

اثر پرایمینگ بذر با سالیسیلیک اسید روی برخی صفات فتوسنتزی لوبیا چشم‌بلبلی تحت تنش کم‌آبی در مرحله گلدهی

آرش پاک‌مهر^۱، فرید شکاری^۲ و مهدی راستگو^{۳*}

۱- کارشناس ارشد زراعت

۲- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه زنجان

۳- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۱/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۰/۰۳

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر پرایمینگ بذر با سالیسیلیک اسید و اعمال تنش خشکی در مرحله گلدهی بر برخی صفات فیزیولوژیک نظیر محتوای نسبی آب، سرعت فتوسنتز، شدت ترقق، میزان CO₂ زیر اتاقک روزنه‌ای، هدایت روزنه‌ای و شاخص کلروفیل لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) رقم پرستو، آزمایشی در قالب طرح اسپلیت بلوک در شرایط مزرعه‌ای، انجام گردید. تیمارهای آزمایشی شامل تنش خشکی به‌عنوان عامل اصلی در دو سطح (شاهد یا آبیاری منظم و تنش در زمان شروع گلدهی تا ۵۰ درصد گلدهی) و پرایمینگ بذر با سالیسیلیک اسید به‌عنوان عامل فرعی در پنج سطح شامل سطوح صفر، ۹۰۰، ۱۸۰۰، ۲۷۰۰ و ۳۶۰۰ میکرومولار بودند. نتایج نشان داد اعمال تنش خشکی موجب کاهش تبادلات گازی و سرعت فتوسنتز می‌گردد. گیاهان حاصل از بذرهای پرایم شده در مقایسه با گیاهانی که از بذرهای تیمار نشده به‌وجود آمده بودند، دارای محتوای نسبی آب، سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، شدت ترقق و شاخص کلروفیل بالاتری بودند. همچنین، میزان CO₂ زیر اتاقک روزنه‌ای گیاهان حاصل از بذرهای پرایم شده در مقایسه با گیاهان حاصل از بذرهای تیمار نشده، پایین‌تر بود که بیانگر اثر محافظتی سالیسیلیک اسید در برابر تنش خشکی می‌باشد. بیشترین افزایش در اکثر صفات در گیاهان حاصل از بذرهای پرایم شده با غلظت ۲۷۰۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید به‌دست آمد؛ به‌طوری که منجر به افزایش سرعت فتوسنتز گیاهان حاصل از بذرهای پرایم شده تحت شرایط تنش و نرمال در مقایسه با گیاهان تیمار نشده گردید. در غلظت ۳۶۰۰ میکرومولار، در اکثر صفات بررسی شده کاهش نسبت به غلظت ۲۷۰۰ میکرومولار مشاهده شد که می‌تواند نشان‌دهنده اثر ممانعتی این هورمون در غلظت‌های بالاتر باشد.

واژه‌های کلیدی: لوبیا چشم‌بلبلی، پرایمینگ، سالیسیلیک‌اسید، تبادلات گازی، شاخص کلروفیل، محتوای نسبی آب

مقدمه

(García-Plazaola & Becerril, 2000). بسته شدن

روزنه‌ای از اولین واکنش‌ها به تنش کم‌آبی است و به‌عنوان عامل اصلی در صدمه به‌وجود آمده از خشکی به‌فراپند فتوسنتز در نظر گرفته می‌شود. بسته شدن روزنه موجب محدود شدن دسترسی به کربن دی‌اکسید در مزوفیل برگ می‌گردد (Chaves, 1991). همچنین، مشاهدات نشان داده است خشکی می‌تواند متابولیسم مزوفیل را تحت تأثیر قرار داده و موجب کاهش توان فتوسنتز گردد (Tezara & lawlor, 1995).

لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) گیاهی با سازگاری بالا به دماهای بالا و خشکی در مقایسه با دیگر لگوم‌های دانه‌ای می‌باشد (Ehlers & Hall, 1997). گزارش شده است سازگاری به خشکی در لوبیا چشم‌بلبلی وابسته به حداقل رسانیدن تلفات آب به‌وسیله کنترل میزان گشودگی شکاف روزنه است (de Carvalho et al., 1998). همچنین،

در بین تنش‌های محیطی، تنش خشکی دارای اثرات نامطلوب بزرگی بر تولیدات گیاهان زراعی است. گیاهان ممکن است در طی چرخه زندگی، به کرات در معرض تنش کمبود آب قرار گیرند که این شرایط می‌تواند در مناطقی غیر مناطق خشک و نیمه‌خشک نیز دیده شود (Burghardt & Riedere, 2003). گیاهان نیز دارای مکانیسم‌های متعدد مرفولوژیک و فیزیولوژیک هستند که به آن‌ها اجازه می‌دهد تا نسبت به تنش آبی سازگار شوند (Karkanis et al., 2011). در بین فرایندهای گیاهی، فتوسنتز فرآیندی مهم و کلیدی در زندگی گیاهان به‌شمار می‌آید و خشکی می‌تواند به‌عنوان یک عامل محیطی، اثر محدودکننده بزرگی بر فتوسنتز داشته باشد

* نویسنده مسئول: دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، m.rastgoo@um.ac.ir

تحت شرایط کمبود آب نشان دادند (Singh & Usha, 2003). همچنین، سالیسیلیک اسید و استیل سالیسیلیک اسید به‌طور مؤثری گیاهان لوبیا و گوجه فرنگی را علیه تنش خشکی، در غلظت‌های ۰/۱ میلی‌مول و ۰/۵ میلی‌مول، محافظت کردند (Senaratna et al., 2000).

هدف از انجام پژوهش حاضر، بررسی تأثیر اعمال تنش کمبود آب کنترل شده در مرحله گلدهی روی برخی صفات فیزیولوژیک و فتوسنتزی گیاه لوبیا چشم بلبلی و امکان استفاده از سالیسیلیک اسید به‌صورت پرایمینگ بذر جهت کاهش اثرات تنش و بهبود کارکردهای گیاهان تحت تنش کم آبی بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر پرایمینگ بذر با سالیسیلیک اسید و اعمال تنش خشکی بر لوبیا چشم بلبلی (*unguiculata L.*) رقم پرستو، آزمایشی در سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان واقع در ۶ کیلومتری شهر زنجان، در عرض شمالی ۴۱° ۳۶' طول شرقی ۲۷° ۴۸' و ارتفاع ۱۶۲۰ متر از سطح دریا انجام شد. بافت خاک مزرعه، لومی رسی با جرم مخصوص ظاهری ۱/۴ گرم بر سانتی متر مکعب و میانگین pH ۷/۵ بود. قبل از کاشت و در اوایل فروردین ماه، کود فسفات آمونیوم به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار در زمین پخش و به کمک دیسک با خاک مخلوط شد. بعد از تسطیح با لولر، با استفاده از دستگاه فاروئر جوی و پشته‌ها ایجاد شدند.

