



به‌زرعی کشاورزی

دوره ۱۹ ■ شماره ۲ ■ تابستان ۱۳۹۶
صفحه‌های ۳۳۵-۳۴۶

اثر سدیم نیتروپروساید بر تحمل به خشکی چچم چندساله در مرحله جوانه‌زنی و رشد اولیه دانهال

رضا محمدی^۱، مسعود ارغوانی^{۲*}، سید نجم‌الدین مرتضوی^۳ و میترا اعلائی^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: ۱۳۹۵/۰۲/۰۵

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۵/۰۱/۱۷

چکیده

این پژوهش به منظور بررسی پاسخ‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی چچم چندساله (*Lolium perenne* L.) در مرحله جوانه‌زنی و رشد اولیه دانهال به تنش خشکی و کاربرد سدیم نیتروپروساید (رها کننده نیتریک اکساید) در سال ۱۳۹۴ در گروه علوم باغبانی دانشگاه زنجان انجام شد. بذور چچم به مدت شش ساعت در محلولهای صفر (آب مقطر)، ۲۰۰، ۴۰۰، و ۶۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید خیسانده شدند و جهت اعمال تنش خشکی، جوانه‌زنی و رشد اولیه دانهال در پتانسیل‌های اسمزی صفر (آب مقطر)، ۱-، ۴- و ۸- بار با استفاده از پلی‌اتیلن گلایکول ۶۰۰۰ انجام شد. به طور کلی با کاهش پتانسیل آب محیط، درصد جوانه‌زنی بذرها، طول شاخساره و ریشه و میزان کلروفیل و کاروتنوئید برگها کاهش و نشت یونی افزایش یافت. کاربرد ۴۰۰ و ۶۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید در تمامی صفات اثرات منفی تنش خشکی را بهبود بخشید. البته، در مورد صفت نشت یونی در تمام سطوح پتانسیل آب، تیمار ۶۰۰ میکرومولار تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد نداشت، ولی تیمار ۴۰۰ میکرو مولار نشت یونی را کاهش داد. میزان پرولین برگ‌ها با کاهش پتانسیل آب افزایش یافت و گیاهان تیمار شده با سدیم نیتروپروساید پرولین بیشتری نسبت به گیاهان تیمار نشده داشتند. در مجموع در بین غلظتهای سدیم نیتروپروساید مورد مطالعه، بهترین نتیجه در گیاهان تیمار شده با ۴۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید به دست آمد.

کلیدواژه‌ها: بذور، پلی‌اتیلن گلایکول، چچم، فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی.

۱. مقدمه

و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتیاکسیدانت سبب کاهش اثرات منفی تنش شوری در گیاه برنج شده است [۴۴]. همچنین، در مطالعه‌ای روی دو گونه چمن نشان داده شد که کاربرد سدیم نیتروپروساید سبب کاهش نشت یونی، حفظ محتوای نسبی آب برگ و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتیاکسیدانت در شرایط تنش خشکی گردید [۱۶]. نیتریک اکساید به‌عنوان یک مولکول به شدت فعال و واکنش‌دار مؤثر در شکست خواب می‌تواند با گروه بزرگی از مولکول‌های مختلف اثر متقابل داشته باشد [۲۵].

جوانه‌زنی بذر معمولاً بحرانی‌ترین عامل تعیین‌کننده موفقیت یا شکست استقرار گیاه است [۶]. مراحل تندش و رشد اولیه دانه‌ها در بررسی مقاومت به خشکی گیاهان اهمیت ویژه‌ای دارد. این موضوع در مورد چمن‌ها اهمیت بسیار بیشتری دارد، چون در چمن‌ها تندش و رشد اولیه دانه‌ها مراحل حیاتی برای استقرار چمن محسوب می‌شوند زیرا پایین بودن درصد تندش بذر سبب کاهش جمعیت گیاهی چمن می‌شود که اگر با سرعت کم تندش نیز همراه باشد، بذور علف‌های هرز اجازه تندش و رشد خواهند یافت و موجب کاهش کیفیت چمن می‌شود [۱۸].

هدف از انجام پژوهش حاضر، بررسی پاسخ‌های مورفوفیزیولوژیکی چمن چچم چندساله در اثر کاربرد سدیم نیتروپروساید در مراحل تندش و رشد اولیه دانه‌ها می‌باشد و اینکه آیا می‌توان با استفاده از این ماده تحمل به خشکی این چمن را افزایش داد.

۲. مواد و روش‌ها

این پژوهش به منظور بررسی پاسخ‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی چچم چندساله در مرحله جوانه‌زنی و رشد اولیه دانه‌ها به تنش خشکی و کاربرد سدیم نیتروپروساید در سال ۱۳۹۴ در آزمایشگاه گیاه‌شناسی گروه علوم باغبانی دانشگاه زنجان به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح

با افزایش جمعیت و گسترش شهرها نیاز به گسترش فضای سبز نیز افزایش می‌یابد و چمن‌ها به‌عنوان مهمترین گیاهان پوششی بخش عمده فضای سبز شهری را شامل می‌شوند و کمتر گیاهی را می‌توان یافت که جایگزین چمن شود. همچنین، کاربرد چمن در زمینهای ورزشی بر اهمیت مطالعه آن افزوده است. کمبود آب شیرین از مهمترین چالش‌های طبیعی پیش روی بشر در قرن بیست و یکم در بسیاری از مناطق دنیا از جمله ایران است [۸]. با توجه به اینکه چمن‌ها دارای بیشترین نیاز آبی در بین گیاهان زینتی می‌باشند، بالا بردن تحمل چمنها به کم‌آبی می‌تواند در حفظ و گسترش فضای سبز اهمیت زیادی داشته باشد [۲۱]. چچم چند ساله^۱ گیاهی دائمی از تیره گندمیان است که در گروه چمنهای فصل سرد قرار دارد و از مهمترین چمنهای کشت شده در اکثر مناطق معتدل جهان از جمله ایران محسوب می‌شود. به جز ویژگی‌های ژنتیکی، عوامل مدیریتی از جمله سربرداری، تغذیه و کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد میتوانند در مقاومت به خشکی چمنها مؤثر باشند [۱۸].

