



به‌زرای کشاورزی

دوره ۱۹ ■ شماره ۲ ■ تابستان ۱۳۹۶
صفحه‌های ۴۲۰-۴۱۷

مطالعه ویژگی‌های مورفولوژیکی، بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی چمن آفریقایی تحت تأثیر کاربرد سدیم نیتروپروساید در شرایط تنش کم‌آبی

سهیلا طاهری^۱، مسعود ارغوانی^{۲*} و سید نجم‌الدین مرتضوی^۳

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.
۲. استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.
۳. استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۵/۱۹

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۵/۰۳/۳۰

چکیده

این پژوهش به منظور بررسی پاسخ‌های مورفوفیزیولوژیکی چمن آفریقایی (*Cynodon dactylon* (L.) Pers) به تنش کم‌آبی و کاربرد سدیم نیتروپروساید در سال ۱۳۹۴ در گروه علوم باغبانی دانشگاه زنجان انجام شد. سه سطح آب قابل دسترس خاک (۴۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد) و سدیم نیتروپروساید (صفر، ۲۵۰ و ۵۰۰ میکرومولار) به صورت یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار اعمال شدند. تنش کم‌آبی محتوای نسبی آب برگ و رشد شاخساره را کاهش داد. در صورتی‌که رشد ریشه، نسبت ریشه به شاخساره، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، نشت یونی، پرولین، فنل کل، و میزان کلروفیل برگ‌ها با کاهش آب قابل دسترس خاک افزایش یافت. کاربرد سدیم نیتروپروساید از طریق افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، میزان پرولین و کلروفیل برگ‌ها و همچنین کاهش نشت یونی، اثرات منفی تنش کم‌آبی را بهبود بخشید و این اثر در غلظت ۵۰۰ میکرومولار واضح تر بود. از این رو آزمایش غلظت‌های بالاتر این ماده پیشنهاد می‌شود.

کلیدواژه‌ها: آب قابل دسترس، پرولین، رشد شاخساره، فنل کل، کلروفیل، نیتریک اکساید.

۱. مقدمه

در سال‌های اخیر و به‌ویژه در کشورهایی با اقلیم بیابانی و نیمه بیابانی، به دلیل کمبود آب، گسترش و ایجاد فضاهای سبز جدید با محدودیت‌های جدی روبه‌رو گردیده است. میزان مصرف آب در چمن‌ها نه تنها در مناطق خشک و نیمه خشک، بلکه در مناطق مرطوب و نیمه مرطوب نیز در سال‌های اخیر به دلیل کاهش میزان بارندگی و افزایش درجه حرارت هوا چالش عمده مدیران فضای سبز بوده است [۳۰]. چمن آفریقایی^۱ گیاهی از تیره‌ی گندمیان^۲ و یکی از انواع مهم چمن می‌باشد. این چمن در مناطق گرم و خشک جهان به ویژه در جنوب ایران برای پوشش زمین‌های ورزشی به عنوان گیاهی زینتی در فضای سبز کشت و کار می‌شود [۳].

تنش کم‌آبی زمانی رخ می‌دهد که میزان کاهش آب گیاه در اثر تبخیر و تعرق بیشتر از جذب آب از خاک باشد و می‌تواند بسیاری از جنبه‌های متابولیسم و رشد گیاه را تحت تأثیر قرار دهد. کمبود آب با تأثیر بر آماس سلولی و باز و بسته شدن روزنه‌ها، می‌تواند فرایند فتوسنتز، تنفس و تعرق را تحت تأثیر قرار داده و از طرف دیگر با تأثیر بر فرآیندهای آنزیمی که به طور مستقیم با پتانسیل آب کنترل می‌شوند، بر رشد گیاه اثر منفی می‌گذارد [۲۷].

سدیم نیتروپروساید^۳ یک ترکیب رهاکننده‌ی نیتریک‌اکسید^۴ است. نیتریک‌اکسید یک ملکول فعال زیستی است که فعالیت‌های متنوعی را در سیستم‌های زنده اعمال می‌کند و یک گونه‌ی واکنش پذیر نیتروژن محسوب می‌شود. این ترکیب در تحریک جوانه‌زنی بذر، تقسیم سلولی، افزایش میزان کلروفیل و بسیاری از اعمال دیگر سلول دخالت داشته و با واکنش با گونه‌های فعال اکسیژن

آسیب ناشی از آن‌ها را کاهش می‌دهد [۹]. در شرایط تنش، تولید فزاینده نیتریک‌اکسید در اندام‌های گوناگون گیاه دیده شده است. سدیم نیتروپروساید از طریق کاهش نشت یونی و بهبود فتوسنتز سبب افزایش تحمل به خشکی در گیاهان می‌شود [۲۳]. در پژوهشی که روی دو گونه چمن بنت‌گراس و فستوکای بلند انجام شد کاربرد سدیم نیتروپروساید توانست محتوی نسبی آب برگها، میزان کلروفیل، پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت را در شرایط تنش خشکی افزایش و میزان نشت یونی سلولها را کاهش دهد [۱۳]. پیش تیمار نشای برنج با نیتریک‌اکسید در مقایسه با گیاهان شاهدی که در معرض تنش دمایی و شوری قرار گرفته بودند، سبب بقای بیشتر بافت برگ سبز و عملکرد کوآنتمومی فتوسیستم II شد [۳۶]. با بررسی اثر سدیم نیتروپروساید بر روی گیاه پنبه تحت تنش شوری ثابت شد که سدیم نیتروپروساید باعث بهبود بخشیدن اثرات ناشی از تنش شوری و افزایش کلروفیل در برگ‌ها می‌شود [۲۱]. هدف از انجام پژوهش حاضر، با توجه به مطالعات گذشته در رابطه با سایر گیاهان و با هدف افزایش تحمل به کم‌آبی چمن آفریقایی، بررسی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی این گیاه تحت تاثیر کاربرد سدیم نیتروپروساید می‌باشد.

