ها از هم ۲ متر، فاصله بلوک‌ها ۳ متر و ابعاد کرت‌ها ۲ متر در ۲ متر بود.

جهت اعمال تنش و همچنین تعیین زمان آبیاری مجدد از دستگاه TDR (تصویر شماره ۲) استفاده گردید و تیمار کم‌آبی با توجه به درصد رطوبت وزنی اعمال شد، به این‌صورت که منحنی رطوبتی خاک را با استفاده از دستگاه صفحات فشاری رسم و سپس اعداد حاصل از دستگاه TDR را بر روی منحنی برده و به این ترتیب میزان رطوبت خاک بر حسب پتانسیل آب (Ψ) به‌دست آمد.

۱- Time Domain Reflectometry

Archive of SID
www.SID.ir

تیمار کم‌آبی برای هفت تیمار که به‌ترتیب عبارت بودند از:

۱- ۱۰۰ ظرفیت مزرعه‌ای،

۲- ۸۵ ٪ ظرفیت مزرعه‌ای،

۳- ۷۰٪ ظرفیت مزرعه‌ای،

۴- ۵۵٪ ظرفیت مزرعه‌ای،

۵- ۱۰۰٪ ظرفیت مزرعه‌ای (مرحله رویشی)- ۸۵٪ ظرفیت مزرعه‌ای (مرحله زایشی)،

۶- ۱۰۰٪ ظرفیت مزرعه‌ای (مرحله رویشی)- ۷۰٪ ظرفیت مزرعه‌ای (مرحله زایشی)،

۷- ۸۵٪ ظرفیت مزرعه‌ای (مرحله رویشی)- ۱۰۰٪ ظرفیت مزرعه‌ای (مرحله زایشی)،

اعمال شد.

جهت اندازه‌گیری آنزیم‌ها نمونه برگی تهیه و جهت بررسی روند تغییرات میزان آنزیم‌ها با ادامه شرایط تنش برداشت در سه مرحله و فواصل ۱۴ روزه انجام شد. نمونه‌های برگی با قرارگرفتن در ازت مایع (-۸۶ درجه سانتی‌گراد) منجمد شدند جهت اندازه‌گیری فعالیت آنزیم سوپراکسید دسموتاز از نمونه‌های که در ازت مایع نگهداری شده بودند مقدار ۴ گرم از نمونه برگی در بافر فسفات – تریس ۰/۱۶ مولار با pH= ۷/۵ خرد و هموژن گردید. آنگاه حجم مشابه از همان بافر دیجیتونین و آنزیم هضم‌کننده دیواره اضافه گشته و اجاز داده شد فرآیند هضم غشا و دیواره سلول انجام گیرد. در پایان مقدار ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول هموژن برای سنجش پروتئین توسط روش Lowry (1951) برداشته شده و مقدار پروتئین آن بر حسب میلی‌گرم بر میلی‌لیتر تعیین گردید.

سپس در باقی‌مانده محلول استخراجی مقدار سوپراکسید دیسموتاز اندازه‌گیری شد. بدین منظور از روش Misra (1979) استفاده شد که محلول زمینه بافر تریس (Tris / base) حاوی فسفات دی سدیک با Ph = ۷/۲ به همراه ۱/۳ میلی‌مولار مول EDTA به همراه ۰/۱ مول کربنات منوسدیک تهیه و از اپی نفرین با غلظت ۰/۲۵ میلی‌مول به عنوان سوبسترا استفاده گشته و سپس مجموعه عصاره به آنها اضافه و تغییرات جذب نوری حاصل از اکسیداسیون اپی نفرین اندازه‌گیری و به عنوان فعالیت آنزیمی ارزیابی شد. از آنزیم استاندارد و خالص برای استانداردشدن نتایج استفاده گشت که واحد آن قادر به اکسیداسیون ۰/۵ میلی‌مولار اپی نفرین در یک دقیقه باشد.