فاکتورهای مورد بررسی عبارت بودند از: تنش خشکی در دو سطح (بدون تنش یا شاهد و اعمال تنش در زمان آغاز گلدهی تا ۵۰ درصد گلدهی کرت) و پرایمینگ به‌وسیله سالیسیلیک اسید در پنج سطح شامل سطوح صفر، ۹۰۰، ۱۸۰۰، ۲۷۰۰ و ۳۶۰۰ میکرومولار. جهت انجام پرایمینگ بذر پس از تهیه غلظت‌های مختلف سالیسیلیک اسید، بذرهای لوبیا چشم بلبلی به مدت ۴ ساعت در دمای ۴ درجه سانتیگراد تحت تیمارهای مختلف سالیسیلیک‌اسید غوطه‌ور شدند. سپس بذرهای در دمای اتاق خشک شده و پس از ضدعفونی با قارچ‌کش کاربوکسی تیرام در مزرعه به‌صورت آزمایش بلوک خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار کشت شدند. هر کرت شامل پنج ردیف کاشت به طول ۴ متر و با فواصل بین ردیف ۰/۵ متر و روی ردیف‌های کاشت ۱۰ سانتی‌متر بود. کاشت در اوایل خرداد انجام گردید. پس از کاشت بذرهای آبیاری هر ۷ روز یکبار انجام گرفت. پس از

اظهار شده است که لوبیا چشم بلبلی قادر به نگهداری پتانسیل آب برگ‌ها بالا یا محتوای رطوبت نسبی برگ‌ها بالا، طی تنش آبی است (Souza et al., 2004)، در نتیجه می‌تواند از پسابیدگی بافت جلوگیری کند.

سالیسیلیک اسید یکی از ترکیبات فنولی است که در گیاهان تولید می‌شود. ترکیبات این گروه می‌توانند به‌عنوان تنظیم‌کننده رشد عمل کنند (Aberg, 1981). این ماده در گیاهان در مقادیر کم بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر یا کمتر (Raskin, 1992) به فرم آزاد و گلیکوزیل وجود دارد (Lee et al., 1995). سالیسیلیک اسید بسته به غلظت به‌کار رفته، گیاه، گونه، دوره رشدی و شرایط محیطی، تأثیرات متفاوتی روی فرآیندهای مختلف فیزیولوژیکی نظیر شروع برخی فرآیندها و ممانعت از برخی دیگر دارد (Iqbal et al., 2006). همچنین سالیسیلیک اسید به‌عنوان یک سیگنال مولکولی مهم در نوسانات گیاهی در پاسخ به تنش‌های محیطی شناخته شده است (Senaranta et al., 2000). گزارشاتی وجود دارد مبنی بر این که پرایم کردن بذر با سالیسیلیک اسید ممکن است در دامنه‌ای از فرآیندهای مختلف در گیاهان نظیر جوانه‌زنی بذرها (El-Tayeb, 2005؛ Pakmehr, 2009؛ Shakirova & Sahabudinova, 2003)، سبز کردن (Miar Sadegi et al., 2011) تبادل و انتقال یون‌ها (Harper & Balke, 1981)، فتوسنتز و سرعت رشد (Khan et al., 2003) اثر داشته باشد. Hamada & Al-hakimi (2001) گزارش نمودند خیساندن بذرهای گندم در ۱۰۰ ppm استیل سالیسیلیک اسید به مدت شش ساعت، نه تنها تأثیرات ممانعت‌کنندگی خشکی را کاهش داد بلکه اثر تحریک‌کنندگی نیز بر افزایش وزن خشک قسمت‌های هوایی و ریشه‌ها داشت. (Jamshidi Jam et al., 2013) مشاهده کردند میزان فتوسنتز و کلروفیل a، b و کل گلرنگ در خاک‌هایی با کلسیم بالا در مقایسه با گیاهانی که بذرهای آن‌ها با غلظت‌های متفاوتی از سالیسیلیک اسید پرایم شده بود به‌طور معنی‌داری پایین‌تر بود. تیمار با سالیسیلیک اسید منجر به کاهش اثرات تنش کلسیم و بهبود سرعت فتوسنتز و کارایی کاربوکسیلاسیون و کاهش کربن دی‌اکسید مزوفیلی در این گیاهان گردید. افزایش کلروفیل با افزایش در سرعت فتوسنتز ارتباط قوی نشان نداد؛ زیرا بیشترین میزان کلروفیل کل در تیمار ۲۰۰۰ میکرومولار و بیشترین سرعت فتوسنتز در تیمار ۱۰۰۰ میکرو مولار دیده شد. گیاهان گندم تیمار شده با سالیسیلیک اسید محتوای رطوبتی، وزن خشک، فعالیت کربوکسیلازی رابیسکویی، فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز و کلروفیل کل بالاتری را در مقایسه با گیاهچه‌های تیمار نشده

به‌طور تصادفی انتخاب و از قسمت وسط برگچه‌های وسطی جوان‌ترین برگ (برگ قبل از آخر) اندازه‌گیری گردید. جهت تجزیه و تحلیل آماری داده‌های جمع‌آوری شده از نرم‌افزارهای آماری MSTATC و SPSS استفاده شد و میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند. همچنین ضرایب همبستگی ساده بین صفات تعیین گردیدند. توزیع داده‌های آزمایشی با استفاده از نرم افزار Minitab آزمون شد و با توجه به نرمال بودن توزیع داده‌ها تبدیلی صورت نگرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه نشان داد اثر تنش کم آبی و پرایمینگ بذر با سالیسیلیک اسید بر تمامی صفات مورد بررسی اثر معنی‌داری را نشان داد و اثر متقابل این فاکتورها تنها روی شاخص کلروفیل معنی‌دار بود (جدول ۱).

محتوای نسبی آب

مقایسه میانگین‌های تیمار تنش کم آبی نشان داد که اعمال تنش در مرحله گلدهی باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ گیاهان در مقایسه با تیمار شاهد گردید (جدول ۲). در مقابل، پرایمینگ بذر با سالیسیلیک اسید موجب شد تا محتوای نسبی آب گیاه افزایش یابد (جدول ۳). در بین تیمارها، گیاهان حاصله از بذرهای پرایم شده با غلظت ۲۷۰۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید بیشترین محتوای نسبی آب (۸۰/۴۸ درصد) را داشتند. همچنین بین محتوای نسبی آب گیاهان حاصله از بذرهای پرایم شده با غلظت ۹۰۰ میکرومولار و بذرهای پرایم شده با غلظت ۳۶۰۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید، اختلاف معنی‌داری وجود نداشت و این در حالی بود که تیمار شاهد کمترین مقدار محتوای نسبی آب (۶۵/۰۴ درصد) را نشان داد (جدول ۳).

محتوای نسبی آب یکی از پارامترهای فیزیولوژیک پاسخ‌دهنده به تنش خشکی است که همبستگی خوبی با تحمل به خشکی نشان می‌دهد (Colom & Vazzana, 2003). تحقیقات نشان می‌دهد که تنش خشکی موجب کاهش پتانسیل آب، محتوای نسبی آب، تعرق، هدایت روزنه‌ای، سرعت فتوسنتز و در نهایت عملکرد می‌شود (Ma et al., 2006; Anyia & Herzog 2004). Singh & Usha (2003) بیان کردند گیاهان گندم تیمار شده با سالیسیلیک اسید، محتوای رطوبتی بالاتری را در مقایسه با گیاهچه‌های تیمار نشده در شرایط بدون تنش و تنش نشان دادند. نتایج تحقیق حاضر با نتایج گزارشات ذکر شده هماهنگی دارد.

گذشت تقریباً ۹۰ روز از زمان کاشت، اولین جوانه‌های گل در کرت‌های آزمایشی دیده شد و تنش کم آبی با شروع گلدهی، آغاز و تا ۵۰ درصد گلدهی (۱۵ روز) ادامه یافت. پس از پایان اعمال تنش کم آبی، نمونه‌برداری و جمع‌آوری داده‌ها به‌صورت زیر انجام گرفت:

محتوای نسبی آب

بعد از پایان اعمال تنش کم آبی، جهت اندازه‌گیری محتوای نسبی آب (RWC^۱) در ساعت ۱۰ صبح از برگ‌های شاخه اصلی ۴ بوته نمونه‌برداری انجام گرفت. برگ‌های جدا شده از هر بوته به‌طور جداگانه در کیسه‌های پلاستیکی قرار داده شدند و به سرعت به آزمایشگاه منتقل و وزن تر آن‌ها اندازه‌گیری شد. سپس برگ‌ها جهت محاسبه وزن توری در آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق و بدون نور غوطه‌ور شدند و پس از آن نمونه‌ها به سرعت و با دقت با کاغذ صافی خشک و وزن توری اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد در آون قرار داده و RWC بر طبق رابطه (۱) محاسبه شد.

$$\text{معادله (۱)} \quad 100 \times \text{RWC} = [(\text{FW} - \text{DW}) / (\text{TW} - \text{DW})]$$

در معادله (۱) FW وزن تر، TW وزن توری و DW وزن خشک می‌باشند.