سدیم نیتروپروساید^۲ یک ترکیب رها کننده نیتریک اکساید است. نیتریک اکساید امروزه به‌عنوان یک تنظیم‌کننده رشد شبیه سایر تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی طبقه‌بندی می‌شود. واکنش گیاهان به تنش‌های زنده و غیرزنده از طریق مکانیسم‌های دفاعی پیچیده صورت می‌گیرد، از جمله این مکانیسم‌ها مسیر نیتریک اکساید است، بسیاری از پاسخ‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانی نیتریک اکساید، بر اساس توانایی آن در نگهداری تعادل اکسایش کاهش درون سلولی و تنظیم سمیت انواع فعال اکسیژن است [۲۹]. نیتریک اکساید با افزایش بهره‌وری فتوشیمیایی

1. *Lolium perenne* L.
2. Sodium nitroprusside, SNP

غشای سلولی با استفاده از اندازه‌گیری نشت یونی از بافت برگها ارزیابی شد. به‌منظور محاسبه نشت یونی نمونه‌های برگ با آب مقطر شسته شده و در ۲۰ میلی لیتر آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت روی شیکر قراردادده شدند. سپس، هدایت الکتریکی محلول اندازه‌گیری شد. پس از آن لوله‌های آزمایش حاوی نمونه به مدت ۲۰ دقیقه در آب جوش قراردادده شدند و پس از سرد شدن در دمای اتاق، مجدداً هدایت الکتریکی محلول اندازه‌گیری شد. میزان نشت یونی به‌صورت درصد، از تقسیم هدایت الکتریکی اولیه بر هدایت الکتریکی سلولهای مرده محاسبه شد [۴۵]. جهت اندازه‌گیری میزان کلروفیل و کاروتنوئید کل، عصاره‌گیری از برگها با استون ۸۰ درصد انجام شد. سپس نمونه‌ها در دستگاه سانتیفریوژ با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه قرار گرفتند. میزان جذب روشن‌ر در طول موج‌های ۴۷۰، ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر اسپکتروفوتومتر^۲ قرائت شد. میزان کلروفیل‌های a و b و نیز کاروتنوئید کل با استفاده از رابطه‌های زیر محاسبه شد. کلروفیل کل از مجموع میزان کلروفیل‌های a و b به دست آمد [۳۳].

(۱)

$$\text{Chlorophyll a} = (11.75 A_{662 \text{ nm}}) - (2.35 A_{645 \text{ nm}})$$

(۲)

$$\text{Chlorophyll b} = (18.61 A_{645 \text{ nm}}) - (3.96 A_{662 \text{ nm}})$$

(۳)

$$\text{Carotenoids} = [(100(D_{470 \text{ nm}}) - (2.27 \text{ Chlorophyll a} - (81.4 \text{ Chlorophyll b})) / 227]$$

برای اندازه‌گیری میزان پرولین، نمونه‌های برگ تازه با استفاده از نیتروژن مایع خرد شده و با ۲ میلی لیتر سولفوسالیسیلیک اسید^۳ ۳ درصد هم‌وزن گردید. پس از ۲۰ دقیقه سانتیفریوژ با شدت ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه، ۰/۵ میلی لیتر از روشن‌ر به همراه ۲ میلی لیتر اسید نین هیدرین^۴ و

کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد. پیش از شروع آزمایش بذور چچم چند ساله رقم رومئو^۱ با هیپوکلریت سدیم دو درصد به مدت یک دقیقه ضدعفونی و سپس با آب مقطر شسته شدند. به‌منظور اعمال تیمارهای سدیم نیتروپروساید، محلولهای صفر (آب مقطر)، ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ میکرومولار از این ماده تهیه شد و بذرها به مدت شش ساعت در این محلول‌ها خیسانده شدند. جهت اعمال تنش خشکی پتانسیل‌های اسمزی صفر (آب مقطر)، -۱، -۴ و -۸ بار با استفاده از پلی اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ ایجاد شد [۳۶]. تعداد ۱۰۰ عدد بذر داخل پتری‌دیش‌های ۹ سانتی متری حاوی کاغذ صافی واتمن شماره یک قرار داده شد و به هر پتری‌دیش ۱۰ میلی لیتر از محلول‌های پلی اتیلن گلیکول تهیه شده اضافه گردید. طی آزمایش، به‌منظور جلوگیری از تغییر پتانسیل در اثر تبخیر آب، پتری‌دیش‌ها هر روز وزن شدند و کاهش وزن با اضافه کردن آب مقطر جبران شد [۲۳]. پتری‌دیش‌ها در دستگاه ژرمیناتور با دمای ۲۵±۲ درجه سانتی‌گراد و نور ۱۰۰۰ لوکس لامپ فلورسنت و دوره تاریکی ۸ ساعت به مدت ۱۴ روز نگهداری شدند. طی آزمایش، درصد جوانه‌زنی محاسبه شد. خروج ریشه‌چه مبنای تندش محسوب گردید. همچنین سرعت جوانه‌زنی با استفاده از رابطه (۱) به‌دست آمد.