جهت اندازه‌گیری فعالیت کاتالاز ۴گرم از نمونه برگی در بافر فسفات تریس ۰/۱۶ مولاربا pH = ۷/۵ وارد، خرد و هموژن گردید. آنگاه اجازه داده شد حجم مشابه از همان بافر حاوی دیجیتونین و آنزیم هضم‌کننده دیواره فرآیند هضم غشا و دیواره سلول را انجام دهد. در پایان مقدار ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول هموژن برای سنجش پروتئین توسط روش Lowry (1951) برداشته شده و مقدار پروتئین آن بر حسب میلی‌گرم بر میلی‌لیتر تعیین گردید. پس از آن در باقی‌مانده محلول استخراجی مقدار آنزیم کاتالاز بر اساس روش Paglia & Valentine (1987) مورد انداه‌گیری قرار گرفت. در این روش شدت واکنش حذف آب اکسیژنه به عنوان سوبسترا ارزیابی شد. بافر زمینه برای کار حاوی ۰/۱۷ میلی‌مول فسفات دی سدیک با pH= ۷/۵ همراه ۰/۱۵ مول EDTA، ۰/۱۱ میلی مول کلرید منیزیم بود. یک واحد فعالیت آنزیم کاتالاز معادل نسبت تبدیل آب اکسیژنه در مدت یک دقیقه هنگامی که واکنش درجه اول پیش رود در نظر گرفته شد.

برای اندازه‌گیری آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز ۴ گرم از نمونه برگی در بافر فسفات تریس ۰/۱۶ مولار با pH= ۷/۵ وارد، خرد و هموژن گردید. آنگاه اجازه

Archive of SID

www.SID.ir

داده شد فرآیند هضم غشا و دیواره سلولی پیش برود. در پایان مقدار ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول هموژن برای سنجش پروتئین توسط روش Lowry (1951) برداشته شده و مقدار پروتئین آن بر حسب میلی‌گرم بر میلی لیتر تعیین گردید. سپس در باقی‌مانده محلول استخراجی مقدار آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. بر اساس روش Paglia & Valentine (1987) عصاره استخراجی به محلول بافر حاوی فسفات فتودینامیک ۰/۵۶ مول با pH = ۷ همراه با ۱/۲ مول EDTA و یک میلی‌مول نیترات سدیم و ۰/۲ میلی‌مولار NADPH وارد شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار آماری MSTATC و مقایسه میانگین‌ها توسط روش چنددامنه‌ای دانکن در سطح ($p<0/05$) صورت گرفت.

نتایج

میزان آنزیم‌های سوپراکسیداز، کاتالاز و گلاتاتیون پراکسیداز در تمامی ۳ مرحله برداشت در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار بوده است.

نتایج مقایسه میانگین‌ها در اولین مرحله برداشت نمونه برگی مطابق جدول ۱، بیشترین مقدار آنزیم سوپراکسید دسموتاز برای تیمار شماره ۴ (۵۵٪ ظرفیت مزرعه‌ای) با مقدار ۱۵۱۵، بیشترین مقدار آنزیم کاتالاز برای تیمار شماره ۶ (۱۰۰٪ ظرفیت مزرعه‌ای (مرحله رویشی)- ۷۰٪ ظرفیت مزرعه‌ای (مرحله زایشی) با میزان ۱۲۸/۱ و بیشترین مقدار آنزیم پراکسیداز برای تیمار شماره ۵ (۱۰۰٪ ظرفیت مزرعه‌ای (مرحله رویشی)- ۸۵٪ ظرفیت مزرعه‌ای (مرحله زایشی) با مقدار ۵۹/۳ مشاهده شدند.

نتایج مقایسه میانگین‌ها در مرحله دوم از برداشت نمونه برگی مطابق با جدول ۲، نشان داد که بیشترین مقدار هر سه آنزیم برای تیمار شماره ۴ (۵۵٪ ظرفیت مزرعه‌ای) (سوپراکسید دسموتاز ۱۵۱۵، کاتالاز ۱۳۵/۵ و گلاتاتیون پراکسیداز ۶۰/۸۳) با بیشترین شدت تنش اعمال شده بوده است.

همچنین نتایج مقایسه میانگین‌ها برای مرحله سوم برداشت نمونه برگی مطابق با جدول ۳ نیز برای هر سه مقدار آنزیم‌های آنتی اکسیداتیو حاکی از بیشترشدن مقدار آنزیم‌ها با افزایش تنش و بیشترین حد آنها را برای تیمار شماره ۴ (۵۵٪ ظرفیت مزرعه‌ای) (سوپراکسید دسموتاز: ۱۵۶۲، کاتالاز: ۱۳۸/۷ و گلاتاتیون پراکسیداز: ۶۵/۳۳) با بیشترین شدت تنش بود.