فتوسنتز و پارامترهای وابسته به آن

در مرحله پس از گلدهی برگچه وسطی هر برگ (برگ قبل از آخر) درون اتاقک اندازه‌گیری، طوری قرار داده شد که سطح فوقانی برگچه به طرف بالا قرار گیرد تا نور کافی دریافت کند. در نهایت داده‌های اصلی هدایت روزنه‌ای براساس مول CO₂ بر متر مربع بر ثانیه (M CO₂.m⁻².s⁻¹)، شدت تعرق براساس میلی مول H₂O بر متر مربع بر ثانیه (mm H₂O.m⁻².s⁻¹) و سرعت فتوسنتز براساس میکرومول CO₂ بر متر مربع بر ثانیه (μM CO₂.m⁻².s⁻¹) با استفاده از دستگاه فتوسنتز متر ایرگا (مدل LCA4) با میانگین‌گیری از سه قرائت، گزارش گردید.

شاخص محتوای کلروفیل

شاخص محتوای کلروفیل با استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج دستی (CCM-200) استفاده گردید. برای این منظور از هر کرت فرعی در مرحله پس از گلدهی، ۱۰ بوته

1- Relative Water Content

بنابراین، به نظر نمی‌رسد در محدوده این آزمایش، افزایش مشاهده شده برای محتوای آب نسبی بر اثر کنترل روزه‌ای باشد. بلکه بیشتر به نظر می‌رسد به دلیل افزایش مقدار آب جذب شده توسط گیاه این عمل اتفاق افتاده است. به عبارت دیگر، به نظر می‌رسد بهبود وضعیت گیاهان تیمار شده با سالیسیلیک اسید از طریق مکانیسم اجتناب از تنش انجام شده است.

اختلاف در میزان محتوای آب نسبی گیاه ممکن است نشان‌دهنده تأثیر متفاوت تیمارها برای جذب آب از خاک و یا توانایی کنترل هدر روی آب از طریق روزه‌ها و یا اختلاف در توانایی گیاهان برای تجمع و تنظیم اسمزی برای حفظ تورژسانس بافت و افزایش فعالیت‌های فیزیولوژیکی باشد. با توجه به داده‌های شدت تعرق (جدول ۳)، با کاربرد سالیسیلیک اسید میزان تعرق در گیاهان تیمار شده افزایش پیدا کرد.

جدول ۱- تجزیه واریانس تأثیر پرایمینگ سالیسیلیک اسید روی صفات اندازه‌گیری شده در لوبیا چشم‌بلبلی، رقم پرستو، تحت تنش کم آبی در مرحله گلدهی

Table 1. Analysis variance of effects of priming by salicylic acid on evaluated traits of cowpea, cv. Parastoo, under water deficit condition in flowering stage

| S.O.V | منابع تغییر | درجه آزادی d.f. | میانگین مربعات MS | | | | | شاخص کلروفیل Chlorophyll index |
|----------------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|-------------------------------------|--------------------------------|--|--|-----------------------------------|
| | | | محتوای نسبی آب RWC | سرعت فتوسنتز Photosynthesis rate | شدت تعرق Transpiration rate | هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance | میزان CO ₂ درون روزنه‌ای Leaf internal CO ₂ | |
| Replication | تکرار (بلوک) | 2 | 752.235 | 4.007* | 0.548 | 1.425* | 6036.68 | 129.63 |
| Irrigation (A) | تنش کم آبی | 1 | 2037.24* | 13.14* | 8.003* | 3.729* | 23060.27* | 288.9* |
| Error (a) | اشتباه آزمایشی | 2 | 43.645 | 0.221 | 0.205 | 0.042 | 971.883 | 12.82 |
| Salicylic acid priming (B) | پرایمینگ | 4 | 191.5** | 12.9** | 0.23** | 1.1* | 607.9** | 699.8** |
| Error (b) | اشتباه آزمایشی | 8 | 19.9 | 0.39 | 0.006 | 0.23 | 42.26 | 33.08 |
| A×B | تنش کم آبی × پرایمینگ | 4 | 10.97 ^{ns} | 1.28 ^{ns} | 0.011 | 0.065 ^{ns} | 22.101 ^{ns} | 25.8* |
| Error (c) | اشتباه آزمایشی کل | 8 | 4.84 | 0.384 | 0.081 | 0.148 | 22.02 | 6.03 |
| C.V (%) | ضریب تغییرات (درصد) | | 3.04 | 13.48 | 13.49 | 27.41 | 1.26 | 2.92 |

ns, * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح $\alpha=0.05$ و $\alpha=0.01$ ، respectively
ns: Non-significant, *and **: Significant at $\alpha=0.05$ & $\alpha=0.01$, respectively

جدول ۲- مقایسه میانگین تأثیر سطوح آبیاری روی محتوای نسبی آب، سرعت فتوسنتز، شدت تعرق، هدایت روزنه‌ای، CO₂ زیر اتاقک روزه‌ای و شاخص کلروفیل در لوبیا چشم‌بلبلی، رقم پرستو، تحت تنش کم آبی

Table 2. Mean comparison effect of priming with salicylic acid on relative water content (RWC), photosynthesis rate, transpiration rate, stomatal conductance, leaf internal CO₂, and chlorophyll index in cowpea (*Vigna unguiculata*), cv. Parastoo, under water deficit

| شرایط | محتوای نسبی آب RWC (%) | سرعت فتوسنتز Photosynthesis rate ($\mu\text{MolCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) | شدت تعرق Transpiration rate ($\text{mMolH}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) | هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance ($\text{MolCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) | میزان CO ₂ زیر روزنه‌ای Leaf internal CO ₂ ($\text{mMol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) |
|---------------|---------------------------|--|--|--|---|
| شاهد (آبیاری) | Control | 80.64 a | 5.26 a | 1.52 a | 344.6 b |
| تنش کم آبی | Water Stress | 64.17 b | 3.93 b | 0.49 b | 400.1 a |

میانگین‌ها با حروف مشابه در هر ستون، در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار ندارند.
Means with similar letters in each column are not significantly different at the 5% level (Duncans MRT).

