نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۶، شماره ۱، بهار ۱۳۹۳، ص. ۱۷۰-۱۶۲

Journal of Agroecology
Vol. 6, No. 1, Spring 2014, p. 162-170

بررسی تأثیر پیش تیمار بذر با اسید سالیسیلیک بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم تحت شرایط تنش خشکی

مهدی نقی‌زاده[1*] و محمود غلامی توران پشتی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۳/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۸/۰۸

چکیده

این آزمایش مزرعه‌ای با هدف بررسی تأثیر اسید سالیسیلیک بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم، رقم روشن، در شرایط تنش خشکی، در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰، به صورت کرت‌های خرده شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. آبیاری (شاهد، قطع آبیاری بعد از گل‌دهی) و اسید سالیسیلیک (۰، ۰/۱ و۰/۵ میلی‌مولار)، به ترتیب در کرت‌های اصلی و فرعی قرار گرفتند. بر اساس نتایج مشخص گردید که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار محتوی نسبی آب (۳۵٪)، تعداد سنبله بارور در متر مربع (۱۰٪)، تعداد دانه در سنبله (۲۵٪)، وزن هزار دانه (۳۰٪)، عملکرد دانه (۶۵٪) و عملکرد بیولوژیک (۴۰٪) و نیز افزایش معنی‌دار نشت یونی (۵۵٪) و مقدار پرولین برگ پرچم (۶۰٪) گردید. در مقابل، اسید سالیسیلک بطور معنی‌داری افزایش محتوی نسبی آب، عملکرد دانه و اجزای عملکرد، عملکرد بیولوژیک و پرولین برگ و نیز کاهش نشت یونی را به همراه داشت و این تأثیر در غلظت ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک محسوس‌تر از ۰/۱ میلی-مولاربود. بنابراین، به نظر می‌رسد که اسید سالیسیلیک می‌تواند با افزایش غلظت پرولین و کاهش نشت یونی برگ، مقاومت گندم را در برابر تنش خشکی افزایش دهد. بر اساس نتایج آزمایش حاضر می‌توان نتیجه گرفت که پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسلیک یک تکنیک آسان و با خطر پایین است که ممکن است به عنوان راه حلی برای بهبود تولید گندم در شرایط تنش خشکی استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: پرولین، نشت یونی، محتوی نسبی آب

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) تقریباً ۶۰ درصد انرژی مورد نیاز بشر را تأمین می‌کنند و به عنوان مهم‌ترین گیاه زراعی دنیا در بسیاری از زمین‌های کشاورزی کشت می‌گردد (Kaydan et al., 2006). گندم در بسیاری از کشورها از جمله ایران، عاملی بسیار مهمی برای پایداری سیاسی و اقتصادی و همچنین عاملی مهمی در بهبود درآمد بیشتر کشاورزان محسوب می‌گردد.

در مناطق خشک و نیمه خشک به دلیل کم بودن و توزیع غیریکنواخت بارندگی از سالی به سال دیگر، عملکرد سال‌های متوالی نوسانات زیادی نشان می‌دهد. از طرف دیگر زیاد بودن میزان تبخیر و تعرق، سبب بروز تنش خشکی در طول دوره رشد گیاهان می‌شود (Maiti et al., 2000). خشکی مهمترین عامل محدود کننده رشد و عملکرد گیاهان زراعی بوده که ۴۰ تا۶۰ درصد اراضی کشاورزی جهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد و باعث کاهش رشد و عملکرد گندم می‌شود (Majer et al., 2008). پاسخ گیاهان به خشکی دارای مکانیسم‌های پیچیده‌ای است که شامل تغییرات مولکولی و گسترش آن به فعالیت‌های متابولیسمی گیاه و تأثیر بر فیزیولوژی و مورفولوژی و گیاه می‌باشد (Molnar et al., 2004). تنش خشکی باعث تجزیه نشاسته و مصرف تدریجی آن می‌شود. کاهش مقدار نشاسته در نتیجه فعالیت آمیلاز، منجر به افزایش مقدار قندهای محلول می‌گردد (Maiti et al., 2000).