$$GR = \sum N_x T_x / N_t \quad (1)$$

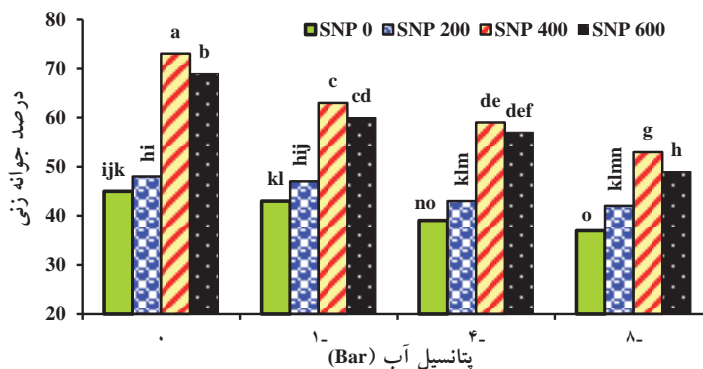
در این رابطه، GR برابر میانگین تعداد روز تا جوانه‌زنی است. N_x ، تعداد بذره‌های جوانه زده در روز x ، T_x ، زمان شروع آزمایش تا روز x ، و N_t ، تعداد کل بذره‌های جوانه زده است [۱۰].

در انتهای آزمایش (روز پانزدهم) در هر واحد آزمایشی طول شاخساره و ریشه ده گیاه به‌صورت تصادفی اندازه‌گیری شد و میانگین آن‌ها در نظر گرفته شد. پایداری

۳. نتایج و بحث

با کاهش پتانسیل آب، درصد جوانه‌زنی کاهش یافت. کاربرد ۴۰۰ و ۶۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید در تمام سطوح پتانسیل آب سبب افزایش معنی‌دار و قابل توجه درصد جوانه‌زنی شد. غلظت ۴۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید در پتانسیل‌های صفر و ۸- بار آب اثر بهتری نسبت به تیمار ۶۰۰ میکرومولار داشت (شکل ۱). اثر تیمارهای مورد استفاده بر سرعت جوانه‌زنی معنی‌دار نشد.

۲ میلی لیتر اسیداستیک به مدت یک ساعت داخل آب جوش قرار داده شد و واکنش در داخل یخ به پایان رسید. با اضافه کردن ۲ میلی لیتر تولوئن جذب مایع رنگی حاوی پرولین در طول موج ۵۲۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفوتومتر اندازه‌گیری و میزان پرولین با استفاده از منحنی‌های استاندارد پرولین محاسبه شد [۱۷]. آنالیز واریانس داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS (9.1) و MSTATC انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح ۵٪ استفاده شد.



شکل ۱. برهمکنش پتانسیل آب و سدیم نیتروپروساید بر درصد جوانه‌زنی چچم چندساله. میانگین‌های با حروف مشابه اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ آزمون LSD ندارند.

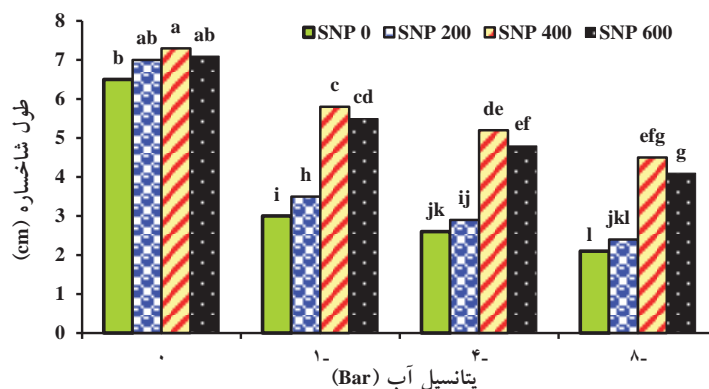
به‌عنوان یک مولکول پیام رسان درون سلولی و برون سلولی شناخته شده است که در غلظت‌های کم می‌تواند در تنظیم واکنش‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه مفید باشد [۳۸]، هر چند که در غلظت‌های بالاتر می‌تواند اثر سمی داشته باشد [۳۰]. مشابه با یافته‌های آزمایش حاضر، اثر مثبت سدیم نیتروپروساید در افزایش جوانه‌زنی گیاه کاهو [۱۹] و آرابیدوپسیس [۳۲] نیز گزارش شده است. همچنین، در برخی از گونه‌های چمن کاربرد نیتریک اکساید سبب برطرف کردن رکود بذرها شده است [۴۲]. گزارش شده است که لایه آلورون در بذر محل تأثیر نیتریک اکساید است.

گیاهان در مرحله جوانه‌زنی و رشد بذرها حساسیت بیشتری به تنش‌های محیطی از جمله شوری و خشکی دارند و کمبود آب در این مرحله بر حسب مدت و شدت تنش موجب عدم جوانه‌زنی و یا کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی می‌شود. کاهش درصد جوانه‌زنی و رشد گیاهچه در شرایط تنش خشکی می‌تواند ناشی از اثرات مستقیم تجزیه کندتر آندوسپرم لپه‌ها یا انتقال کندتر مواد تجزیه شده به گیاهچه باشد. کاهش پتانسیل آب ناشی از محلول پلی اتیلن گلیکول در گیاهان متعدد موجب کاهش پارامترهای جوانه‌زنی شده است [۱۵]. نیتریک اکساید

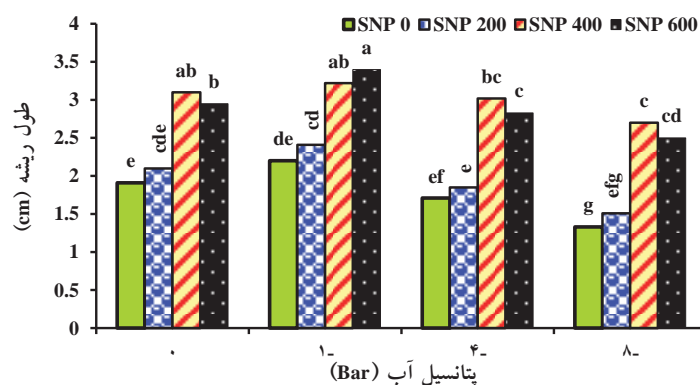
اثر سدیم نیتروپروساید بر تحمل به خشکی چچم چندساله در مرحله جوانه‌زنی و رشد اولیه دانه‌ها