نتایج این تحقیق نشان داد که: در تمامی مرحل نمونه‌برداری و برای هر سه آنزیم همواره با افزایش شدت تنش خشکی مقدار فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیداتیو نیز روند صعودی داشته‌اند. همچنین نتایج نشان می‌داد که مقدار هر یک از آنزیم‌ها در هر مرحله از نمونه‌برداری برای هر تیمار نسبت به مرحله نمونه‌برداری قبل برای همان تیمار از نظر عددی روند افزایشی داشته است.

بحث و نتیجه‌گیری

فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت (سوپر اکسید دیسموتاز، کاتالاز و گلوتاتیون پراکسیداز) در اثر بروز تنش خشکی افزایش می‌یابد. افزایش این آنزیم‌ها در تیمار تنش به‌خاطر نقش مهم آنها در مقابله با رادیکال‌های آزاد تشکیل شده در اثر تنش خشکی می‌باشد. رادیکال‌های آزاد اکسیژن به برخی از ترکیبات سلولی نظیر لیپیدها، کربوهیدرات‌ها و

Archive of SID

www.SID.ir

پروتئین‌ها آسیب می‌رسانند که درنهایت به مرگ سلول منتج خواهد شد. آنزیم‌های آنتی اکسیدانت یکی از اجزای مهم در مکانیسم دفاعی گیاهان درنظر گرفته می‌شود. در هر سه مرحله نمونه‌برداری از مرحله تمام گل به بعد و با ادامه اعمال تنش خشکی افزایش آنزیم‌ها در تیماری بود که بیشترین شدت تنش (۵۵٪ ظرفیت مزرعه‌ای) را داشته است، همچنین نتایج تحقیقات عمان (۱۳۸۳)، ساعی (۱۳۸۳) و شافعی (۱۳۸۴) نشان می‌دهد که تنش خشکی سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپر اکسید دیسموتاز و گلوتاتیون پراکسیداز و کاتالاز می‌گردد. در مطالعات عمان (۱۳۸۳) و شافعی (۱۳۸۴) بین ارقام اختلاف معنی‌داری از لحاظ فعالیت آنزیم‌ها وجود نداشت. مطالعات کافی و مهدوی دامغانی (۱۳۷۹) نیز مبین آن است که فعالیت کاتالاز جهت کاهش اثرات بد ناشی از تنش‌های مختلف موثر است. تمام تحقیقات به‌عمل‌آمده با نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق مطابقت داشت. تمامی نتایج ارائه‌شده حاکی از بیشترشدن قدرت مقابله گیاه با تنش و حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن تشکیل شده در سلول‌های گیاهی در اثر تنش خشکی بوده است.

درنهایت باتوجه به نتایج می‌توان گیاه گل مکزیکی را تا حد زیادی مقاوم به تنش خشکی دانسته و توسعه کشت آن را در مناطق کم‌آب توصیه نمود.

جدول ۱- مقایسه میانگین مرحله اول برداشت نمونه‌های برگی جهت اندازه‌گیری کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دسموتاز

تیمار تنش خشکی	سوپراکسید دسموتاز	کاتالاز	پراکسیداز
تیمار ۱: ۱۰۰٪ ظرفیت مزرعه‌ای	۷۹۴/۷ c	۸۰/۹ b	۵۱/۶ a
تیمار ۲: ۸۵٪ ظرفیت مزرعه‌ای	۸۰۴/۷ c	۸۱/۰۷ b	۳۶/۶۷ ab
تیمار ۳: ۷۰٪ ظرفیت مزرعه‌ای	۱۱۳۷ b	۱۰۹ b	۳۶/۴۳ ab
تیمار ۴: ۵۵٪ ظرفیت مزرعه‌ای	۱۴۶۴ a	۱۳۰/۵ a	۴۵/۴۳ ab
تیمار ۵: ۱۰۰٪ ظرفیت مزرعه‌ای (مرحله رویشی)-۸۵٪ ظرفیت مزرعه‌ای (مرحله زایشی)	۷۹۹/۳ c	۸۶/۰۷ b	۵۹/۳ ab
تیمار ۶: ۱۰۰٪ ظرفیت مزرعه‌ای (مرحله رویشی)-۷۰٪ ظرفیت مزرعه‌ای (مرحله زایشی)	۸۱۱/۳ c	۱۲۸/۱ a	۴۳/۲ b
تیمار ۷: ۸۵٪ ظرفیت مزرعه‌ای (مرحله رویشی)-۱۰۰٪ظرفیت مزرعه‌ای (مرحله زایشی)	۸۰۴ c	۷۹/۹ b	۵۱/۱۷ b