در غلات حساس‌ترین مرحله به تنش خشکی، حد فاصل سنبله رفتن تا گلدهی است و ارقامی که قبل از گلدهی بتوانند زیست‌توده بالایی تولید و ذخیره آسیمیلات در ساقه را افزایش دهند، جزء ارقام متحمل به خشکی محسوب می‌شوند. تنش خشکی در مرحله گلدهی باعث کاهش تعداد دانه به دلیل کاهش گرده‌های بارور می‌شود (Ji et al., 2010). کاهش پتانسیل آب در اثر تنش خشکی باعث کاهش

۱ و ۲- به ترتیب استادیار دانشگاه شهید باهنر و دانشجوی دکترای فیزیولوژی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد.
(*- نویسنده مسئول: Email: msnaghizadeh@gmail.com)

تقسیم سلولی، رشد اندام‌های گیاه، کاهش فتوسنتز خالص، سنتز پروتئین و تغییر توازن هورمونی گیاه می‌گردد (Mary et al., 2001).

تنش کم‌آبی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد زیست‌توده، عملکرد دانه، شاخص برداشت وکارایی مصرف آب گندم می‌شود (Majer et al., 2008). کاهش پتانسیل آب در اثر تنش خشکی باعث کاهش تقسیم سلولی، رشد اندام‌های گیاه، کاهش فتوسنتز خالص، سنتز پروتئین و تغییر توازن هورمونی گیاه می‌گردد (Ji et al., 2010). کمبود آب پس از گل‌دهی احتمالاً از طریق آسیب رساندن به فرایند باروری دانه، می‌تواند تعداد دانه در هر سنبله را کاهش دهد. تنش خشکی در مرحله سنبله‌دهی تا پر شدن دانه به دلیل کاهش تعداد دانه در هر سنبله و وزن هزار دانه موجب کاهش محصول می‌گردد (Maiti et al., 2000).

افزایش مقاومت گیاهان از راه‌های مختلف شامل اصلاح نباتات و استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد، امکان‌پذیر است. در مقایسه با روش های اصلاحی که اغلب بلند مدت و هزینه بردار می‌باشند (Bartels & Sunkar, 2005)، استفاده از مواد شیمیایی شامل اسید سالیسیلیک، اسید جاسمونیک و غیره آسان‌تر و ارزان‌تر است.

اسید سالیسیلیک یک ترکیب فنلی است و با داشتن خاصیت آنتی اکسیدانی در تنظیم فرایندهای فیزیولوژیکی گیاهان نقش دارد. اسید سالیسلیک به عنوان یک مولکول پیام‌رسان مهم در پاسخ‌های گیاه به تنش‌های متعددی زیستی و غیرزیستی، شناخته شده است (EL-Tayeb, 2005) که با تأثیر بر آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیدازها و تنظیم‌کننده‌های اسمزی مثل پرولین، گلیسین و بتائین، موجب تعدیل اثرات ناشی از تنش گرما (Dat et al., 2000)، سرما (Kang & Saltveit 2002; Tasgin et al., 2003)، فلزات سنگین (Metwally et al., 2003) و خشکی (Singh & Usha, 2003) می‌گردد. کابرد اسید سالیسیلیک در گیاهان باعث تولید گونه‌های اکسیژن واکنش پذیر شده که به دنبال آن مقاومت در گیاهان ایجاد می‌شود. همچنین اسید سالیسلیک باعث افزایش بعضی از هورمون‌های گیاهی شامل اکسین‌ها و سیتوکنین‌ها (Shakirova et al., 2003) و کاهش نشت یونی از سلول‌های گیاهی می‌گردد (Borsani et al., 2001; Ghoulam et al., 2001; Maria et al., 2000).