نیتروپروساید مشاهده شد [۴۷]. نتایج این آزمایش نشان داد که با کاهش پتانسیل آب در محیط رشد بذرها، طول شاخساره کاهش یافت. کاربرد ۴۰۰ و ۶۰۰ مایکرومولار سدیم نیتروپروساید به‌طور معنی‌داری سبب افزایش طول شاخساره در شرایط تنش کم آبی شد. نتایج مشابهی در مورد طول ریشه به‌دست آمد با این تفاوت که به‌طور کلی کاهش پتانسیل آب تا حد ۱- بار رشد ریشه‌ها را کاهش نداد (شکل‌های ۲ و ۳).

در واقع نیتریک اکساید آنزیم‌های تجزیه‌کننده اسید ایزنریک را که سبب خفتگی بذر می‌شود را فعال می‌کند [۲۰]. در گندم کاربرد ۱۰۰ و ۵۰۰ مایکرومولار سدیم نیتروپروساید سبب افزایش جوانه‌زنی بذرها در شرایط تنش اسمزی ناشی از پلی‌اتیلن گلیکول شد. و این اثر مثبت به‌دلیل اثر سدیم نیتروپروساید بر تنظیم تجزیه ذخایر بذر بود. در واقع فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز در بذور تیمار شده بیشتر بود و کاهش میزان نشاسته و افزایش قندهای محلول در اثر کاربرد سدیم



شکل ۲. برهمکنش پتانسیل آب و سدیم نیتروپروساید بر طول شاخساره چچم چندساله. میانگین‌های با حروف مشابه اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ آزمون LSD ندارند.

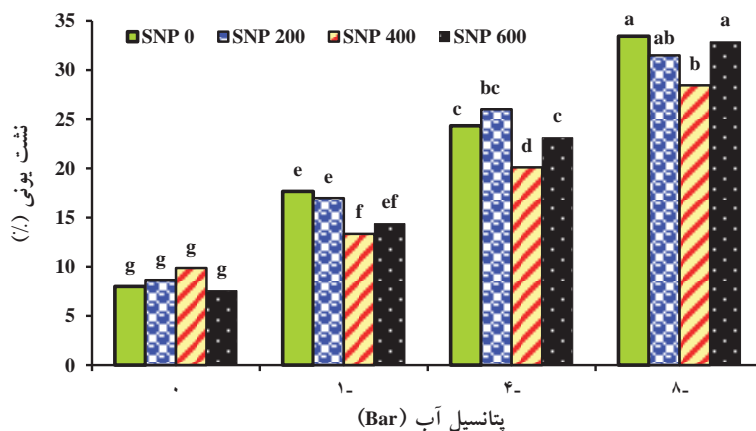


شکل ۳. برهمکنش پتانسیل آب و سدیم نیتروپروساید بر طول ریشه چچم چندساله. میانگین‌های با حروف مشابه اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ آزمون LSD ندارند.

داشته باشد [۳۹]. در شرایط تنش خشکی نیتریک اکساید به‌عنوان یک مولکول پیام‌رسان با بستن روزنه‌ها و کاهش تعرق و نیز افزایش توسعه ریشه‌های نابه‌جا، سبب افزایش محتوی آب سلول‌ها می‌شود و در افزایش طول ریشه و شاخساره تأثیر مثبت دارد [۴۶]. نقش سدیم نیتروپروساید بر طولی شدن ریشه و شاخساره ممکن است در ارتباط با اثر نیتریک اکساید بر فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده زایلوگلوکان‌ها باشد. زایلوگلوکان‌ها سبب اتصال سلولز و سایر پلی‌ساکاریدهای دیواره سلولی می‌شوند و تجزیه آن‌ها منجر به شل شدن دیواره شده و امکان افزایش حجم سلول و در نتیجه طولی شدن اندام را فراهم می‌سازد [۴۰].

در این پژوهش با کاهش پتانسیل آب نشت یونی سلول‌ها در شاخساره به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. کاربرد ۴۰۰ میکرو مولار سدیم نیترو پروساید در هر سه سطح تنش خشکی سبب کاهش نشت یونی شد، ولی بین سایر سطوح سدیم نیترو پروساید و گیاهان تیمار نشده تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۴).

تنش خشکی 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 فرآیند فتوسنتز، تنفس و تعرق را تحت تأثیر قرار داده و از طرف دیگر با تأثیر بر فرآیندهای آنزیمی که به‌طور مستقیم با پتانسیل آب کنترل می‌شوند، بر رشد گیاه اثر منفی بگذارد [۴۳]. کاهش طول ریشه و شاخساره در اثر تنش خشکی ناشی از پلی‌اتیلن گلیکول در گیاهان متعدد مشاهده شده است [۷، ۱۲، ۲۷، ۴۱]. همچنین، افزایش رشد ریشه و شاخساره در شرایط تنش خشکی در اثر کاربرد سدیم نیتروپروساید در چمنها و سایر گیاهان گزارش شده است [۲، ۱۶، ۲۶]. افزایش میزان رشد در اثر کاربرد سدیم نیتروپروساید در شرایط تنش ممکن است به دلیل اثر این ماده در افزایش میزان کلروفیل و در نتیجه فتوسنتز بیشتر باشد [۱۴ و ۳۵]. همچنین، گزارش شده است که سدیم نیتروپروساید سبب انگیزش تولید اکسین می‌شود که می‌تواند در افزایش طول ریشه و شاخساره اثر مستقیم



شکل ۴- برهمکنش پتانسیل آب و سدیم نیتروپروساید بر نشت یونی برگ چچم چندساله. میانگین‌های با حروف مشابه اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ آزمون LSD ندارند.