۲. مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر سدیم نیتروپروساید بر تحمل به کم‌آبی چمن آفریقایی، پژوهشی طی سال‌های ۹۴-۱۳۹۳ در گلخانه تحقیقاتی گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان به انجام رسید. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۴ تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل ۳ سطح آبیاری (۴۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد آب قابل دسترس) و سدیم نیتروپروساید در ۳ سطح (صفر، ۲۵۰ و ۵۰۰ میکرومولار) بود. برای این منظور

1. (*Cynodon dactylon* (L.) Pers)
2. Poaceae
3. Sodium nitroprosside (SNP)
4. Nitric oxide (NO)

برای اندازه‌گیری رشد شاخساره پس از هر سربرداری، چمن‌های چیده شده به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند و وزن خشک آن‌ها محاسبه شد. در پایان آزمایش پس از خارج کردن گیاهان از گلدان، ریشه‌ها جدا شدند و وزن خشک بخش هوایی چمن‌ها محاسبه شد. میزان رشد شاخساره از مجموع وزن خشک چمن‌های زده شده در ۸ هفته دوره آزمایش و وزن خشک بخش هوایی چمن‌ها در پایان آزمایش به دست آمد. برای محاسبه میزان رشد ریشه‌ها، در پایان آزمایش پس از خارج کردن گیاهان از گلدان ریشه‌ها جدا شده و پس از شستشو و جدا شدن ذرات ماسه، به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند و وزن خشک آن‌ها محاسبه شد. نسبت ریشه به شاخساره از تقسیم وزن خشک ریشه و شاخساره به دست آمد [۱].

میزان پرولین با استفاده از معرف نین‌هیدرین مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. در این روش از معرف نین‌هیدرین و اسید استیک گلاسیال برای اندازه‌گیری پرولین استفاده شد و نتایج بر حسب میکرو مول بر گرم وزن تر برگ‌ها گزارش گردید [۸].

به منظور محاسبه نشت یونی، نمونه‌های برگ‌ها همراه با آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت روی شیکر قرار داده شدند و هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شد. پس از آن نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در اتوکلاو با دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و پس از سرد شدن، مجدداً هدایت الکتریکی آن‌ها اندازه‌گیری شد. میزان نشت یونی به صورت درصد، از تقسیم هدایت الکتریکی اولیه بر هدایت الکتریکی سلول‌های مرده محاسبه شد [۳۳].

جهت اندازه‌گیری میزان کلروفیل، عصاره‌گیری از برگ‌ها با استون ۸۰ درصد انجام شد. سپس نمونه‌ها در دستگاه سانتی‌فیوژ با سرعت ۵۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲۰ دقیقه قرار گرفتند. میزان جذب روشن‌آور در طول

بذرهای چمن آفریقایی در گلدان‌هایی به ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر و قطر ۱۴ سانتی‌متر که با خاک شن لومی پر شده بودند، کاشته و رشد یافتند. چمن‌ها ضمن دریافت آب کافی تا زمان شروع اعمال تیمارها به صورت هفتگی با کود کامل کریستالون (۲۰-۲۰-۲۰) کوددهی شدند. تا زمان اعمال تیمارها، چمن‌ها به صورت هفتگی از ارتفاع ۴ سانتی‌متری به صورت دستی سربرداری شده و با آبیاری کافی اجازه داده شد تا کاملاً استقرار یابند. با استقرار کامل گیاهان پس از شش ماه و پوشش کامل سطح گلدان، اعمال تیمارها به مدت هشت هفته انجام شد. به منظور اعمال تنش کم‌آبی، میزان رطوبت خاک در حالت ظرفیت زراعی^۱ (۳۱/۴ درصد حجمی) و نقطه پژمردگی دائم^۲ (۱۰/۲ درصد حجمی) در آزمایشگاه خاک‌شناسی مشخص شد. از تفاضل اعداد رطوبتی ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم، میزان آب قابل دسترس^۳ (۲۰/۲ درصد حجمی) به دست آمد و تیمارهای ۱۰۰، ۷۰ و ۴۰ درصد آب قابل دسترس اجرا شدند. برای اندازه‌گیری رطوبت خاک و محاسبه تغییرات آن در حد فاصل دو آبیاری از دستگاه تترپروب^۴ استفاده شد. به منظور کالیبره کردن دستگاه از آب (رطوبت ۱۰۰ درصد) و خاک کاملاً خشک (رطوبت صفر) استفاده شد. در طول آزمایش به منظور پی بردن به میزان رطوبت خاک گلدانها، سنسورهای دستگاه در عمق ۱۲ سانتی‌متری خاک قرار داده می‌شدند و رطوبت حجمی خاک ثبت می‌گردید. رطوبت خاک بارها اندازه‌گیری شده و در زمان‌های معین بر اساس تیمارهای آزمایش آبیاری انجام می‌شد. سدیم نیتروپروساید طی هشت مرحله به صورت هفتگی و به صورت اسپری (۲۰ سی‌سی در هر گلدان) بر روی گیاهان محلول پاشی شد. پس از هشت هفته از اعمال تیمارها، اندازه‌گیری صفات مورد نظر صورت گرفت.

1. Field capacity
2. Permanent wilting point
3. Available water
4. Theta Probe (Spectrum, TDR 100, USA)

عصاره گیاهی با نیم میلی لیتر از معرف فولین و ۷ میلی لیتر آب مقطر مخلوط شد و به مدت سه دقیقه در دمای اتاق قرار گرفت، سپس یک میلی لیتر کربنات سدیم ۲۰ درصد به مخلوط اضافه شد. پس از گذشت یک ساعت مقدار جذب رنگ در طول موج ۷۲۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد [۳۱].

در نهایت، تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS (9.1) انجام شد و جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن (سطح احتمال پنج درصد) استفاده شد. رسم نمودارها به کمک نرم افزار Excel صورت گرفت.

۳. نتایج و بحث

نتایج نشان داد کمترین وزن خشک ریشه (۷/۷۶ گرم) در تیمار آبیاری کامل و بیشترین آن (۹/۹۱ گرم) در تنش شدید رطوبتی به دست آمد. همچنین، نتایج نشان داد که سدیم نیتروپروساید باعث افزایش وزن خشک ریشه گردید. اگر چه تفاوت معنی داری در غلظت‌های ۲۵۰ و ۵۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید مشاهده نشد (شکل ۱). اثر متقابل تنش کم آبی و سدیم نیتروپروساید بر وزن خشک شاخساره و ریشه و نسبت ریشه به شاخساره معنی دار نشد.

افزایش وزن ریشه در گندمیان تحت شرایط کم آبی به عنوان یکی از مهمترین مکانیسم‌های سازگاری جهت بهبود کارایی جذب آب مطرح شده است [۱۶]. ریشه‌ها توانایی بیشتری در حفظ فشار تورژسانس به دلیل تعدیل اسمزی نسبت به برگ‌ها دارند. تفاوت در حساسیت بین شاخساره و ریشه در شرایط تنش کم آبی احتمالاً در ارتباط با اثرات آبسزیک اسید است که موجب جلوگیری از رشد شاخساره شده، در حالیکه رشد ریشه را حفظ می‌کند [۱۴].

موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر به ترتیب برای کلروفیل a و b توسط اسپکتروفتومتر قرائت شد و کلروفیل کل بر اساس فرمول (۱) محاسبه گردید [۴].

(۱)

$$\text{Chl total} = [20.2(A_{645}) + 8.02(A_{663})] \times V / (1000W)$$

که در این رابطه W وزن تازه بافت استخراج شده و V حجم نهایی عصاره کلروفیل در استون ۸۰ درصد می‌باشد. محتوای نسبی آب برگ طبق فرمول (۲) محاسبه شد. که در فرمول (FW) برابر است با وزن تر نمونه‌های برگ، (SW) وزن تر نمونه‌هایی که به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق خیس‌انده شده‌اند و (DW) وزن خشک نمونه‌های برگ است [۷].

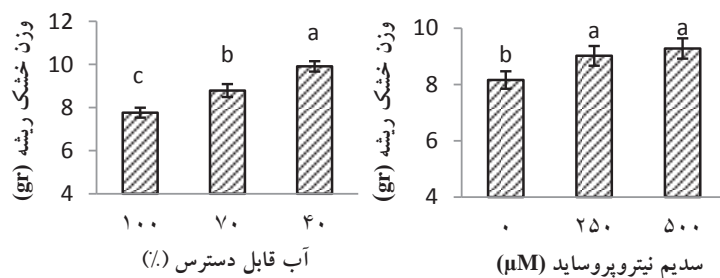
$$\text{RWC} = (\text{FW} - \text{DW}) / (\text{SW} - \text{DW}) \times 100 \quad (۲)$$

استخراج عصاره برگ، جهت اندازه گیری فنل کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی با استفاده از متانول و استیک اسید انجام شد [۵]. برای محاسبه ظرفیت آنتی‌اکسیدانی ۵۰ میکرولیتر از عصاره گیاهی و ۹۵۰ میکرولیتر از محلول (DPPH) ۰/۱ نرمال با هم مخلوط شد و به مدت ۳۰ دقیقه در یک محفظه تاریک در دمای اتاق نگه‌داری گردیدند. نمونه بلانک و استاندارد به ترتیب شامل یک میلی لیتر حلال استخراج و یک میلی لیتر محلول ۰/۱ نرمال (DPPH) بود. میزان جذب استاندارد و نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۷ نانومتر تعیین گردید. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ها به صورت درصد بازدارندگی رادیکالهای آزاد اکسیژن (DPPH) با استفاده از رابطه (۳) محاسبه گردید [۱۱].

$$\text{DPPH} = [(A_{\text{cont}} - A_{\text{samp}}) / (A_{\text{cont}})] \times 100 \quad (۳)$$

که در این رابطه DPPH درصد بازدارندگی رادیکال آزاد، A_{cont} میزان جذب DPPH و A_{samp} میزان جذب عصاره هستند. برای اندازه‌گیری فنل کل نیم میلی لیتر از

مطالعه ویژگی‌های مورفولوژیکی، بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی چمن آفریقایی تحت تأثیر کاربرد سدیم نیتروپروساید در شرایط تنش کم‌آبی



شکل ۱. تأثیر سطوح مختلف آبیاری و سدیم نیتروپروساید بر وزن خشک ریشه چمن آفریقایی در هر نمودار میانگین‌های دارای حرف مشترک اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

جدول ۱. تجزیه واریانس اثر تنش کم‌آبی و سدیم نیتروپروساید بر برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی چمن آفریقایی

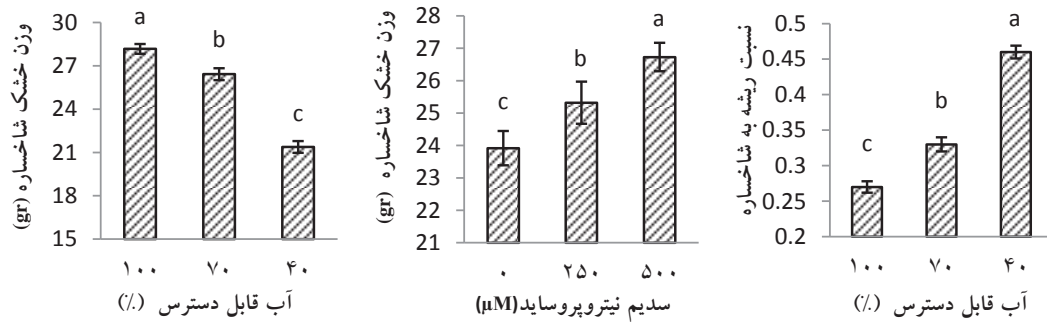
میانگین مربعات					
منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن خشک ریشه	نسبت شاخساره	وزن خشک ریشه به شاخساره	نسبت یونی کلروفیل
آب قابل دسترس	۲	۱۳/۹۱**	۱۴۹/۱۸**	۰/۱۱۲۰**	۱۴۳/۳۰**
سدیم نیتروپروساید	۲	۴/۱۱**	۲۳/۵۹**	۰/۰۰۰۶ ^{NS}	۲۲۴/۵۳**
آب قابل دسترس × سدیم نیتروپروساید	۴	۰/۵۲ ^{NS}	۰/۳۳ ^{NS}	۰/۰۰۰۶ ^{NS}	۳۳/۱۹*
خطا	۲۷	۰/۶۲	۰/۴۱	۰/۰۰۰۹	۹/۸۸
ضریب تغییرات	-	۸/۹۲	۲/۵۴	۸/۷۱	۵/۱۹

** معنی دار در سطح احتمال یک درصد * معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد ^{NS}: غیر معنی دار

ادامه جدول ۱. تجزیه واریانس اثر تنش کم‌آبی و سدیم نیتروپروساید بر برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی چمن آفریقایی