بر طبق گزارش‌ها، اسید سالیسیلیک تأثیرات بسیاری بر مورفولوژی و فیزیولوژی گیاه داشته و در تحریک مکانیسم‌های حمایتی افزایش مقاومت در برابر تنش‌های زنده و غیرزنده نقش دارد (Maibangsa et al., 2000; Hayat & Ahmad, 2007; Hussein et al., 2007). با توجه به پایین بودن میزان بارندگی سالیانه و بروز کم‌آبی در کرمان، آزمایش حاضر با هدف بررسی تأثیر اسید سالیسیلیک بر عملکرد و اجزای عملکرد و برخی پارامترهای فیزیولوژیک گندم، در شرایط تنش خشکی، به اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر اسید سالیسیلیک بر عملکرد و اجزای عملکرد و برخی پارامترهای بیوشیمیایی گندم در شرایط تنش خشکی، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرده شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان با عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۱۷۵۰ متر از سطح دریای آزاد در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ انجام شد. آبیاری به عنوان فاکتور اصلی، در دو سطح شاهد (آبیاری معمول) و تنش خشکی (قطع آبیاری بعد از گل‌دهی) در کرت‌های اصلی و غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک در سه سطح (۰، ۰/۱ و ۰/۵ میلی‌مولار) به عنوان فاکتور فرعی، در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. هر کرت آزمایشی شامل ۶ خط به طول دو متر و با فاصله ردیف ۳۰ سانتی‌متر بود.

عملیات تهیه بستر شامل شخم و دیسک و تسطیح زمین بوسیله لولر و ایجاد خطوط به کمک فارور بود. بر اساس نتایج آزمون خاک (جدول ۱)، ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص، از منبع اوره، (در دو نوبت کاشت و پنجه زنی)، ۱۵۰ کیلوگرم کود سوپر فسفات تریپل (قبل از کاشت) و ۱۰۰ کیلوگرم کود سولفات پتاسیم (قبل از کاشت) در هکتار به زمین اضافه شد. بذر رقم روشن از مؤسسه اصلاح و تهیه بذر و نهال کرج تهیه گردید. بذرها به مدت شش ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد (دمای معمول آزمایشگاه) با اسید سالیسیلک ۰/۱ و ۰/۵ میلی مولار پیش تیمار شدند و همزمان از آب مقطر به عنوان شاهد استفاده شد. سپس بذرهای پیش تیمار شده به‌صورت دستی کشت شدند.

آبیاری به صورت سطحی با استفاده از سیفون انجام شد. به این ترتیب که در تیمار آبیاری معمولی تا انتهای فصل رشد، هر ۱۰ روز یکبار آبیاری انجام شد و در تیمار تنش خشکی، هر۱۰ روز یکبار تا زمان گلدهی آبیاری و پس از آن آبیاری تا انتهای فصل رشد، قطع گردید. همچنین برای مبارزه با علف‌های هرز پهن برگ، در مرحله پنجه‌زنی از علفکش 2,4-D استفاده شد.

جدول ۱- مشخصات خاک محل انجام آزمایش

Table 1 – Soil profile testing

عمق (سانتی‌متر) Depth (cm)	بافت Texture	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH
0-30	لومی Loam	2.55	7.9

جهت اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ پرچم، در اواسط دوره

پر شدن دانه تعداد پنج برگ پرچم از هر کرت انتخاب و پس از قطع شدن درون کیسه‌های نایلونی قرار گرفت و به سرعت به آزمایشگاه منتقل گردید. وزن تر با ترازوی دیجیتال LIBROR مدل ALE-40SM ساخت شرکت Shimatzu با دقت ۰/۰۰۰۱ اندازه‌گیری و سپس به منظور تعیین وزن در حالت تورژسانس، به مدت ۲۰ ساعت در آب مقطر قرار گرفته و سپس وزن شدند. در پایان، به منظور تعیین وزن خشک آن‌ها، برگ‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. محتوای نسبی آب برگ‌ها با استفاده از فرمول زیر به‌دست آمد (Hanson & Hitz, 1982) که در آن، DW: وزن خشک،FW: وزن تر و TW: وزن اشباع می‌باشد.