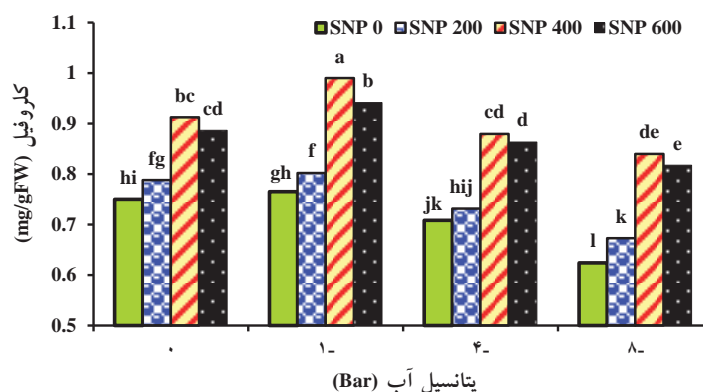
اثر سدیم نیتروپروساید بر تحمل به خشکی چچم چندساله در مرحله جوانه‌زنی و رشد اولیه دانه‌ها

در پژوهش‌های مرتبط با تنش‌های گیاهی، اندازه‌گیری نشت یونی به‌عنوان معیاری برای ارزیابی سلامت غشای سلولی انجام می‌شود. تنش خشکی با القای تنش اکسیداتیو و تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن، سبب پراکسیداسیون اسیدهای چرب غشاهای سلولی شده و نفوذپذیری غشاء و نشت یونی را افزایش می‌دهد. نتایج به‌دست آمده در این آزمایش که نشان‌دهنده افزایش نشت یونی در اثر تنش خشکی می‌باشد، مطابق با بسیاری از تحقیقات دیگر در مورد چمن‌ها و سایر محصولات است [۱۶ و ۲۴]. از طرف دیگر کاربرد سدیم نیتروپروساید می‌تواند با افزایش توان دفاع آنتی‌اکسیدانی گیاه خسارات ناشی از گونه‌های واکنش‌پذیر اکسیژن را کاهش دهد و بدین ترتیب پایداری غشاء افزایش و نشت یونی کاهش می‌یابد [۲۲ و ۳۵].

سدیم نیتروپروساید در تمام سطوح پتانسیل آب، کلروفیل شاخساره را افزایش داد. البته میزان کلروفیل گیاهان تیمار شده با محلول ۴۰۰ و ۶۰۰ مایکرومولار سدیم نیتروپروساید، به طور قابل توجهی بیشتر از تیمار شده است [۱۶].

محتوای کلروفیل برگ عامل مهمی در تعیین ظرفیت فتوسنتزی و در نتیجه ارزیابی توان فیتوشیمیایی گیاه محسوب می‌شود. در پژوهش‌های متعدد میزان کلروفیل برگ در اثر تنش خشکی کاهش یافته است [۲، ۴، ۱۳ و ۳۵]. همچنین، کاهش میزان کاروتنوئیدها در شرایط تنش خشکی که در این پژوهش مشاهده شد، مطابق با برخی از آزمایش‌هایی است که در مورد گیاهان دیگر گزارش شده است [۳۴، ۳۵]. هر چند که در برخی مطالعات محتوای کاروتنوئید کل برگ‌ها تحت تأثیر تنش خشکی قرار نگرفته است [۹] و در برخی دیگر میزان کاروتنوئیدها در اثر تنش خشکی افزایش یافته است [۱]. کاهش میزان کلروفیل در اثر تنش خشکی می‌تواند ناشی از افزایش فعالیت آنزیم کلروفیل‌از به دلیل کاهش محتوای آب سلول باشد [۳۷].

در پژوهش‌های مرتبط با تنش‌های گیاهی، اندازه‌گیری نشت یونی به‌عنوان معیاری برای ارزیابی سلامت غشای سلولی انجام می‌شود. تنش خشکی با القای تنش اکسیداتیو و تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن، سبب پراکسیداسیون اسیدهای چرب غشاهای سلولی شده و نفوذپذیری غشاء و نشت یونی را افزایش می‌دهد. نتایج به‌دست آمده در این آزمایش که نشان‌دهنده افزایش نشت یونی در اثر تنش خشکی می‌باشد، مطابق با بسیاری از تحقیقات دیگر در مورد چمن‌ها و سایر محصولات است [۱۶ و ۲۴]. از طرف دیگر کاربرد سدیم نیتروپروساید می‌تواند با افزایش توان دفاع آنتی‌اکسیدانی گیاه خسارات ناشی از گونه‌های واکنش‌پذیر اکسیژن را کاهش دهد و بدین ترتیب پایداری غشاء افزایش و نشت یونی کاهش می‌یابد [۲۲ و ۳۵].

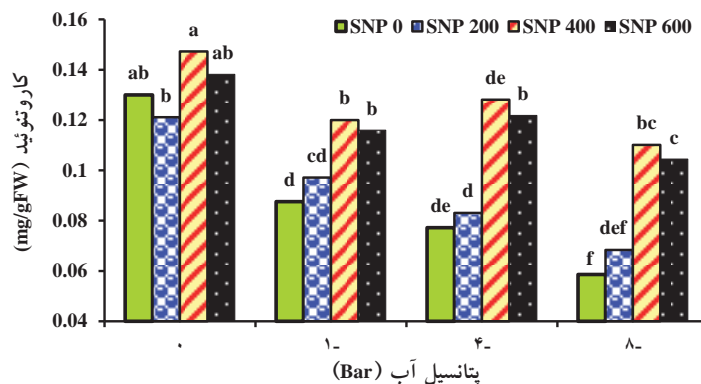


شکل ۵. برهمکنش پتانسیل آب و سدیم نیتروپروساید بر میزان کلروفیل برگ چچم چندساله.