میانگین مربعات					
منابع تغییرات	درجه آزادی	محتوای نسبی آب برگ	پرویلین	آنتی اکسیدانت کل	فنل کل
آب قابل دسترس	۲	۳۰۱/۲۰**	۱۵/۸۸**	۵۳۶/۷۳**	۰/۰۰۰۳**
سدیم نیتروپروساید	۲	۶۴/۱۱**	۲/۱۶**	۹۴/۷۱**	۰/۰۰۰۴**
آب قابل دسترس × سدیم نیتروپروساید	۴	۹/۹۹ ^{NS}	۰/۴۴*	۳۱/۶۳**	۰/۰۰۰۰۳ ^{NS}
خطا	۲۷	۱۱/۴۶	۰/۱۶	۳/۹۹	۰/۰۰۰۰۲
ضریب تغییرات	-	۵/۷۰	۱۰/۲۸	۱۰/۲۸	۱۱/۰۶

** معنی دار در سطح احتمال یک درصد * معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد ^{NS}: غیر معنی دار



شکل ۲. تأثیر سطوح مختلف آبیاری و سدیم نیتروپروکساید بر وزن خشک شاخساره و نسبت ریشه به شاخساره چمن آفریقای در هر نمودار میانگین‌های دارای حرف مشترک اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

تنش کم‌آبی سودمند است، زیرا به کاهش تعرق می‌انجامد [۲۲]. کاهش رشد شاخساره در شرایط تنش کم‌آبی می‌تواند تحت تأثیر تخصیص بیشتر مواد فتوسنتزی تولیدی گیاه به سمت ریشه‌ها و یا در اثر کاهش بازدهی فتوسنتز باشد [۳۷]. کمبود آب موجب کاهش تورژسانس سلولی شده و در نهایت کاهش رشد و توسعه سلولی به خصوص در ساقه و برگ‌ها را به دنبال خواهد داشت. با کاهش رشد سلول، اندازه اندام محدود می‌شود و به همین دلیل است که اولین اثر محسوس کم‌آبی روی گیاه را می‌توان از روی کاهش ارتفاع یا اندازه کوچکتر برگ‌ها تشخیص داد [۳۴]. گزارش شده است سدیم نیتروپروکساید با جلوگیری از تخریب کلروفیل، پیری برگ‌ها را به تأخیر می‌اندازد و می‌تواند با طولانی کردن دوره‌ی فتوسنتز سبب افزایش وزن خشک شاخساره شود [۳۵]. تنش کم‌آبی رشد شاخساره را کم و در نتیجه به رشد ریشه نزدیک تر می‌کند، بنابراین نسبت ریشه به شاخساره به سمت یک میل خواهد کرد. از این نظر گیاهان مختلف پاسخ‌های متفاوتی را در برابر تنش کم‌آبی نشان می‌دهند [۲۰]. در پژوهش حاضر نیز به نظر می‌رسد یکی از سازوکارهای مهمی که در افزایش جذب آب و جلوگیری از تنش کم‌آبی دخالت دارد کاهش رشد شاخساره و افزایش رشد ریشه است.

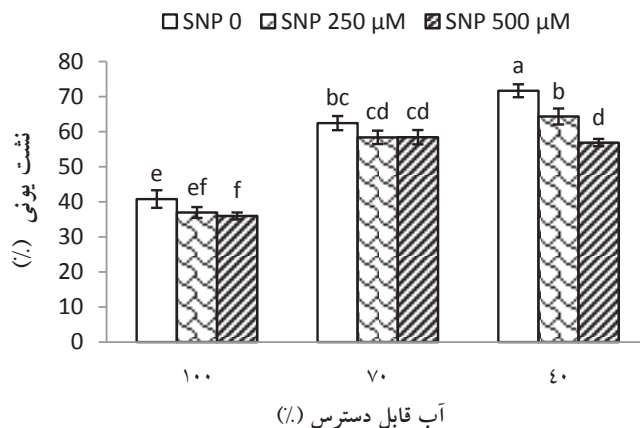
در طول تنش کم‌آبی، تخصیص کربن به ریشه‌ها نسبت به شاخساره افزایش یافته و به ادامه حیات ریشه در تنش کم‌آبی کمک می‌کند [۱۵]. استفاده از نیتریک اکسید اثر نامناسب تنش فلزهای سنگین و شوری روی رشد ریشه را کاهش و مقدار رشد ریشه را نسبت به شرایط تنش افزایش داده است [۱۹].

گزارش شده است که در شرایط تنش کم‌آبی کاربرد نیتریک اکساید سبب افزایش کلروفیل و فتوسنتز می‌شود و در نتیجه می‌تواند با بهبود رشد شاخساره گیاه به طور غیر مستقیم بر رشد ریشه نیز اثر مثبت داشته باشد [۲]. همچنین، نیتریک اکساید می‌تواند با افزایش تولید اکسین ریشه‌زایی را در گیاه افزایش دهد [۲۶].

طبق نتایج با افزایش شدت تنش، وزن خشک شاخساره به طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد. افزایش غلظت سدیم نیتروپروکساید منجر به افزایش وزن خشک شاخساره شد. همچنین، با کاهش آب قابل دسترس نسبت ریشه به شاخساره افزایش یافت اما اثر سدیم نیتروپروکساید بر نسبت ریشه به شاخساره معنی‌دار نشد (شکل ۲).

از جمله آثار فیزیولوژیکی تنش کم‌آبی روی گیاهان، کاهش رشد رویشی به ویژه رشد شاخساره و کاهش طولی شدن سلول‌ها است. کاهش سطح برگ در شرایط

مطالعه ویژگی‌های مورفولوژیکی، بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی چمن آفریقایی تحت تأثیر کاربرد سدیم نیتروپروساید در شرایط تنش کم‌آبی



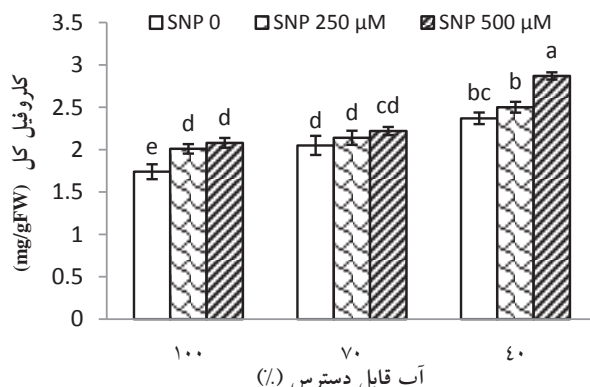
شکل ۳. برهمکنش تنش کم‌آبی و سدیم نیتروپروساید بر نشت یونی برگ چمن آفریقایی میانگین‌های دارای حرف مشترک اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

افزایش و نشت یونی کاهش می‌یابد [۲۱]. مطابق با نتیجه‌های این پژوهش گزارش شد که تیمار برگ‌های برنج معطر با سدیم نیتروپروساید مقدار نشت یونی را کاهش داده و باعث افزایش مقاومت گیاه به تنش کم‌آبی شده است [۱۲]. از طرف دیگر در پژوهشی که روی گیاه لوبیا در شرایط تنش خشکی انجام شد، نشت یونی در قطعات جدا شده برگ گیاهانی که با سدیم نیتروپروساید تیمار شده بودند افزایش اندکی نشان داد که این می‌تواند به دلیل اثر نیتریک اکساید در افزایش میزان کلسیم برگها باشد [۳۸].