$$RWC = \frac{(FW - DW)}{(TW - DW)} \times 100$$

معادله (۱)

نشت یونی برگ‌ها نیز در اواسط دوره پر شدن دانه، اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها ابتدا با آب مقطر شستشو داده شد و در لوله‌های درب دار قرار گرفتند و ۲۰ میلی لیتر آب مقطر به آن‌ها اضافه شد و در شرایط دمایی ۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت بر روی شیکر دورانی قرار گرفتند. سپس هدایت الکتریکی محلول (C_1) اندازه‌گیری و نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در اتوکلاو در دمای $120^{O}C$ قرار گرفتند و مجددا هدایت الکتریکی (C_2) اندازه گیری شد. نشت یونی EC(%) بر اساس معادله (۲) محاسبه شد (Lutts et al., 1996) که C_1 هدایت الکتریکی محلول ۲۴ ساعت بعد از قرار گرفتن نمونه‌ها در آب مقطر و C_2 دومین قرائت یعنی ۲۰ دقیقه بعد از قرار گرفتن در اتوکلاو است:

$$EC\ (\%)=(C_1/C_2)\times 100$$

معادله (۲)

غلظت پرولین با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر اندازه‌گیری و با استفاده از معادله (۳) محاسبه گردید (Bates et al., 1973) که در آن، M: عدد قرائت شده با دستگاه اسپکتروفتومتر، T: حجم تولوئن مورد استفاده و W: وزن نمونه برگی مورد استفاده می‌باشد.

$$\text{Proline } (\mu M\ g^{-1}\ \text{fresh wt}) = \frac{M \times T \times W}{115.5} \times 10$$

معادله (۳)

در زمان رسیدگی فیزیولوژیک، پس از حذف اثر حاشیه ای کل پلات برداشته شد. پس از خشک کردن آن‌ها صفات عملکرد بیولوژیک با وزن کردن کل نمونه‌های برداشت شده، عملکرد دانه با جدا کردن دانه‌ها از کاه و کلش و توزین آن‌ها، تعداد سنبله در متر مربع با شمارش تعداد سنبله‌های برداشت شده در سطح برداشتی، تعداد دانه در سنبله با جدا کردن ۲۰ سنبله در نمونه برداشت شده و جدا کردن دانه‌ها و محاسبه میانگین تعداد دانه در یک سنبله، وزن هزار دانه با جدا کردن ۵۰۰ دانه به طور تصادفی و وزن کردن آن‌ها، اندازه‌گیری شد. در نهایت، تجزیه واریانس داده‌ها توسط نرم افزار SPSS و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه دانکن در سطح احتمال پنج درصد، انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از این آزمایش نشان داد که اثر تنش خشکی و اسید سالیسیلیک و نیز اثر متقابل آن‌ها بر صفات محتوی نسبی آب، نشت یونی برگ، غلظت پرولین، عملکرد دانه و اجزای عملکرد (تعداد سنبله در متر مربع، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه) و عملکرد بیولوژیک گندم معنی‌دار بود (جدول۲).

براساس مقایسه میانگین تیمارها مشخص گردید که قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی موجب کاهش بسیار معنی‌دار (۳۵ درصد) محتوی نسبی آب گردید (شکل ۱). در مقابل، پیش تیمار بذر با اسید سالیسیلیک سبب بهبود محتوی نسبی آب هم در شرایط شاهد (آبیاری بهینه) و هم در شرایط تنش خشکی گردید، اما تأثیر اسید سالیسیلیک در شرایط تنش بیشتر از شرایط آبیاری بهینه بود؛ به طوری‌که کاربرد اسید سالیسیلیک ۰/۱ و ۰/۵ میلی‌مولار به ترتیب موجب افزایش ۱۲ و ۲۵ درصد محتوی نسبی آب در شرایط تنش و نیز به طور میانگین موجب افزایش ۷ درصدی این صفت در شرایط شاهد گردید (شکل ۱).