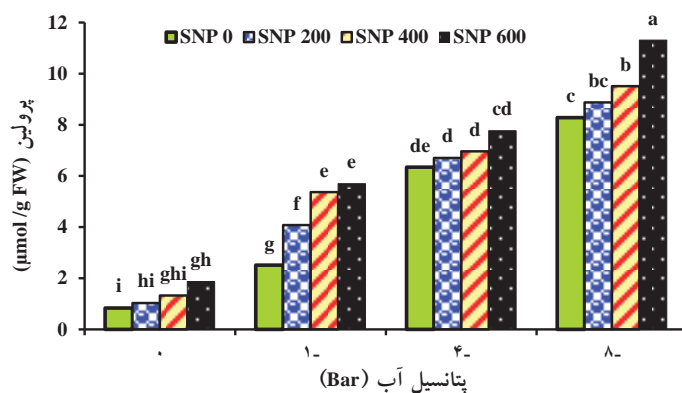
میانگین‌های با حروف مشابه اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ آزمون LSD ندارند.

بزرگ‌کشاورزی

دوره ۱۹ ■ شماره ۲ ■ تابستان ۱۳۹۶



شکل ۶. برهمکنش پتانسیل آب و سدیم نیتروپروساید بر میزان کاروتنوئید برگ چچم چندساله. میانگین‌های با حروف مشابه اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ آزمون LSD ندارند.



شکل ۷. برهمکنش پتانسیل آب و سدیم نیتروپروساید بر میزان پرولین برگ چچم چندساله. میانگین‌های با حروف مشابه اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ آزمون LSD ندارند.

می‌برد [۲۸]. محتوای کلروفیل و کاروتنوئیدهای برگ وابستگی زیادی به سلامت کلروپلاست‌ها دارد و عواملی که سبب آسیب به غشای کلروپلاست می‌شوند، سبب کاهش میزان این رنگدانه‌ها می‌شوند [۳۱]. با توجه به افزایش نشت یونی در اثر تنش خشکی در این آزمایش که نشان‌دهنده آسیب به غشای سلولی است می‌توان انتظار داشت که تنش خشکی اثر مخرب خود را بر روی غشای کلروپلاست‌ها نیز داشته است و سبب کاهش میزان

ثابت شده است که رنگدانه‌های کاروتنوئید علاوه بر نقشی که به عنوان دریافت کننده نور در فتوسنتز دارند، در دفاع آنتی‌اکسیدانی نیز شرکت می‌کنند. گونه‌های واکنش‌پذیر اکسیژن به‌ویژه اکسیژن یگانه^۱، که در شرایط تنش خشکی در کلروپلاست تولید می‌شوند، با اکسید کردن کاروتنوئیدها سبب تولید مشتقاتی می‌شوند که با تغییر در بیان ژن‌ها تحمل گیاه را در برابر تنش‌ها بالا

1. Singlet oxygen

نشت یونی و افزایش میزان کلروفیل، پرولین و کاروتنوئیدها، تحمل چچم چند ساله را به تنش خشکی بالا برد. در بین غلظت‌های سدیم نیترو پروساید مورد مطالعه، به نظر می‌رسد که تیمار ۲۰۰ میکرو مولار اثر بخشی کافی را در افزایش تحمل به کم آبی را نداشت. همچنین، با توجه به بیشتر بودن میزان نشت یونی در تیمار ۶۰۰ میکرو مولار، بهترین نتیجه با تیمار ۴۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید به دست آمد.

منابع

۱. امام‌ی، کریم زاده سورش‌جانی، ه، موری س و مقصودی ک (۱۳۹۲) واکنش بیوشیمیایی دو رقم گندم به تنش خشکی انتهایی و تنظیم کننده‌های اکسین و سیتوکینین. فرآیند و کارکرد گیاهی. ۲: ۶۵-۷۴.
۲. امیدی ف و سپهری ع (۱۳۹۳) تأثیر کاربرد نیتروپروساید سدیم بر سطح برگ، رشد و کارایی مصرف آب ارقام لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.) تحت تنش کم آبی. به زراعی کشاورزی. ۱۶(۴): ۸۷۱-۸۸۵.
۳. تاتاری م، فتوحی قزوینی ر، اعتمادی ن، احدی ع م و موسوی س ا (۱۳۹۲) بررسی برخی پاسخ‌های فیزیولوژیکی سه نوع چچم در شرایط تنش خشکی. پژوهش‌های تولید گیاهی. ۲۰(۱): ۸۷-۶۳.
۴. تاتاری م، فتوحی قزوینی ر، اعتمادی ن، احدی ع م و موسوی س ا (۱۳۹۲) مطالعه واکنش‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی چچم *Poa pratensis* L. رقم *Barimpala* تحت تنش خشکی. علوم باغبانی ایران. ۴۴(۳): ۳۴۰-۳۲۹.
۵. تقی پور ز، اصغری زکریا ر، زارع ن و شیخ زاده پ (۱۳۹۳) ارزیابی برخی صفات فیزیولوژیکی در

کلروفیل و کاروتنوئیدها گردیده است. در مقابل نیتریک اکساید با افزایش توان دفاعی گیاه در برابر تنش‌های اکسیداتیو، خسارت‌های ناشی از رادیکال‌های اکسیژن از جمله آسیب به غشای کلروپلاست و تیلاکوئیدها را کاهش می‌دهد [۲۲ و ۳۵]. گزارش شده است که تیمار ۱۰۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید در گیاهان گندم، تجزیه کلروفیل و پروتئین‌ها را در شرایط تنش خشکی کاهش داد [۳۵]، که با یافته‌های این پژوهش هم‌اهنگی دارد.