بررسی اثر متقابل سدیم نیتروپروساید و تنش کم‌آبی نشان می‌دهد که کاربرد سدیم نیتروپروساید سبب افزایش میزان کلروفیل در شرایط تنش شده است. بیشترین میزان کلروفیل در ۴۰ درصد آب قابل دسترس با غلظت ۵۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید مشاهده شد و کمترین مقدار کلروفیل در تیمار شاهد (۱۰۰ درصد آب قابل دسترس) به دست آمد (شکل ۴).

نتایج نشان داد تنش کم‌آبی مقدار نشت یونی را به طور معنی‌داری افزایش داد، اما تیمار با سدیم نیتروپروساید توانست مقدار نشت یونی را کاهش دهد. بیشترین مقدار نشت یونی در ۴۰ درصد آب قابل دسترس و در غلظت صفر سدیم نیتروپروساید و کمترین مقدار نشت یونی در ۱۰۰ درصد آب قابل دسترس و غلظت ۵۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید مشاهده شد (شکل ۳).

از جمله شاخص‌های فیزیولوژیکی مهم در ارزیابی تنش کم‌آبی، نشت یونی است. افزایش نشت یونی نشان دهنده بروز آسیب‌های غشایی است [۱۷]. تنش کم‌آبی با القای تنش اکسیداتیو و تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن، سبب پراکسیداسیون اسیدهای چرب غشاهای سلولی شده و نفوذپذیری غشا و نشت یونی را افزایش می‌دهد. نتایج حاصل با نتایج مطالعات پیشین که گزارش شده است با پیشرفت تنش، نشت یونی افزایش می‌یابد همخوانی دارد [۱۳]. سدیم نیتروپروساید می‌تواند با افزایش توان دفاع آنتی‌اکسیدانی گیاه خسارات ناشی از گونه‌های واکنش‌پذیر اکسیژن را کاهش دهد و بدین ترتیب پایداری غشاء



شکل ۴. برهمکنش تنش کم آبی و سدیم نیتروپروساید بر محتوای کلروفیل کل برگ چمن آفریقایی میانگین‌های دارای حرف مشترک اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

همسو با یافته‌های این پژوهش، در مطالعه‌ای که روی دو گونه چمن سردسیری انجام شد، کاربرد سدیم نیتروپروساید توانست سبب افزایش میزان کلروفیل برگ‌ها در شرایط تنش خشکی شود [۱۳]. به نظر می‌رسد که اثر نیتریک اکسید به واکنش آن با گونه‌های فعال اکسیژن^۱ برمی‌گردد، زیرا رادیکال‌های آزاد اکسیژن اصلی‌ترین عاملی هستند که در شرایط تنش باعث شکستن رنگیزه‌های فتوسنتزی و پروتئین‌های ساختاری سیستم فتوسنتزی می‌شوند. [۱۸]. اثر سدیم نیتروپروساید در افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت که سبب خنثی کردن رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌شوند در چمنهای فستوکا و بنت‌گرس گزارش شده است [۱۳].

نتایج نشان می‌دهد که محتوای نسبی آب برگ با کاهش آب قابل دسترس، کاهش پیدا می‌کند. بیشترین کمترین محتوای نسبی آب برگ به ترتیب مربوط به ۱۰۰ درصد آب قابل دسترس با میانگین ۶۳/۶۴ درصد و ۴۰ درصد آب قابل دسترس با میانگین ۵۳/۸۶ درصد می‌باشد (شکل ۵). برهمکنش تنش کم آبی و سدیم نیتروپروساید بر محتوای نسبی آب برگ معنی‌دار نشد. محتوای نسبی آب برگ شاخصی است که نشان دهنده

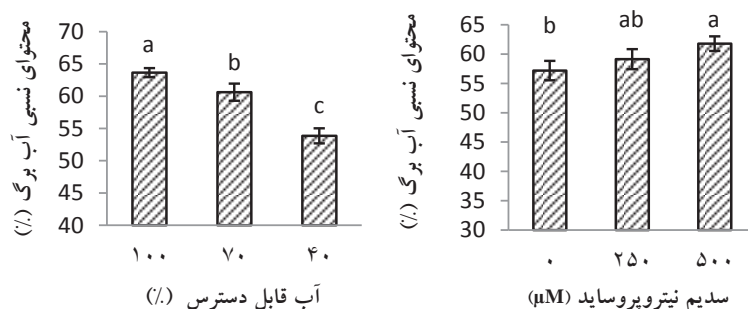
دوام فتوسنتز و حفظ کلروفیل برگ تحت شرایط تنش از جمله شاخص‌های فیزیولوژیکی مقاومت به تنش است. گزارش‌ها در مورد تأثیر تنش کم آبی بر میزان کلروفیل برگ متفاوت است. افزایش، کاهش یا عدم تغییر میزان کلروفیل برگ تحت شرایط تنش کم آبی با توجه به نوع محصول، مرحله رشد، طول دوره تنش و شدت تنش کم آبی گزارش شده است [۲۷]. یکی از اثرات تنش کم آبی، کاهش تقسیم سلولی و نیز کاهش اندازه سلول است در این شرایط تعداد کلروپلاست در واحد سطح افزایش یافته و میزان کلروفیل افزایش می‌یابد [۲۸]. در شرایط تنش کم آبی، به دلیل کاهش سطح برگ، تجمع کلروفیل افزایش می‌یابد. اما، به علت تعرق بالا گیاه آب بیشتری از دست می‌دهد و در نتیجه محتوای نسبی آب برگ و به دنبال آن فتوسنتز کاهش می‌یابد. افزایش میزان کلروفیل در اثر تنش کم آبی در گیاه گلرنگ نیز گزارش شده است [۲]. این احتمال وجود دارد که کم آبی با کاهش سطح برگ، باعث تجمع کلروفیل در سطح کمتر برگ‌ها و بنابراین افزایش غلظت آن شده باشد. اگر تنش کم آبی خیلی شدید نباشد، میزان کلروفیل در اثر تنش افزایش نشان می‌دهد که این افزایش احتمالاً به دلیل کاهش وزن تر گیاه است. به دلیل این که کلروفیل بر اساس وزن تر بیان می‌شود. در گیاهان تحت تنش برای اندازه‌گیری کلروفیل مقدار بیشتری از برگ استفاده می‌شود [۱].