یکی از مهمترین تغییرات ناشی از تنش خشکی کاهش محتوای آب نسبی برگ می‌باشد. این صفت می‌تواند توانمندی گیاه را در مواجهه با تنش خشکی نشان دهد. محتوای نسبی آب عبارت از نسبت میزان آب گیاه در شرایط تنش به میزان آب گیاه در حالت آماس کامل را نشان می‌دهد (Hanson & Hitz, 1982). محتوای نسبی آب برگ در واقع ابزار بسیار مناسبی برای گزینش در تنش خشکی است و ارقامی که بدون بستن روزنه‌های خود توانایی حفظ آب بیشتری دارند برای مناطق خشک مناسب هستند. به طور کلی، تنش خشکی باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ می‌شود (Blum et al., 1994). محتوای نسبی آب نقش مهمی در تنظیم هدایت روزنه‌ای و در نتیجه سرعت فتوسنتزی گیاه دارد که در نهایت می‌تواند روی عملکرد دانه اثر مثبتی داشته باشد (Hanson & Hitz, 1982). سایرام و سریواستاوا (Sairam & Srivastava, 2001) نیز اعلام کردند که در شرایط تنش میزان محتوای نسبی آب کاهش می‌یابد. همچنین بیان داشتند که کاهش محتوای نسبی آب و بسته شدن روزنه‌ها اولین تأثیر تنش خشکی بوده که در ساخت مواد فتوسنتزی ایجاد اختلال کرده و موجب کاهش عملکرد دانه می‌شود.

نتایج حاصل از این آزمایش حاکی از آن بود که تنش خشکی، درصد نشت یونی از سلول‌های برگ را به میزان ۵۵ درصد افزایش داد (شکل ۲). در مقابل، کاربرد اسید سالیسیلک در شرایط تنش خشکی، موجب کاهش ۴۰ درصدی نشت یونی برگ در مقایسه با عدم پیش تیمار بذر در این شرایط گردید (شکل ۲). حائز اهمیت است که مصرف اسید سالیسیلیک ۰/۵ میلی‌مولار در شرایط تنش خشکی، تأثیر مثبت بیشتری در مقایسه با غلظت ۰/۱ میلی‌مولار داشت (شکل ۲).

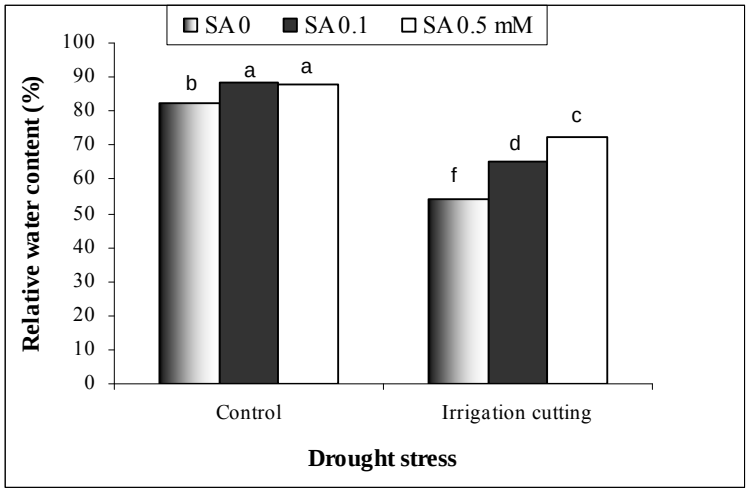
جدول ۲- میانگین مربعات محتوای نسبی آب، نشت یونی، پرولین، عملکرد و اجزای عملکرد و عملکرد بیولوژیک گندم

Table 2- Mean square of relative water content, electrolyte leakage, proline, yield and yield components and biological yield of wheat