میزان پرولین شاخساره با کاهش پتانسیل آب افزایش یافت. به طور کلی گیاهان تیمار شده با سدیم نیترو پروساید پرولین بیشتری نسبت به گیاهان تیمار نشده داشتند. هرچند که در پتانسیل‌های صفر و ۴- بار، اختلاف بین سطوح سدیم نیترو پروساید معنی‌دار نبود (شکل ۷).

پرولین یکی از مهمترین اسمولیت‌ها در بسیاری از گیاهان است که در شرایط تنش تولید آن در گیاه افزایش می‌یابد. در پژوهش‌های متعدد در زمینه تحمل به تنش خشکی چچم‌ها، افزایش میزان پرولین برگ‌ها مشاهده شده است [۳ و ۱۱]. یکی از نقش‌های پرولین در شرایط تنش شوری حفاظت اسمزی است که آنزیم‌ها و ساختار سلولی را در برابر تنش اسمزی محافظت می‌نماید. همچنین، علاوه بر تنظیم اسمزی گیاهان در شرایط تنش، نقش‌های پیشنهادی دیگری برای پرولین از جمله حذف رادیکال‌های هیدروکسیل، حفظ پایداری غشاء و ساختار پروتئین‌ها، تأمین کربن و نیتروژن در شرایط تنش و تعدیل پتانسیل اکسیداسیون و احیاء در شرایط تنش گزارش شده است. مطابق با نتایج این آزمایش، تیمار بذرهای گوجه‌فرنگی با سدیم نیتروپروساید سبب افزایش میزان پرولین برگ‌ها شد [۳۰].

در مجموع، با توجه به نتایج به دست آمده در رابطه با برهمکنش تنش خشکی و سدیم نیترو پروساید بر صفات اندازه‌گیری شده می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد سدیم نیتروپروساید می‌تواند با افزایش درصد جوانه‌زنی، کاهش

- ملی گیاهان دارویی، طب سنتی و کشاورزی ارگانیک. ۱-۱۳.
۱۳. صدوق ف س، شریعتمداری ح، خوشگفتارمنش ا ح و مصدقی م (۱۳۹۳) تغذیه متناسب گوجه فرنگی با پتاسیم و روی در شرایط تنش خشکی ایجاد شده با پلی اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ در سیستم آبکشت. علوم و فنون کشت های گلخانه ای. ۱۸: ۶۷-۸۰.
۱۴. عرب ص، برادران فیروزآبادی م و اصغری ح (۱۳۹۴) تأثیر محلول پاشی اسید آسکوربیک و سدیم نیتروپروساید بر رنگیزه های فتوسنتزی و برخی صفات گلرنگ بهاره در شرایط تنش کم آبیاری. تولیدات گیاهی. ۳۸: ۱۰۳-۹۳.
۱۵. معصومی ع، کافی م و خزاعی خ (۱۳۸۷) اثرات فیزیولوژیک تنش خشکی ناشی از پلی اتیلن گلیکول بر جوانه زنی ژنوتیپ های نخود (*Cicer arietinum* L.). مجله پژوهشهای زراعی ایران، ۶(۲): ۴۶۲-۴۵۳.
۱۶. ملا احمد نالوسی ا، حاتم زاده ع، قاسم نژاد م و بیگلویی م ح (۱۳۹۲) اثر محلول پاشی سدیم نیتروپروساید بر مقاومت به خشکی چمن آگروستیس و فستوکای بلند. مجله علوم و فنون باغبانی ایران. ۱۴ (۴): ۴۳۸-۴۲۷.
17. Bates LS, Waldren RP and Teare ID (1973) Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*. 39: 205-207.
18. Beard J (1970) *Turfgrass: Science and culture*. Prentice – Hall, Englewood. Cliffs, NJ, USA. 545 p.
19. Beligni MV and Lamattina L (2000) Nitric oxide stimulates seed germination and de-etiolation and inhibits hypocotyls elongation, three light inducible responses in plants. *Planta*. 210: 215-221.
- جمعیت‌هایی از *Aegilops triuncialis* تحت تنش خشکی. تحقیقات ژنتیک و اصلاح گیاهان مرتعی و جنگلی ایران. ۲۲: ۵۵-۶۶.
۶. حجازی ا (مترجم) (۱۳۷۳) تکنولوژی بذر. انتشارات دانشگاه تهران. ۴۴۲ صفحه.
۷. حسنی آ (۱۳۸۴) اثر تنش آب ناشی از پلی اتیلن گلیکول (PEG) بر روی فاکتورهای جوانه زنی ریحان (*Ocimum basillicum*) مجله گیاهان معطر و پزشکی ایران. ۲۱(۴): ۵۴۳-۵۳۵.
۸. حیدری شریف آباد ح (۱۳۷۹) گیاه، خشکی و خشکسالی. انتشارات موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع، تهران، ۲۰۰ ص.
۹. خسروشاهی م ر، اثنی عشری م، ارشادی ا و ایمانی ع (۱۳۹۲) پاسخ های فیزیولوژیکی پنبه گونه بادام به تنش خشکی ناشی از پلی اتیلن گلیکول. فنآوری تولیدات گیاهی. ۱۳(۲): ۷۳-۸۸.
۱۰. خوشخوی م (مترجم) (۱۳۷۸) ازدیاد نباتات. جلد اول. انتشارات دانشگاه شیراز. ۴۲۸ صفحه.
۱۱. صادقی ا، اعتمادی ن، شمس م و نیازمند ف (۱۳۹۳) اثر تنش خشکی بر خصوصیات مرفولوژیک و فیزیولوژیک چمن بومی علف گندمی بیابانی (*Agropyron desertorum*) و چمانواش بلند (*Festuca arundinaceae* Schreb.). نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی) ۲۸: ۵۵۳-۵۴۴.
۱۲. صحت مند آ، آبسیه س، خلدبرین د ب (۱۳۹۳) بررسی اثرات بهبود بخش نیتریک اکساید در کاهش صدمات تنش خشکی ناشی از پلی اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ بر خصوصیات جوانه زنی گیاه زنیان (*Trachyspermum ammi* L.). اولین همایش