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲- مقایسه میانگین مرحله دوم برداشت نمونه‌های برگی جهت اندازه‌گیری کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دسموتاز

تیمار تنش خشکی	سوپراکسید دسموتاز	کاتالاز	پراکسیداز
تیمار ۱: ۱۰۰٪ ظرفیت مزرعه‌ای	۸۳۱/۳ c	۸۴/۶ c	۳۶/۳ b
تیمار ۲: ۸۵٪ ظرفیت مزرعه‌ای	۸۳۷ c	۸۵/۲۷ c	۳۹/۹۷ b
تیمار ۳: ۷۰٪ ظرفیت مزرعه‌ای	۱۱۹۱ b	۱۱۳ b	۵۸/۹۳ a
تیمار ۴: ۵۵٪ ظرفیت مزرعه‌ای	۱۵۱۵ a	۱۳۵/۵ a	۶۰/۸۳ a
تیمار ۵: ۱۰۰٪ظرفیت مزرعه‌ای (مرحله رویشی)- ۸۵٪ ظرفیت مزرعه‌ای (مرحله زایشی)	۸۲۷/۷ c	۸۹/۴۷ c	۳۷ b
تیمار ۶: ۱۰۰٪ ظرفیت مزرعه‌ای (مرحله رویشی)- ۷۰٪ ظرفیت مزرعه‌ای (مرحله زایشی)	۸۳۹ c	۸۴/۱۳ c	۳۶/۹ b
تیمار ۷: ۸۵٪ ظرفیت مزرعه‌ای (مرحله رویشی)- ۱۰۰٪ ظرفیت مزرعه‌ای (مرحله زایشی)	۸۳۳ c	۸۴/۱۷ c	۵۸/۵ a

جدول ۳- مقایسه میانگین مرحله سوم برداشت نمونه های برگی جهت اندازه گیری کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دسموتاز

تیمار تنش خشکی	سوپراکسید دسموتاز	کاتالاز	پراکسیداز
تیمار ۱: ۱۰۰٪ظرفیت مزرعه‌ای	۸۶۸/۷ c	۸۹/۷۷ c	۴۰/۴۷ b
تیمار ۲: ۸۵٪ظرفیت مزرعه‌ای	۸۸۱/۷ c	۸۹/۷ c	۴۰/۹۷ b
تیمار ۳: ۷۰٪ظرفیت مزرعه‌ای	۱۲۳۶ b	۱۱۶/۱ b	۶۳/۴۷ a
تیمار ۴: ۵۵٪ظرفیت مزرعه‌ای	۱۵۶۲ a	۱۳۸/۷ a	۶۵/۳۳ a
تیمار ۵: ۱۰۰٪ظرفیت مزرعه‌ای (مرحله رویشی)- ۸۵٪ ظرفیت مزرعه‌ای (مرحله زایشی)	۸۷۱ c	۹۴/۰۷ c	۴۱/۶۳ b
تیمار ۶: ۱۰۰٪ظرفیت مزرعه‌ای (مرحله رویشی)- ۷۰٪ ظرفیت مزرعه‌ای (مرحله زایشی)	۸۷۹/۳ c	۸۸/۶۳ c	۴۰/۲۷ b
تیمار ۷: ۸۵٪ظرفیت مزرعه‌ای (مرحله رویشی)- ۱۰۰٪ظرفیت مزرعه‌ای (مرحله زایشی)	۸۷۶/۷ c	۸۸/۸۷ c	۶۲/۸۷ a

منابع

حسنی،ع. ۱۳۸۲. اثرات تنش‌های آبی و شوری کلرور سدیم بر برخی از خصوصیات مرفولوژیکی و فیزیولوژیکی ریحان رقم کشکنی لولو. رساله دکتری باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ۲۱۸ ص.