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	محتوای نسبی آب RWC	نشت یونی EL	پرولین Proline	تعداد سنبله بارور Fertile spike (Number. m^{-2})	تعداد دانه در سنبله Grain per spike	وزن هزار دانه 1000-grain weight	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield
تکرار Replication	3	88.57ns	29.59ns	52.25ns	742.23ns	21.32ns	33.23ns	1011.65ns	1356.56ns
آبیاری Irrigation (a)	1	1187.23**	199.56**	8812.23**	1689.23*	329.25**	542.85**	63542.54**	1058965.56**
خطای اصلی E (a)	3	12.35	45.23	56.23	235.21	3.25	7.53	1102.23	15463.23
اسید سالیسیلیک Salicylic acid (b)	2	988.28**	189.56*	201.23*	1168.23*	101.23**	56.56*	1006.23**	13691.98*
اسید سالیسیلیک× آبیاری a*b	2	897.25*	205.32**	253.68*	1145.23*	98.96*	638.56**	876.59*	200871.23**
خطای فرعی E (b)	12	7.28	21.32	35.23	87.23	0.87	3.56	232.25	1058.09

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد.

Ns, * and **: non-significant significant in levels of 5 and 1 probability levels, respectively.



شکل ۱- تأثیر اثر متقابل تنش خشکی و غلظت‌های اسید سالیسلیک بر محتوی نسبی آب برگ پرچم گندم

Fig. 1- The effect of drought stress and salicylic asid concentration interaction on relative water content of wheat flag leaf

میانگین‌های با حروف متفاوت براساس آزمون اختلاف آماری معنی‌دار دارند (p≤۰/۰۵).

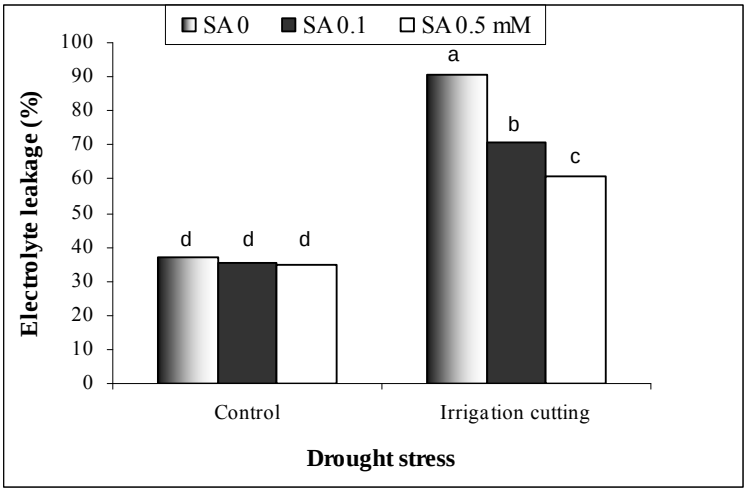
Means with different letters are significantly based on Duncan test (p≤0.05).

تنش خشکی تولید یک سری رادیکال‌های آزاد می‌کند که سبب خسارت به غشای سلول می‌شوند که این خسارت را می‌توان بوسیله نشت یونی سلول اندازه‌گیری کرد. افزایش در نشت یونی در گیاهان تحت شرایط تنش در بسیاری از گونه‌های گیاهی گزارش شده است (Borsani et al., 2001; Ghoulam et al., 2001; Maria et al., 2000). کاهش خسارت غشاء در اثر کابرد اسید سالیسیلیک که به عنوان راه اصلی برای افزایش مقاومت به خشکی در گیاهان شناخته شده است، ممکن است با تولید آنتی‌اکسیدان در ارتباط باشد که تولید آنتی اکسیدان پاسخی از گیاه برای کاهش خسارت اکسید شدن است. به عبارت دیگر اسید سالیسلیک سبب افزایش پایداری غشاء در برابر تنش‌های اکسیداتیو می‌گردد (Ghoulam et al., 2001; Maria et al., 2000).