20. Bethke PC, Libourel IG, Reinohl V and Jones RL (2006) Sodium nitroprusside, cyanide, nitrite, and nitrate break Arabidopsis seed dormancy in a nitric oxide dependent manner. *Planta*. 223: 805-812.
21. Costello LR, Matheny NP and Clark JR (1993) Estimating water Requirements of landscape planting, the landscape coefficient method. The University of California Cooperative Extension Leaflet 21493.
22. Dong YJ, Wang ZL, Zhang JW, Liu S, He ZL and He MR (2015) Interaction effects of nitric oxide and salicylic acid in alleviating salt stress of *Gossypium hirsutum* L. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 15 (3): 561-573.
23. Emmerich WE and Hardegree SP (1991) Seed germination in polyethylen glycol solution: Effect of filter paper exclusion and water vapor loss. *Crop Science*. 31:454-458.
24. Farooq M, Basra SAM, 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.
25. Giba Z, Grubišić D and Konjević R (2007) Seeking the role of NO in breaking seed dormancy. In: Lamattina L and Polacco JC (Eds.), *Nitric Oxide in Plant Growth, Development and Stress Physiology*. Springer, Berlin. pp. 91-111.
26. Guo Y, Tian Z, Yan D, Zhang J and Qin P (2009) Effects of nitric oxide on salt stress tolerance in *Kosteletzkya virginica*. *Life Science Journal*. 6: 67-75.
27. Haq A, Rashmi V and Agnihotri RK (2010) Effect of osmotic stress (PEG) on germination and seedling survival of Lentil (*Lens culinaris* MEDIK). *Research Journal of Agricultural Sciences*. 1(3): 201-204.
28. Havaux M (2014) Carotenoid oxidation products as stress signals in plants. *The Plant Journal*. 79: 597-606.
29. Hayat S, Mori M, Pichtel J and Ahmad A (2010) *Nitric oxide in plant physiology*. Wiley-VCH, Verlag GmbH & Co., KGaA, Weinheim. 210 p.
30. Hayat S, Yadav S, Alyemeni MN and Ahmad A (2014) effect of sodium nitroprusside on the germination and antioxidant activities of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 20(1):140-144.
31. Krause GH and Weis E (1991) Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The basics. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 42: 313-349.
32. Libourel IG, Bethke PC, De Michele R and Jones RL (2006) Nitric oxide gas stimulates germination of dormant Arabidopsis seeds: use of a flow-through apparatus for delivery of nitric oxide. *Planta*. 223: 813-820.
33. Lichtenthaler HK and Wellburn AR (1985) Determination of total carotenoids and chlorophylls A and B of leaf in different solvents. *Biochemical Society Transactions*. 11: 591-592.
34. Liu WJ, Yuan S, Zhang NH, Lei T, Duan HG, Liang HG and Lin HH (2006) Effect of water stress on photosystem II in two wheat cultivars. *Biologia Plantarum*. 50: 597-602.
35. Magdy AS, Hazem MM, Alia AM and Alshaima AI (2012) Effect of sodium nitroprusside, putrescine and glycine betaine on alleviation of drought stress in cotton plant. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*. 12(9): 1252-1265.
36. Michel BE and Kaufman MR (1973) The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiology*. 51: 914-916.

37. Mihalovic N, Lazarevic M, Dzeletoric Z, Vuckoric M and Durde MV (1997) Chlorophylls activity in wheat leaves during drought and its dependence on the nitrogen ion from applied. *Plant Science*. 129: 141-146.
38. Neile SJ, Desikan R and Hancock JT (2003) Nitric oxide signaling in plants. *New Phytologist*. 159: 11-35.
39. Pagnussat GC, Simontacchi M, Puntarulo S and Lamattina L (2002) Nitric oxide is required for root organogenesis. *Plant Physiology*. 129: 954-956.
40. Qu Y, Feng H, Wang Y, Zhang M, Cheng J, Wang X and An L (2006) Nitric oxide functions as a signal in ultraviolet-B induced inhibition of pea stems elongation. *Plant Science*. 170: 994-1000.
41. Radhouane L (2007) Response of Tunisian autochthonous pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) to drought stress induced by polyethylene glycol (PEG 6000). *African Journal of Biotechnology*. 6 (9): 1102-1105.
42. Sarath G, Bethke PC, Jones R, Baird LM, Hou G and Mitchell RB (2006) Nitric oxide accelerates seed germination in warm-season grasses. *Planta*. 223: 1154-1164.
43. Singh J and Patal A (1996) Water status, gaseous exchange, proline accumulation and yield of wheat in response to water stress. *Annals of Biology (Ludhiana)*. 12: 77-81.
44. Uchida A, Jagendorf AT, 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*. 63:515-523.
45. Wang Z and Huang B (2004) Physiological Recovery of Kentucky bluegrass from simultaneous drought and heat stress. *Crop science*. 44: 1729-1736.
46. Yildiztugay E, Ozfidan-Konakci C and Kucukoduk M (2014) Exogenous nitric oxide (as sodium nitroprusside) ameliorates polyethylene glycol-induced osmotic stress in hydroponically grown maize roots. *Journal of Plant Growth Regulation*. 33: 683-696.
47. Zhang H, Shen WB and Xu LL (2003) Effects of nitric oxide on the germination of wheat seeds and its reactive oxygen species metabolisms under osmotic stress. *Acta Botanica Sinica*. 45: 901-905.