Archive of SID

www.SID.ir

ساعی،م. ۱۳۸۳. بررسی ارتباط برخی صفات مورفوفیزیولوژیکی با تحمل به خشکی ارقام مختلف سورگوم علوفه ای. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی. دانشگاه آزاد واحد کرج.

شافعی،س. ۱۳۸۴. مطالعه تاثیر تنش کمبود آب بر برخی از خصوصیات فیزیولوژیکی، عملکرد و اجرای عملکرد ارقام مختلف سویا. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی. دانشگاه آزاد واحد کرج.

عمان،ع. ۱۳۸۳. بررسی تاثیر خشکی بر عملکرد، اجزاء عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیکی در ژنوتیپ های مختلف آفتابگردان آجیلی. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی. دانشگاه آزاد واحد کرج.

کافی،م.، و ع.مهدوی دامغانی. ۱۳۷۹. مکانیسم‌های مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی. چاپ سوم: ۱۳۸۶. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

Aghdassi,E., and P.Johane. 2000. Breath alkanes as a marker of oxidative stress in difference clinical conditions. Free – radical Biol Med, 28:880-886, 2000.

Asada,R. 1992. As Corbate peroxidase – hydrogen peroxide – scavenging enzyme in plants. Physiol. plant. 85: 235-241.

Casper,B.B., I.N.Forseth, and D.A.Wait. 2006. A stage-based study of drought response in *Cryptantha flava* (Boraginaceae): gas exchange, water use efficiency, and whole plant performance. American Journal of Botany 93(7): 977–987.

Diaz,M.N.B. Frei, J.A.Vita, and J.K. Keaney. 1997. Antioxidants and Atherosclerotic Heart Disease. N. Engl. J. Med. 337: 408-416.

Esterbauer.H., J.Grebicki, H.Puhl, and G.Jugens. 1992. The Role of lipid proxidation and Antioxidants in oxidation Modification of LDL. Free Radic Bio Med: 100, 34-90.

Jaleel,C.A., P.Manivannan, A.Kishorekumar, B.Sankar, R.Gopi, R.Somasundaram, and R.Panneerselvam. 2007a. Alterations in osmoregulation, antioxidant enzymes and indole alkaloid levels in *Catharanthus roseus* exposed to water deficit. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 59:150–157.

Mates,J.M., and C.Perez-Gomez. 1999. Antioxidant Enzyme and Human Disease Chemical Biochemistry. Vol 32. No 8. 596-603.

Lowry,O., A.Rosebrough, A.Far, and R.Randall. 1951. Protein measurement with folin phenol reagent. Journal of Biological Chemistry. 193: 680-685.

Rahman.L., and W.A.Mackay. 1997. Texas. A & M Dallas, Texas Agricultural Experiment station, Research and Extension center, 17360 coit Road Dallas, TX 75252-6599, USA. E-mail address: L-rahman@tuma.edu.

Misra,H.P., and I.Fridorich. 1972. The generation of super oxide radical during auto oxidation, J. Biol. Chem, 247: 6960-6969.

Archive of SID

www.SID.ir

Nogues,S., and N.R.Baker. 2000. Effects of drought on photosynthesis in Mediterranean plants grown under enhanced UV-B radiation. Journal of Experimental Botany, 51 (348) :1309-1317.

Paglia,D.E., and Valentine-W.N. 1987. Studies on the Quantitative and Qualities Characterization of Glutathione Proxidase. J. Lab. Med. 70: 158-165.

Rag,M., G.Paliyath, and D.P.Ormrod. 1994. Ultraviolet-B and Ozon-Induced changes in the Antioxidant Enzymes of *Arabidopsis thalina*. plant Physiology. 110: 125-136.

Xia,L., W.Yang, and Y.Xiufeng. 2007. Effects of water stress on berberine, jatrorrhizine and palmatine contents in amur corktree seedlings. Acta Ecologica Sinica, 27(1):58−64.

Archive of SID

www.SID.ir