1. Reactive Oxygen Species (ROS)

مطالعه ویژگی‌های مورفولوژیکی، بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی چمن آفریقایی تحت تأثیر کاربرد سدیم نیتروپروساید در شرایط تنش کم‌آبی

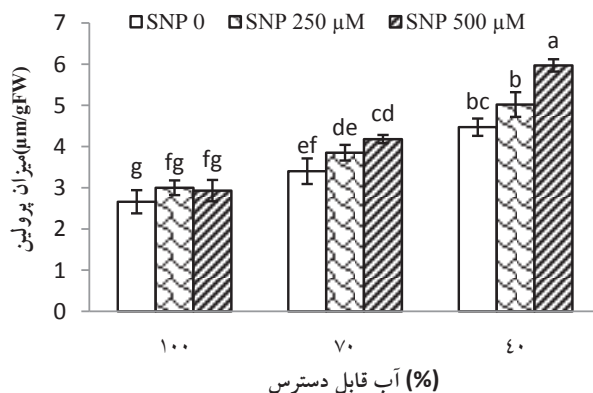
با سدیم نیتروپروساید مانع از دست رفتن آب در شرایط تنش گردید. گزارش شده است که نیتریک اکسید باعث بسته شدن روزنه‌ها و افزایش تجمع پرولین می‌شود که بدین وسیله از کاهش محتوای نسبی آب برگ جلوگیری می‌کند [۲۵]. کاربرد نیتریک اکسید در گیاه گندم در شرایط تنش کم‌آبی مقدار از دست دادن آب برگ را کاهش داده است و مقاومت گیاه در مقابل صدمه ناشی از تنش کم‌آبی را افزایش داد [۲۳]. نتایج نشان داد بیشترین تجمع پرولین در تنش شدید کم‌آبی (۴۰ درصد آب قابل دسترس) و با غلظت ۵۰۰ میکرو مولار سدیم نیتروپروساید مشاهده شد (شکل ۶).

میزان آب موجود در اندام‌های گیاه یا شادابی آن بوده و قابلیت یک گیاه در حفظ آب تحت شرایط تنش را مشخص می‌نماید. هر چه محتوای نسبی آب برگ بالاتر باشد، توانایی حفظ آب در گیاه نیز بالاتر خواهد بود. کاهش محتوای نسبی آب برگ به دلیل کاهش پتانسیل آب برگ رخ می‌دهد. در بیشتر گونه‌ها وقتی که جذب آب توسط ریشه با میزان تعرق و آب از دست‌دهی برگ‌ها برابر باشد، محتوای نسبی آب برگ حدود ۸۵-۹۵ درصد است [۳۴]. کاهش میزان محتوای نسبی آب برگ با افزایش تنش کم‌آبی در جنس‌های مختلف چمن گزارش شد که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد [۱۳]. در این پژوهش تیمار

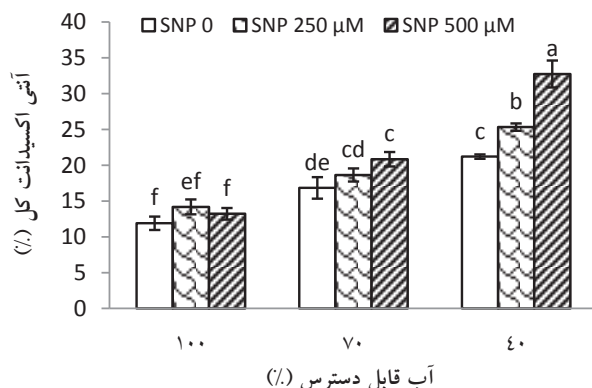


شکل ۵. تأثیر سطوح مختلف آبیاری و سدیم نیتروپروساید بر محتوای نسبی آب برگ چمن آفریقایی

در هر نمودار میانگین‌های دارای حرف مشترک اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.



شکل ۶. برهمکنش تنش کم‌آبی و سدیم نیتروپروساید بر میزان پرولین برگ چمن آفریقایی میانگین‌های دارای حرف مشترک اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.



شکل ۷. برهمکنش تنش کم آبی و سدیم نیتروپروساید بر آنتی اکسیدانت کل برگ چمن آفریقایی میانگین‌های دارای حرف مشترک اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

همچنین در تنش کم آبی به نظر می‌رسد که سدیم نیتروپروساید نقش القایی در بیوسنتز پرولین در این شرایط داشته است. زیرا گزارش شده که نیتریک اکسید از طریق بیوسنتز آبسزیک اسید باعث تشویق سنتز پرولین می‌گردد [۲۳]. نتایج نشان می‌دهد که فعالیت آنتی اکسیدانی دارای روند افزایشی از تیمار شاهد تا تنش شدید کم آبی است. بیشترین میزان آنتی اکسیدانت کل مربوط به تنش شدید کم آبی با غلظت ۵۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید بود (شکل ۷).

در شرایط تنش کم آبی، به منظور مقابله با تنش اکسیداتیو، فعالیت آنتی اکسیدانی گیاه افزایش می‌یابد [۱۳]. همچنین، مطالعه انجام شده روی گیاه گوجه فرنگی تحت تنش کم آبی نشان داد که نیتریک اکسید مانع عملکرد گونه‌های فعال اکسیژن شده و خسارت ناشی از این رادیکال‌های آزاد اکسیژن را کاهش می‌دهد [۲۴]. نیتریک اکسید در غلظت ۵۰ میکرومولار سبب تحریک آنزیم‌های خنثی کننده رادیکال‌های آزاد اکسیژن شد و تجمع پراکسید هیدروژن را در میتوکندری ریشه‌های خیار که در معرض تنش شوری قرار گرفتند را کاهش داد [۳۲]. به‌طور کلی، نیتریک اکسید در واکنش‌های انگیزش آنزیم‌های

زمانی که گیاه در معرض تنش کم آبی قرار می‌گیرد، تجزیه پروتئین‌ها و در نتیجه افزایش آمینواسیدها و آمیدها تسریع می‌شود. یکی از این آمینواسیدها پرولین است [۶]. در پاسخ به تنش کم آبی فرایندهای متابولیکی خاصی در گیاهان 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 تورژسانس می‌شوند. تعداد زیادی از ترکیبات سنتز می‌شوند که نقش کلیدی را در حفظ تعادل اسمزی، حفاظت غشا و ماکرومولکول‌ها دارند که یکی از مهمترین آن‌ها پرولین است [۲۲]. پرولین با کاهش تولید اکسیژن آزاد در کاهش آسیب نوری در غشای تیلاکوئیدها مؤثر است [۱۰].