جدول ۳- مقایسه میانگین تأثیر پرایمینگ با سالیسیلیک اسید روی محتوای نسبی آب، سرعت فتوسنتز، شدت تعرق، هدایت روزنه‌ای، CO_2 زیر اتاقک روزنه‌ای و شاخص کلروفیل در لوبیا چشم بلبلی، رقم پرستو، تحت تنش کم آبی

Table 3. Mean comparison effect of priming with salicylic acid on relative water content (RWC), photosynthesis rate, transpiration rate, stomatal conductance, leaf internal CO_2 , and chlorophyll index in cowpea (*Vigna unguiculata*), cv. Parastoo, under water deficit

| پرایمینگ با سالیسیلیک اسید | محتوای نسبی آب | سرعت فتوسنتز | شدت تعرق | هدایت روزنه‌ای | میزان CO_2 زیر روزنه‌ای |
|------------------------------------|----------------------------|---|---|--|--|
| Salicylic acid priming (μM) | Relative Water Content (%) | Photosynthesis rate ($\mu MolCO_2.m^{-2}.s^{-1}$) | Transpiration rate ($mMolH_2O.m^{-2}.s^{-1}$) | Stomatal conductance ($MolCO_2.m^{-2}.s^{-1}$) | Leaf internal CO_2 ($mMol CO_2.m^{-2}.s^{-1}$) |
| 0 | 65.94 d | 2.388 d | 0.71 c | 0.802 c | 384.2 a |
| 900 | 69.09 c | 4.202 c | 0.925 b | 1.23 bc | 380.2 a |
| 1800 | 75.31 b | 5.339 b | 1.042 ab | 1.57 ab | 371.4 b |
| 2700 | 80.48 a | 6.33 a | 1.217 a | 2.02 a | 359.4 c |
| 3600 | 71.26 c | 4.72 bc | 1.147 a | 1.406 b | 366.5 b |

میانگین‌ها با حروف مشابه در هر ستون، در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار ندارند.
Means with similar letters in each column are not significantly different at the 5% level (Duncans MRT)

سرعت فتوسنتز شد ولی در بالاترین غلظت (۳۶۰۰ میکرومولار) این روند معکوس گردید (جدول ۳). به نحوی که در بین تیمارها، گیاهان حاصل از بذرها پرایم شده با غلظت ۲۷۰۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید حداکثر سرعت فتوسنتز را دارا بودند. گیاهان حاصل از تیمار شاهد دارای کمترین مقدار از نظر سرعت فتوسنتز بودند. در بین تیمارها، سرعت فتوسنتز گیاهان حاصل از بذرها پرایم شده با غلظت ۳۶۰۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید، اختلاف معنی‌داری با بذرها پرایم شده با غلظت ۱۸۰۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید، نشان نداد. به نظر می‌رسد مقادیر بالای هورمون سالیسیلیک اسید دارای اثرات بازدارنده‌ای بر کارکرد دستگاه فتوسنتز باشد.

اسیمیلاسیون خالص CO_2 از طریق فتوسنتز، اولین مرحله تولید بیوماس در گیاهان است (Blanco *et al.*, 2000). گزارش شده است سرعت اسیمیلاسیون خالص حساس‌ترین جزء ظرفیت بیوشیمیایی فتوسنتز به تنش کم آبی است و می‌تواند نقطه کنترل کلیدی تحمل خشکی باشد (Kruger *et al.*, 1995). (Zou *et al.*, 2007) نیز در آزمایش‌های خود مشاهده کردند که تنش کم آبی طی دوره پر شدن دانه برنج میزان فتوسنتز خالص و هدایت روزنه‌ای را کاهش داده و پیری برگ را تسریع کرد. (Soza *et al.*, 2004) گزارش کردند اعمال تنش خشکی بر گیاه لوبیا چشم بلبلی موجب کاهش سرعت اسیمیلاسیون کربن دی اکسید گردید که ارتباط قوی با هدایت روزنه‌ای و گشودگی روزنه داشت. آن‌ها اعلام کردند در طی مرحله اول تنش آبی فعالیت فتوشیمیایی تحت تأثیر تنش قرار نگرفت. در حالی که در مراحل پیشرفته تنش، اختلال در فعالیت‌های فتوشیمیایی با تغییر در میزان فلورسانس فتوسیستم II مشاهده شد. این مطلب بیانگر اثر

یکی از اثرات گزارش شده سالیسیلیک اسید افزایش طول ریشه و افزایش توان استخراج آب است (Gutierrez-Coronado *et al.*, 1998). همچنین، (Mohamadi *et al.*, 2011) گزارش نمودند گیاهان گلرنگ تیمار شده با سالیسیلیک اسید دارای طول و وزن خشک ریشه بیشتری در مقایسه با گیاهان تیمار نشده بودند. علاوه بر این، گیاهان تیمار شده دارای چگالی ریشه بیشتری نیز بودند و متراکم‌ترین ریشه‌ها در تیمارهای بالاتر سالیسیلیک اسید دیده شد. آن‌ها اعلام کردند بین طول ریشه و بیوماس تولید شده در گیاه همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت. از سوی دیگر، گزارش شده است پرایمینگ با سالیسیلیک اسید، از طریق افزایش سرعت، یکنواختی سبز کردن، شاخص سبز و درصد سبز کردن (Pakmehr, 2009) موجب افزایش کارایی بذرها تیمار شده گردید. این اثرات مثبت، ممکن است با بهبود و افزایش سرعت رشد ریشه‌ها در ابتدای زندگی گیاه، دلیلی برای افزایش محتوای نسبی آب گیاهان باشد. گیاهان تیمار شده با غلظت‌های بالاتر سالیسیلیک اسید با محتوای نسبی آب بالا، کمترین کاهش را در سرعت فتوسنتز در مقایسه با سایر گیاهان تیمار شده نشان دادند (جدول ۳). محتوای نسبی آب در شرایط تنش و نرمال، به ترتیب همبستگی معنی‌داری را با شدت فتوسنتز (۰/۷۸ و ۰/۶۴) و هدایت روزنه‌ای (۰/۸۶ و ۰/۷۲) نشان داد (جدول ۴). به نظر می‌رسد با افزایش محتوای آب نسبی به دلیل افزایش میزان گشودگی روزنه‌ها، میزان تبادلات گازی و شدت فتوسنتز افزایش یافته است.

سرعت فتوسنتز

تنش کم آبی باعث کاهش سرعت فتوسنتز گیاهان شد (جدول ۲). در مقابل، کاربرد سالیسیلیک اسید موجب افزایش

^۵- ۱۰ مولار سالیسیلیک اسید و به صورت اسپری برگ، تیمار شده بودند (Fariduddin *et al.*, 2003) یا دانه گندم که قبل از کشت با سالیسیلیک اسید (Hayat *et al.*, 2005) تیمار شده بودند، به صورت معنی داری افزایش یافت. همچنین فعالیت رابیسکو و سرعت فتوسنتز در گیاهان تحت تنش خشکی خردل که با سالیسیلیک اسید تیمار شده بودند، افزایش یافت (Fariduddin *et al.*, 2003).

شدت تعرق

تنش کم آبی، باعث کاهش شدت تعرق گیاهان شد (جدول ۲). از دیگر سوی، کاربرد سالیسیلیک اسید موجب افزایش میزان تعرق گردید (جدول ۳). در بین تیمارها، گیاهان حاصل از بذرهای پرایم شده با غلظت ۲۷۰۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید، بیشترین میزان تعرق را به خود اختصاص دادند که با بذرهای پرایم شده با غلظت‌های ۳۶۰۰ میکرومولار و ۱۸۰۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید، اختلاف معنی داری نداشتند. کمترین میزان تعرق نیز در گیاهان متعلق به تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۳).

سرعت تعرق نشانگر گشودگی بیشتر روزنه‌ها و به تبع آن بیانگر جذب بهتر آب از خاک است. در گیاهان زراعی تعرق بارزترین شکل تلفات آب است. در گیاهان ممکن است برای تولید هر کیلوگرم ماده خشک چند صد کیلوگرم آب مورد نیاز باشد. تعرق بیش از حد ممکن است به کاهش قابل ملاحظه تولید محصول منجر شود. در واقع افزایش تعرق سبب افزایش هدر رفت آب توسط گیاه شده و گیاه جهت جلوگیری از کاهش بیش از حد آب، روزنه‌های خود را می‌بندد. بسته شدن روزنه‌ها مانع از ورود CO₂ به درون گیاه و در نتیجه کاهش فتوسنتز و در نهایت بیوماس و عملکرد می‌گردد. کاهش تعرق منجر به افزایش دمای برگ می‌شود که ممکن است منجر به تجزیه کلروفیل گردد. تعرق روزنه‌ای بالا احتمالاً منجر به اسیمیلاسیون بیشتر CO₂ و در نهایت بیوماس و تولید بیش‌تر می‌شود (Zaharieva *et al.*, 2001). طبق آزمایش‌های Zou *et al.* (2007) در نتیجه افزایش تبخیر و تعرق، بیوماس گیاه، عملکرد دانه، شاخص برداشت و کارایی مصرف آب، افزایش یافتند. (Khan *et al.*, 2003) افزایش در میزان تعرق در پاسخ به سالیسیلیک اسید، استیل سالیسیلیک اسید (ASA) و جنتسیک اسید (GTA) در شاخ و برگ ذرت و سویا مشاهده کردند. به علاوه، برگ‌های سویا، افزایش در راندمان مصرف آب و میزان بالای تعرق، با سالیسیلیک اسید جبرانی را نشان دادند. علاوه بر این، در برگ‌های سویا میزان بالای سرعت تعرق در

تنش آب بر سرعت فتوسنتز از طریق اثرات روزنه‌ای پیش از اثرات غیر روزنه‌ای است. همچنین، گزارشاتی وجود دارد که بیان می‌دارد کاربرد سالیسیلیک اسید بر گیاهان موجب افزایش فتوسنتز و صفات وابسته تحت شرایط نرمال و تنش گردیده است. (Gemes *et al.* (2008) بیان کردند پیش‌تیمار کردن گیاهان گوجه‌فرنگی با سالیسیلیک اسید موجب افزایش فتوسنتز، محتوای کلروفیل، کارتنوئید و گزانتوفیل در گیاهان تحت تنش و غیر تنش گردید. (Chandra & Bahatt (1998) نیز گزارش کردند کاربرد سالیسیلیک اسید روی لوبیا چشم بلبلی موجب افزایش سرعت فتوسنتز و فعالیت پراکسیداز گردید.

غلظت CO₂ زیر اتاقک روزنه

اعمال تنش کم آبی باعث افزایش میزان CO₂ اتاقک زیر روزنه‌ای گیاهان شد (جدول ۲). کاربرد سالیسیلیک اسید باعث شد تا مقدار CO₂ زیر اتاقک روزنه به‌طور معنی داری کاهش یابد (جدول ۳). در بین تیمارهای پرایمینگ، تیمار شاهد بیشترین میزان CO₂ زیر اتاقک روزنه‌ای را دارا بود که از این لحاظ اختلاف معنی داری با گیاهان حاصله از بذرهای پرایم شده با غلظت ۹۰۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید، نداشت. کمترین میزان CO₂ زیر اتاقک روزنه مربوط به گیاهان حاصله از بذرهای پرایم شده با غلظت ۲۷۰۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید بود که از این لحاظ اختلاف معنی داری با گیاهان حاصله از بذرهای پرایم شده با غلظت ۱۸۰۰ و ۳۶۰۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید داشتند (جدول ۳).

غلظت CO₂ زیر روزنه‌ای بالا بیانگر این مطلب است که در شرایط تنش، CO₂ وارد شده به برگ به خوبی در فرآیند فتوسنتز مورد استفاده قرار نگرفته است (Anyia & Herzog, 2004). (Koc *et al.* (2003) گزارش کردند در تیمارهای تحت تنش‌های شدید کم آبی، افزایش غلظت CO₂ زیر اتاقک روزنه‌ای در گندم دوروم را می‌توان به کاهش شدید در هدایت مزوفیلی و در نتیجه کاهش ظرفیت فتوسنتزی کلروپلاست نسبت داد که در این صورت CO₂ وارد شده به برگ نمی‌تواند به خوبی در فتوسنتز مورد استفاده قرار گیرد. کمتر بودن میزان افزایش CO₂ زیر اتاقک روزنه‌ای در گیاهان تیمار شده با سالیسیلیک اسید، شاید به دلیل عمل محافظتی سالیسیلیک اسید بر آنزیم‌های فتوسنتزی باشد که موجب افزایش سرعت فتوسنتز در گیاهان تیمار شده با این هورمون گردید. گزارش شده است واکنش گیاهان سالم و یا بخش‌هایی از آن‌ها به تیمار سالیسیلیک اسید، موجب تغییر در فعالیت آنزیم یا آنزیم‌ها گردید فعالیت کربنیک انهدراز در برگ‌های خردل که با غلظت

ابتدای استفاده از سالیسیلیک اسید مشاهده شد (Kumar *et al.*, 2000).

هدایت روزنه‌ای

اعمال تنش کم آبی باعث کاهش هدایت روزنه‌ای گیاهان شد (جدول ۲). پرایمینگ بذر با سالیسیلیک اسید باعث افزایش هدایت روزنه‌ای گردید (جدول ۳). به نحوی که، در بین تیمارها، بیشترین هدایت روزنه‌ای مربوط به گیاهان حاصل از بذرهای پرایم شده با غلظت ۲۷۰۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید، بود که از این لحاظ اختلاف معنی‌داری با گیاهان حاصل از بذرهای پرایم شده با غلظت ۱۸۰۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید نداشت، ولی اختلاف معنی‌دار با بقیه تیمارها نشان داد. کمترین هدایت روزنه‌ای نیز مربوط به تیمار شاهد بود (جدول ۳).

زمانی که گیاه با کمبود آب مواجه می‌شود در نتیجه بسته شدن روزنه‌ها، سرعت تعرق و فتوسنتز به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد (Hirayama *et al.*, 2006). جلوگیری از رشد همراه با بسته شدن روزنه‌ها جزء اولین پاسخ‌های گیاهان به خشکی است (Klamkowski & Treder, 2006). همچنین اظهار شده است بسته شدن روزنه‌ها در پاسخ به کمبود آب رفتار مشترکی است که در میان گونه‌های گیاهی به چشم می‌خورد (Pearce *et al.*, 2006). Anyia & Herzog (2004) نیز گزارش کردند که با گذشت زمان از تنش خشکی، در لوبیا چشم بلبلی سرعت فتوسنتز، تعرق و هدایت روزنه‌ای کاهش و در مقابل غلظت CO₂ درونی افزایش یافت. آن‌ها بیان کردند که علت این امر ممکن است به خاطر پیری برگچه‌ها باشد. همچنین کاهش در سرعت اسیمیلاسیون به‌طور عمده به خاطر بسته شدن روزنه‌ها بود. با این حال بعضی محدودیت‌های ناشی از تنظیم غیر روزنه‌ای نیز مشاهده شده است.