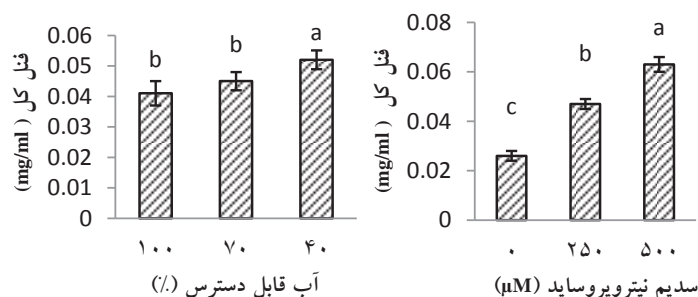
تیمار با سدیم نیتروپروساید در این پژوهش باعث افزایش مقدار پرولین تحت شرایط کم آبی گردید. نتیجه مشابهی در چمنهای دیگر بدست آمده است [۱۳]. به نظر می‌رسد که نیتریک اکسید در شرایط تنش کم آبی می‌تواند با افزایش سنتز و تجمع پرولین که یک ترکیب فعال اسمزی است به چمن‌ها کمک کرده که محتوای نسبی آب برگ خود را حفظ کرده و در نتیجه کاهش آماس یاخته‌ای که در چنین شرایطی رخ می‌دهد را جبران کنند [۲۱].

مطالعه ویژگی‌های مورفولوژیکی، بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی چمن آفریقایی تحت تأثیر کاربرد سدیم نیتروپروساید در شرایط تنش کم‌آبی

ملایم و شاهد اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. تیمار با سدیم نیتروپروساید باعث افزایش مقدار این ترکیبات شده است (شکل ۸). برهمکنش تنش کم‌آبی و سدیم نیتروپروساید بر میزان فنل کل برگ معنی‌دار نشد.

آنتی‌اکسیدانی نقش دارد و به‌عنوان از بین برنده رادیکال‌های آزاد نیز عمل می‌کند [۹].

نتایج نشان داد که بیشترین میزان فنل کل تحت تیمار تنش شدید کم‌آبی مشاهده شد، ولی بین تیمارهای تنش



شکل ۸. تأثیر سطوح آبیاری و سدیم نیتروپروساید بر فنل کل برگ چمن آفریقایی

در هر نمودار میانگین‌های دارای حرف مشترک اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

کاربرد ۵۰۰ میکرومولار نتیجه بهتری از ۲۵۰ میکرومولار در بر داشت و این احتمال وجود دارد که غلظت‌های بالاتر از ۵۰۰ میکرومولار مفیدتر باشد. البته حجم مصرفی محلول در واحد سطح هم باید مد نظر قرار گیرد.

گزارش شده است ترکیبات فنلی با دادن الکترون به آنزیم‌های پراکسیداز و سم‌زدایی آب اکسیژنه تولید شده، می‌توانند در سلول به عنوان آنتی‌اکسیدانت عمل کنند [۲۹]. افزایش مقدار ترکیبات فنلی احتمالاً به دلیل نقش آنتی‌اکسیدانی آنها در برابر گونه‌های واکنش‌پذیر اکسیژن است. بسیاری از ترکیبات فنلی از پالایند‌های بسیار کارآمد پراکسید هیدروژن، رادیکال‌های هیدروکسیل و پراکسیل می‌باشند و به همین دلیل می‌توانند متوقف‌کننده زنجیره پراکسیداسیون لیپید و باعث ثبات غشاها باشند [۲۹].

منابع

۱. ارغوانی م (۱۳۸۸) مطالعه فیزیولوژی و مورفولوژیکی چمن‌های لولیوم و پوآ پراتنسیس، تحت تأثیر کاربرد ترنگزایک اتیل، مدیریت سربرداری و منبع نیتروژن در شرایط تنش شوری. دانشگاه تهران. تهران. رساله دکتری.
۲. عرب ص، برادران فیروزآبادی م و اصغری ح (۱۳۹۴) تأثیر محلول پاشی اسید آسکوربیک و سدیم نیتروپروساید بر رنگیزه‌های فتوسنتزی و برخی صفات گلرنگ بهاره در شرایط تنش کم‌آبیاری. تولیدات گیاهی. ۳۸: ۱۰۳-۹۳.
۳. فلاحیان ا (۱۳۸۷) چمن: فناوری، احداث و نگهداری انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۹۰ صفحه.

در مجموع، با توجه به اثر سدیم نیتروپروساید در کاهش مقدار نشت یونی و حفظ محتوای نسبی آب برگ و افزایش میزان کلروفیل، پرولین، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، فنل کل و وزن خشک ریشه و شاخساره می‌توان پیشنهاد نمود که مصرف این ماده در چمن آفریقایی اثرهای تنش کم‌آبی را کاهش خواهد داد. با وجود اینکه در اکثر مطالعات غلظت‌های کمتر از ۵۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید استفاده شده است، طبق نتایج به‌دست آمده در این پژوهش