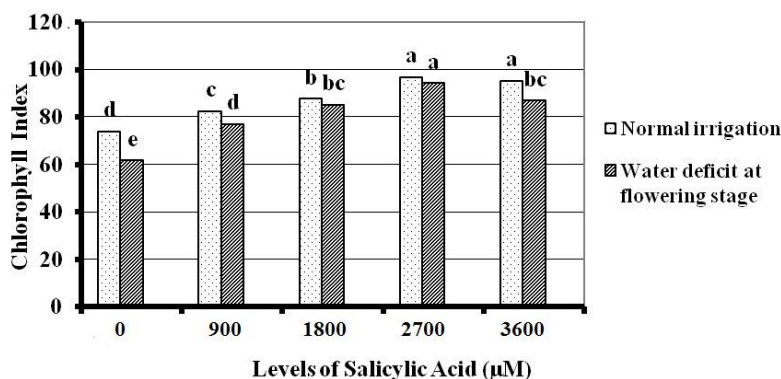
Khan *et al.* (2003) افزایش در میزان هدایت روزنه‌ای در پاسخ به سالیسیلیک اسید، استیل سالیسیلیک‌اسید (ASA) و جنتسیک اسید (GTA) در شاخ و برگ ذرت و سویا مشاهده کردند. به‌علاوه، برگ‌های سویا افزایش در راندمان مصرف آب و میزان بالای تعرق با سالیسیلیک‌اسید تکمیلی را نشان دادند. گزارش شده است کاربرد سالیسیلیک اسید هدایت روزنه‌ای و

سرعت تعرق را در گندم تحت شرایط کمبود آب افزایش داد (Waseem *et al.*, 2006). در برخی بررسی‌ها گزارش شد سالیسیلیک اسید سبب کاهش هدایت روزنه‌ای گردید (Khodary, 2004; Larque-Saaveda, 1979) که احتمالاً این کاهش هدایت روزنه‌ای به اثر ضد تعرقی ایجاد شده به‌وسیله اسپری برگ‌ی با سالیسیلیک اسید در این بررسی‌ها باشد. در آزمایش حاضر نیز در بالاترین غلظت میزان هدایت روزنه‌ای نسبت به تیمار ۲۷۰۰ میکرومولار کاهش پیدا کرد.

در مطالعه حاضر، بین هدایت روزنه‌ای و سرعت فتوسنتز در واحد سطح برگ در شرایط نرمال ($r=0.77$) و تنش ($r=0.78$)، همبستگی بالایی وجود داشت (جدول ۴). Koc *et al.* (2003) نیز بین هدایت روزنه‌ای و سرعت فتوسنتز در واحد سطح برگ همبستگی بالایی مشاهده کردند. رابطه مثبت فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای می‌تواند به این دلیل باشد که با افزایش هدایت روزنه‌ای میزان CO₂ ورودی برای استفاده در فتوسنتز، بیشتر می‌شود. هدایت روزنه‌ای برای بخارآب به‌دلیل مشترک بودن مسیرهای انتشار برای کربن دی‌اکسید و آب، با فتوسنتز رابطه دارد (Blanco *et al.*, 2000). رابطه بین هدایت روزنه‌ای با فتوسنتز، نشان از اهمیت آن در تولید دارد. Cornic (2000) نشان داد که بسته شدن روزنه اولین دلیل کم شدن سرعت فتوسنتز در شرایط خشکی متوسط است. از طرفی احتمالاً در دسترس بودن CO₂ در کلروپلاست، که عمده‌تاً توسط هدایت روزنه‌ای تنظیم می‌شود، در پاسخ به کمبود آب، به‌عنوان سیگنالی برای تنظیم متابولیسمی در برگ عمل می‌کند (Flexas & Medrano, 2002).

شاخص کلروفیل

اثر متقابل پرایمینگ بذر با سالیسیلیک اسید و تنش کم آبی برای صفت شاخص محتوای کلروفیل نشان داد که تنش کم آبی باعث کاهش شاخص محتوای کلروفیل گیاهان شد. در شرایط عادی و تنش بیشترین شاخص محتوای کلروفیل را بذرهای پرایم شده با غلظت ۲۷۰۰ میکرومولار سالیسیلیک اسید، دارا بودند و کمترین شاخص محتوای کلروفیل مربوط به تیمار شاهد در شرایط تنش بود. (شکل ۱)



شکل ۱- اثر متقابل سالیسیلیک اسید و تنش کم آبی روی شاخص کلروفیل
 Fig. 1. Interaction between irrigation and salicylic acid on Chlorophyll Index

القای پیری شد. به نظر می‌رسد، که کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنش خشکی به علت تجزیه کلروفیل باشد (Schutzz & Fangmeier, 2001). کاهش در پروتئین‌های غشایی خاص در شرایط تنش خشکی (Alber & Thorner, 1977)، افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز (Majumdar et al., 1991) و پراکسیداز (Ashraf et al., 1994) از عوامل مؤثر در کاهش کلروفیل در شرایط تنش آبی ذکر شدند.

غلظت کلروفیل به عنوان یک شاخص برای ارزیابی قدرت منبع شناخته شده است (Herzog, 1986) و لذا کاهش در آن در شرایط تنش آبی می‌تواند به عنوان یک عامل محدودکننده غیر روزنه‌ای به حساب آید. گزارشاتی وجود دارد مبنی بر این که تنش آبی موجب کاهش شاخص کلروفیل برگ می‌گردد (Majumdar et al., 1991) که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. (Yang et al., 2002) گزارش کردند که کاهش محتوای کلروفیل در اثر تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه موجب

جدول ۴- ضرایب همبستگی بین صفات لوبیا چشم بلبلی تحت شرایط آبیاری و تنش کم آبی

Table 4. Coefficient correlation between traits of cowpea (*Vigna unguiculata*) under normal condition

| همبستگی | Correlation | محتوای نسبی آب | | سرعت فتوسنتز | | شدت تعرق | | هدایت روزنه ای | | میزان CO ₂ درون روزنه ای | | شاخص کلروفیل | |
|-------------------------------------|-------------------------------|-------------------|------------|---------------------|------------|--------------------|------------|----------------------|------------|-------------------------------------|------------|-------------------|------------|
| | | RWC | | Photosynthesis rate | | Transpiration rate | | Stomatal conductance | | Leaf internal CO ₂ | | Chlorophyll index | |
| (آبیاری) | (Irrigation) | آبیاری Irrigation | تنش Stress | آبیاری Irrigation | تنش Stress | آبیاری Irrigation | تنش Stress | آبیاری Irrigation | تنش Stress | آبیاری Irrigation | تنش Stress | آبیاری Irrigation | تنش Stress |
| محتوای نسبی آب | RWC | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| سرعت فتوسنتز | Photosynthesis rate | 0.64* | 0.78** | 1 | 1 | | | | | | | | |
| شدت تعرق | Transpiration rate | -0.529 | 0.42 | 0.075 | 0.48 | 1 | 1 | | | | | | |
| هدایت روزنه ای | Stomatal conductance | 0.715** | 0.86** | 0.779** | 0.78* | -0.068 | 0.32 | 1 | 1 | | | | |
| میزان CO ₂ درون روزنه ای | Leaf internal CO ₂ | 0.615* | 0.07 | 0.078 | - | -0.55* | -0.65** | 0.106 | 0.06 | 1 | 1 | | |
| شاخص کلروفیل | Chlorophyll index | 0.13 | 0.5 | 0.69** | 0.64* | 0.486 | 0.76** | 0.45 | 0.44 | -0.511 | -0.66** | 1 | 1 |

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

* and **: Significant at the 5 and 1% level of probability respectively

میزان کلروفیل برگ در مقایسه با تیمار ۲۷۰۰ میکرومولار کاهش پیدا کرد.

نتایج آزمایش نشان داد که گیاهان حاصل از بذره‌های پرایم شده با سالیسیلیک اسید با ایجاد شرایط مناسب، برای مثال از طریق افزایش محتوای نسبی آب، شدت تعرق، هدایت روزنه‌ای و شاخص کلروفیل برای گیاه، توانستند سرعت فتوسنتز را در شرایط عادی و تنش بهبود بخشند. همچنین به نظر می‌رسد افزایش سرعت فتوسنتز با کاربرد سالیسیلیک اسید ضمن اینکه از طریق اثرات روزنه‌ای می‌تواند انجام شود، می‌تواند از طریق کاهش مقاومت مزوفیلی نیز انجام گردد. زیرا هم در گیاهان تحت تنش و هم در گیاهان تحت شرایط غیر تنش میزان کربن دی اکسید زیر اتاقت روزنه‌ای در مقایسه با گیاهان تیمار شاهد پایین‌تر بود که بیانگر اسمیلاسیون بهتر کربن در قسمت مزوفیل برگ می‌باشد. در نهایت، به نظر می‌رسد کاربرد سالیسیلیک اسید با اثر محافظتی و بهبوددهندگی باعث کارکرد بهتر گیاهان تحت شرایط تنش و نرمال می‌گردد.

جنبه‌های متابولیک گیاهانی که با سالیسیلیک اسید یا مشتقات آن تیمار شده‌اند، تغییراتی را با درجات مختلف نشان می‌دهند که بستگی به نوع گیاه و روش اعمال سالیسیلیک اسید دارد. برای مثال کاربرد سالیسیلیک اسید (۲۰ میلی‌گرم در میلی‌لیتر، معادل با ۱۴۵ میکرو مولار) به قسمت‌های برگ گیاه کلزا (*Brassica napus*) میزان کلروفیل را افزایش داد (Ghai *et al.*, 2002). Singh & Usha (2003) بیان کردند که خیساندن بذره‌های گندم در محلول سالیسیلیک اسید منجر به تولید گیاهچه‌هایی با کلروفیل کل بالاتری در مقایسه با گیاهچه‌های تیمار نشده در شرایط نرمال و تنش گردید. همچنین خیساندن بذره‌های گندم در محلول 10^{-5} مولار از سالیسیلیک اسید، منجر به گیاهانی شد که دارای مقدار رنگدانه‌های بیشتری بودند ولی با افزایش غلظت سالیسیلیک اسید، مقدار رنگدانه‌ها کاهش یافتند (Hayat *et al.*, 2005). در آزمایش حاضر نیز با افزایش غلظت سالیسیلیک اسید به کار رفته برای عمل پرایمینگ، میزان کلروفیل افزایش یافت. ولی در آخرین سطح غلظت به کار رفته و به‌خصوص در شرایط تنش

منابع

1. Aberg, B. 1981. Plant growth regulators XLI. Mono substituted benzoic acid. Swed. J. Agric. Res. 11: 93-105.
2. Albert, R.S., and Thorner, J.P. 1977. Water stress effects on the content and organization of chlorophyll in mesophyll and bundle sheath chloroplasts of maize. Plant Physiol 59: 351- 353.
3. Anyia, A.O., and Herzog, H. 2004. Water-use efficiency, leaf area and leaf gas exchange of cowpeas under mid-season drought. Europ. J. Agron. 20: 327-339.
4. Ashraf, M.Y., Azim, A.R., Khan, A.H., and Ala, S.A. 1994. Effect of water stress on total phenols, peroxidase activity and chlorophyll content in wheat (*Triticum aestivum* L.). Acta physiologia Plant 16: 185- 191.
5. Blanco, I.A., Rajaram S., Kronstad, W.E., and Reynolds, M.O. 2000. Physiological performance of synthetic hexaploid wheat-derived populations. Crop Sci 40: 1257-1263.
6. Burghardt, M., and Riederer, M. 2003. Ecophysiological relevance of cuticular transpiration of deciduous and evergreen plants in relation to stomatal closure and leaf water potential. J Exp Bot. 54: 1941-1949
7. Chandra, A., and Bahatt, R.K. 1998. Biochemical and physiological response to salicylic acid in relation to the systemic acquired resistance. Photosynthetica. 35: 255-258.
8. Chaves, M.M. 1991. Effects of water deficits on carbon assimilation. J. Exp. Bot. 42: 1-16.
9. Colom, M.R., and Vazzana, C. 2003. Photosynthesis and PSII functionality of drought-resistant and drought-sensitive weeping lovegrass plants. Environ. Exp. Bot. 49: 135-144.
10. Cornic, G. 2000. Drought stress inhibits photosynthesis by decreased stomatal aperture – not by affecting ATP synthesis. TIBS. 5: 187-188.
11. de Carvalho, M.H.C., Laffray, D., and Louguet, P. 1998. Comparison of the physiological responses of *Phaseolus vulgaris* and *Vigna unguiculata* cultivars when submitted to drought conditions. Environ. Exp. Bot. 40: 197-207.
12. Ehlers, J.D., and Hall, A.E. 1997. Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.). Field Crops Res 53: 187-204.
13. El-Tayeb, M.A. 2005. Response of barley grains to the interactive effect of salinity and salicylic acid .Plant Growth Reg 45: 215-225.

14. Fariduddin, Q., Hayat, S., and Ahmad, A. 2003. Salicylic acid influences net photosynthetic rate, carboxylation efficiency, nitrate reductase activity and seed yield in *Brassica juncea*. *Photosynthetica*. 41: 281-284.
15. Flexas, L., and Medrano, H. 2002. Drought-inhibition of photosynthesis in C₃ plant: Stomatal and non-stomatal limitation revisited. *Ann. of Bot.* 89: 183-189.
16. García-Plazaola J.I., and Becerril, J.M. 2000. Effects of drought on photoprotective mechanisms in European beech (*Fagus sylvatica* L.) seedlings from different provenances. *Trees-Struct. Funct.* 14: 485-490.
17. Gemes, K., Poor, P., Szepesi, A., and Tari, I. 2008. Role of salicylic acid pre-treatment on the photosynthetic performance of tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill. L. cvar. Rio Fuego) under salt stress. *Acta Biologica Szegediensis*. 52:161-162
18. Ghai, N., Setia, R.C., and Setia, N. 2002. Effects of paclobutrazol and salicylic acid on chlorophyll content, hill activity and yield components in *Brassica napus* L. (cv. GSL 1). *Phytomorph* 52: 83-87.
19. Gutiérrez-Coronado, M., Trejo, C.L., and Larqué-Saavedra, A. 1998. Effects of salicylic acid on the growth of roots and shoots in soybean. *Plant. Physiol. Biochem* 36: 563-565.
20. Hamada, A.M., and Al-Hakimi, A.M.A. 2001. Salicylic acid versus salinity-droughtinduced stress on wheat seedlings. *Rostl. Vyr.* 47: 444-450.
21. Harper J.P., and Balke, N.E. 1981. Characterization of the inhibition of K⁺ absorption in wheat roots by salicylic acid. *Plant Physiol* 68: 1349-1353.
22. Hayat, S., Fariduddin, Q., Ali, B., and Ahmad, A. 2005. Effect of salicylic acid on growth and enzyme activities of wheat seedlings. *Acta Agron. Hung.* 53: 433-437.
23. Herzog, H. 1986. Source and sink during the reproductive period of wheat. Scientific publishers, Berlin and Hamburg.
24. Hirayama, M., Wada, Y., and Nemoto, H. 2006. Estimation of drought tolerance based on leaf temperature in upland rice breeding. *Breed. Sci.* 56: 47-54.
25. Iqbal, M., Ashraf, M., Jamil, A., and Shafiq, U.R.M. 2006. Does seed priming induce changes in the levels of some endogenous plant hormones in hexaploid wheat plant under salt stress. *J. integrative Plant Biol.* 48 (2): 181-189.
26. Jamshidi Jam, B., Shekari, F., and Zangani, E. 2013. Application of bio-sulfur fertilizer and seed pretreatment with salicylic acid improved photosynthetic parameters of safflower. *Intern. J. Agron. Plant Prod.* 4 (11): 3068-3075.
27. Karkanis, A., Bilalis, D., Efthimiadou, A. 2011. Architectural plasticity, photosynthesis and growth response velvetleaf (*Abutilon theophrasti* Medicus) plants to water stress in a semi-arid environment. *Aust. J. Crop Sci.* 5 (4): 369-374.
28. Khan, W., Prithviraj, B., and Smith, D.L. 2003. Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates. *J. Plant Physiol* 160: 485-492.
29. Khodary, S.F.A. 2004. Effect of salicylic acid on the growth, photosynthesis and carbohydrate metabolism in salt stressed maize plants. *International Journal Agriculture Biology* 6: 5-8.
30. Klamkowski, K., and Treder, W. 2006. Morphological and physiological responses of strawberry plants to water stress. *Agricul Conspectus Sci* 71 (4): 159-165.
31. Koc, M., Barutcular, C., and Genc, I. 2003. Photosynthesis and productivity of old and modern durum wheats in Mediterranean environment. *Crop Sci.* 43: 2089-2098.
32. Kruger, G.H.J., Van Rensburg, L., and Mahtis, P. 1995. Carbon dioxide fixation: stomatal and non-stomatal limitations in drought stressed *Nicotina tabacum* L. cultivar. Xth International Photosynthesis Congress, Montpellier, France. 5: 505-510.
33. Kumar, P., Lakshmi, N.J., and Mani, V.P. 2000. Interactive effects of salicylic acid and phytohormones on photosynthesis and grain yield of soybean (*Glycine max* L. Merrill). *Physiol. Mol. Plant* 6: 179-186.
34. Larque-Saavedra, A. 1979. Stomatal closure in response to salicylic acid treatment. *Z. Pflanzenphysiol* 93: 371-375.
35. Lee, H., León, J., and Raskin, I. 1995. Biosynthesis and metabolism of salicylic acid. *Proc. Nati. Acad. Sci. USA*, 92: 4076-4079.
36. Ma, Q.Q., Wang, W., Li, Y. H., Li, D.Q., and Zou, Q. 2006. Alleviation of photoinhibition in drought-stressed wheat (*Triticum aestivum*) by foliar applied glycinebetaine. *J. Plant Physiol* 163: 165-175.
37. Majumdar, S., Ghosh, S., Glick, B.R., and Dumbroff, E.B. 1991. Activities of chlorophyllase, phosphoenolpyruvate carboxylase and ribulose 1, 5-bisphosphate carboxylase in the primary leaves of soybean during senescence and drought. *Physiol. Plant* 81: 473-480.