4. Arnon DI (1949) Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenol oxidases in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*. 24: 1-15.
5. Bakhshi D and Arakawa O (2006) Induction of phenolic compounds biosynthesis with light irradiation in the flesh of red and yellow apples. *Journal of Applied Horticulture*. 8: 101-104.
6. Barker DJ, Sullivan CY and Moser LE (1993) Water deficit effects on osmotic potential, cell wall elasticity and proline in five forage grasses. *Agronomy Journal*. 85: 270-275.
7. Barrs HD and Weatherley PE (1962) A re-examination of the relative turgidity technique for the estimating of water deficits in leaves. *Australian Journal of Biological Sciences*. 15: 413-428.
8. Bates L, Waldern RP and Teare D (1973) Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*. 39(1): 205-207.
9. Beligni MV and Lamattina L (2001) Nitric oxide in plants: the history is just beginning. *Plant, Cell and Environment*. 24: 267-278.
10. Chaitanya KV, Rasineni GK and Reddy AR (2009) Biochemical responses to drought stress in mulberry (*Morus alba* L.): evaluation of proline, glycine betaine and abscisic acid accumulation in five cultivars. *Acta Physiologiae Plantarum*. 31: 437-447.
11. Eberhardt MV, Lee CY and Liu RH (2000) Antioxidant activity of fresh apples. *Nature*. 405: 903-904.
12. Farooq M, Basra SMA, Wahid A and Rehman H (2009) Exogenously applied nitric oxide enhances the drought tolerance in fine grain aromatic rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science*. 195: 254-261.
13. Hatamzadeh A, Molaahmad Nalousi A, Ghasemnezhad M and Biglouei MH (2015) The potential of nitric oxide for reducing oxidative damage induced by drought stress in two turfgrass species, creeping bentgrass and tall fescue. *Grass and Forage Science*. 70(3): 538-548.
14. Hsiao TC and L-K Xu (2000) Sensitivity of growth of root versus leaves to water stress. biophysical analysis and relation to water transport. *Journal of Experimental Botany*. 51: 1595-1616.
15. Huang B and Fu J (2000) Photosynthesis, respiration, and carbon allocation of two cool-season perennial grasses in responses to surface soil drying. *Plant and Soil*. 227: 17-26.
16. Huang B, Duncan RR and Carrow RN (1997) Drought resistance mechanisms of seven warm season Turfgrasses under surface soil drying: II. Root aspect. *Crop Science*. 37: 1863-1869.
17. Jinrong L, Xiaorong X, Jianxiong D, Jixiong S and Xiaomin B (2008) Effects of simultaneous drought and heat stress on Kentucky bluegrass. *Scientia Horticulturae*. 115: 190-195.
18. Kim JH and Lee CH (2005) In vivo deleterious effects specific to reactive oxygen species on photosystem II after photooxidative treatment of rice leaves. *Plant Science*. 168: 1115-1125.
19. Kopyra M and Gwozdz E (2003) Nitric oxide stimulates seed germination and counteracts the inhibitory effect of heavy metals and salinity on root growth of *Lupinus luteus*. *Plant Physiology and Biochemistry*. 41: 1011-1017.
20. Loomis RS Williams WA and Hall AE (1971) Agricultural productivity. *Annual Review of Plant Physiology*. 22: 431-468.
21. Magdy AS, Hazem MM, Alia AM and Alshaima AI (2012) Effect of sodium niroprusside, putrescine and glycine betaine on alleviation of drought stress in cotton plant.

- Journal of American-Eurasian Agricultural and Environmental Sciences. 12(9): 1252-1265.
22. Mahajan S and Tuteja N (2005) Cold, salinity and drought stresses, an overview. Archives of Biochemistry and Biophysics. 444: 139-158.
23. Mata CG and Lamattina L (2001) Nitric oxide induces stomatal closure and enhances the adaptive plant responses against drought stress. Plant Physiology. 126: 1196-1204.
24. Nasibi F, Kalantari KM (2009) Influence of nitric oxide in protection of tomato seedling against oxidative stress induced by osmotic stress. Acta Physiologiae Plantarum. 31: 1037-1044.
25. Neill S, Barros R, Bright J, Desikan R, Hancock J, Harrison J, Morris P, Ribeiro D and Wilson I (2008) Nitric oxide, stomatal closure, and abiotic stress. Journal of Experimental Botany. 59:165-176.
26. Pagnussat GC, Simontacchi M, Puntarulo S and Lamattina L (2002) Nitric oxide is required for root organogenesis. Plant Physiology. 129: 954-956.
27. Pessaraki M (1999) Handbook of Plant and Crop Stress, Marcel Dekker, Inc., New York, 697 p.
28. Rahman MU, Gul S and Ahmad I (2004) Effects of water stress on growth and photosynthetic pigments of corn (*Zea mays* L.) cultivars. International Journal of Agriculture and Biology. 4: 652-655.
29. Sakihama Y, Cohen M, Grace S and Yamasaki H (2002) Plant phenolic antioxidant and prooxidant activities: phenolic-induced oxidative damage mediated by metals in plant. Toxicology. 177: 67-80.
30. Salahvarzi Y, Tehranifar A and Gazanchian A (2009) Physiomorphological changes under drought stress and rewatering in endemic and exotic turfgrasses. Iranian Journal of Horticultural Science and Technology. 9: 193-204.
31. Seevers PM and Daly JM (1970) Studies on wheat stem rust resistance control at *sr6* locus. 1- The role of phenolic compounds. Phytopathology. 6: 1322-1328.
32. Shi Q, Ding F, Wang X and Wei M (2007) Exogenous nitric oxide protects cucumber roots against oxidative stress induced by salt stress. Plant Physiology. 45: 542-550.
33. Sullivan CY and Ross WM (1979) Selection for drought and heat resistance in grain sorghum. In: Mussel H and Staoles RC (Eds.), Stress Physiology in Crop Plants. John Wiley and Sons, New York. pp. 263-281.
34. Taiz L and Zeiger E (2006) Plant Physiology. 4th Ed. Sinauer Association, Inc, Publishers Sunderland, Massachusetts, 764 p.
35. Tu J, Shen WB and Xu LL (2003) Regulation of nitric oxide on the aging process of wheat leaves. Acta Botanica Sinica. 45: 1055-1062.
36. Uchida A, Jagendorf T, Hibino T, Takabe T and Takabe T (2002) Effects of hydrogen peroxide and nitric oxide on both salt and heat stress tolerance in rice. Plant Science. 163: 515-523.
37. Viera HJ, Bergamaschi H, Angelocci LR and Libardi PL (1991) Performance of two bean cultivars under two water availability regimes. II. Stomatal resistance to vapour diffusion, transpiration flux density and water potential in the plant. Pesquisa Agropecuária Brasileira. 9: 1035-1045.
38. Zimmer-Prados LM, Moreira AS, Magalhaes JR and França MG (2014) Nitric oxide increases tolerance responses to moderate water deficit in leaves of *Phaseolus vulgaris* and *Vigna unguiculata* bean species. Physiology and Molecular Biology of Plants. 20(3): 295-301.