38. Miar Sadegi, S., Shekari, F., Fotovat, R., and Zangani, E. 2011. The effect of priming by salicylic acid on vigor and seedling growth of canola (*Brassica napus*) under water deficit condition. *Journal of Plant Biology* 6: 55-70. (In Persian with English abstract).
39. Mohammadi, L., Shekari, F., Saba, J., and Zangani, E. 2011. Effects of seed priming with salicylic acid on vigor and morphological traits of safflower seedlings. *Modern Science of Sustainable Agriculture Journal* 7: 63- 72. (In Persian with English abstract).
40. Pakmehr, A. 2009. Effect of priming by salicylic acid on morphological and physiological traits of cowpea (*Vigna unguiculata* L.) under water deficit. MSc Thesis Faculty of Agriculture, Zanjan University. (In Persian).
41. Pearce, D.W., Millard, S., Bray, D.F., and Rood, S.B. 2006. Stomatal characteristics of riparian poplar species in a semi-arid environment. *Tree Physiol* 26: 211-218.
42. Raskin, I. 1992. Role of salicylic acid in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol. Mol. Biol.* 43: 439-463.
43. Schutzz, M., and Fangmeier, A. 2001. Growth and yield responses of spring wheat (*Triticum aestivum* L. CV. Minaret). *Pollution* 114: 187- 189.
44. Senaratna, T., Touchell, D., Bunn, E., and Dixon, K. 2000. Acetyl salicylic acid (Aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. *Plant Growth Regul* 30: 157-161.
45. Shakirova, F.M., and Sahabudinova, D.R. 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. *Plant Sci* 164: 317-322.
46. Singh, B., and Usha, K. 2003. Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. *Plant Growth Regul* 39: 137-141.
47. Souza, R.P., Machado, E.C., Silva, J.A.B., and Silveira, J.A.G. 2004. Photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and some associated metabolic changes in cowpea (*Vigna unguiculata*) during water stress and recovery. *Environ. Exp. Bot.* 51: 45-56.
48. Tezara, W., and Lawlor, D.W. 1995. Effects of water stress on the biochemistry and physiology of photosynthesis in sunflower. In: *Photosynthesis: From Light to Biosphere*. Mathis, P.(Ed). VOL IV. pp: 25-628. Kluwer Acad. Publishers, Dordrecht-Berlin-london.
49. Waseem, M., Athar, H., and Ashraf, M. 2006. Effect of salicylic acid applied through rooting medium on drought tolerance of wheat. *Pakistan Journal Botany* 38 (4): 1127- 1136.
50. Yang, J.C., Zhang, J.H., Liu, L.J., Wang, Z.Q., and Zhu, Q.S. 2002. Carbon remobilization and grain filling in Japonica/Indica hybrid rice subjected to photosynthesis water deficits. *J. Agron.* 94: 102-109.
51. Zaharieva, M., Gaulin, E., Havaux, M., and Monneveux, P. 2001. Drought and heat responses in the wild wheat relative *Aegilops geniculata* roth. *Crop Sci* 41: 1321- 1329.
52. Zou, G.H., Liu, H.Y., Mei, H.W., Liu, G.L., Yu, X.Q., and Luo, L.J. 2007. Screening for drought resistance of rice recombinant inbred populations in the field. *J. Integrative Plant Biol* 49: 1508-1516.

Effect of seed priming by salicylic acid on some photosynthetic traits of cowpea under water deficit in flowering stage

Pakmehr¹, A., Shekari², F. & Rastgoo^{3*}, M.

1- MSc. in Agronomy

2- Associate professor of Agronomy Department, University of Zanjan

3- Associate professor of Agronomy and Plant Breeding Department, Ferdowsi University of Mashhad

Received: 11 April 2012

Accepted: 24 December 2014

Abstract

Effect of seed priming by salicylic acid and application of controlled water stress in flowering stage on some physiological characters such as relative water content, chlorophyll index, photosynthetic rates, transpiration rates, stomatal conductance, and leaf internal CO₂ concentration was investigated on cowpea (*Vigna unguiculata* L. cv. Parastoo) plants. Experiment was done as a split block design with 3 replications in 2008-2009 at Research Farm of Agriculture Faculty, University of Zanjan. Factors were including controlled water stress as main plot in 2 levels (well watering and water shortage stress from initiation of flowering until 50% flowering of plot) and priming with salicylic acid as subplot factor in 5 levels involving 0, 900, 1800, 2700, 3600 μM. Results showed that effect of water stress and salicylic acid was significant on physiological traits. Water deficit reduced gas exchange and photosynthesis rate. On the other hand, seed priming enhanced relative water content, photosynthetic rates, transpiration rates, stomatal conductance and chlorophyll index compared to untreated plants. Also, leaf internal CO₂ concentration was lower in this plants compared to untreated plants. It shows protective effects of salicylic acid against drought-stress. In general, among salicylic acid concentrations, 2700 μM treatment had the highest values in measured traits. In this treatment both in normal and stressed conditions photosynthesis rate was highest compared to untreated plants. In 3600 μM in all traits there was a decline compared to 2700 μM treatment. It shows that this hormone in higher concentrations has a preventing effect in physiological process.

Key words: Cowpea, Priming, Salicylic acid, Gas exchange, Chlorophyll index, Relative water content.

* Corresponding Author: m.rastgoo@um.ac.ir, Tel:0985138805811