در پژوهش حاضر، مشخص گردید که میزان پرولین در شرایط قطع آبیاری نسبت به شرایط آبیاری بهینه افزایش یافت. به طوری‌که

اعمال تنش خشکی موجب ۶۰ درصد افزایش در غلظت پرولین برگ گندم در مقایسه با شاهد گردید (شکل۳). همچنین مشخص گردید که پیش تیمار بذر با اسید سالیسیلیک در شرایط قطع آبیاری، افزایش ۲۵ درصدی غلظت پرولین را به همراه داشت و بیشترین غلظت پرولین با اعمال اسید سالیسیلیک ۰/۵ میلی‌مولار حاصل شد (شکل ۳). لازم به ذکر است که در شرایط شاهد (آبیاری بهینه) استفاده از اسید سالیسیلیک به عنوان پیش تیمار، تأثیری بر غلظت پرولین نداشت (شکل ۳).

از آنجا که زیاد شدن پرولین یکی از شاخص‌های مقاومت به خشکی می‌باشد، تنش خشکی باعث افزایش شدید در تجمع این اسید آمینه گردید. در هیچ یک از معیارهای بیوشیمیایی مقاومت به خشکی چنین افزایشی (تا چندین برابر) که در پرولین مشاهده می‌شود، گزارش نشده است (Sarvajeet & Renu & Devarshi, 2007; Narendra, 2010).

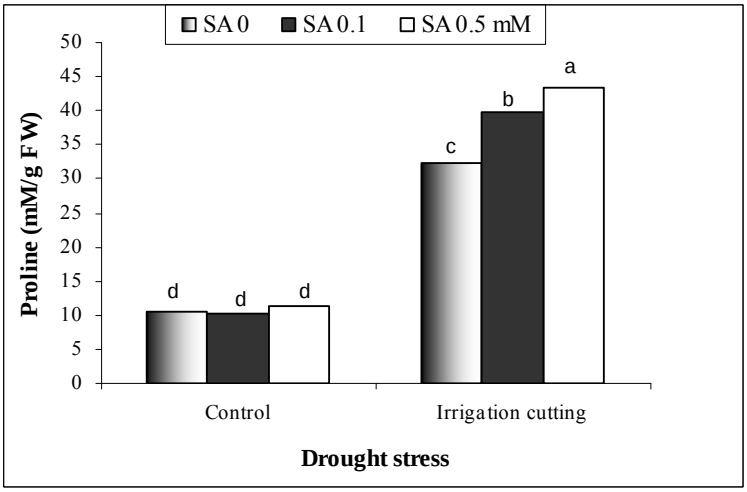


شکل ۲- تأثیر اثر متقابل تنش خشکی و غلظت‌های اسید سالیسلیک بر نشت یونی برگ پرچم گندم

Fig. 2- The effect of drought stress and salicylic asid concentration interaction on electrolyte leakage of wheat flag leaf

میانگین‌های با حروف متفاوت بر اساس آزمون اختلاف آماری معنی‌دار دارند (p≤۰/۰۵).

Means with different letters are significantly based on Duncan test (p≤0.05).



شکل ۳- تأثیر اثر متقابل تنش خشکی و غلظت‌های اسید سالیسلیک بر مقدار پرولین برگ پرچم گندم

Fig. 3- The effect of drought stress and salicylic asid concentration interaction on proline of wheat flag leaf

میانگین‌های با حروف متفاوت براساس آزمون اختلاف آماری معنی‌دار دارند (p≤۰/۰۵).

Means with different letters are significantly based on Duncan test (p≤0.05).

به همین دلیل، در بسیاری از پژوهش‌ها از آن به عنوان شاهدی برای سایر معیارهای بیوشیمیایی استفاده می‌شود (Sarvajeet & Narendra, 2010). پرولین به عنوان آنتی اکسیدانی غیرآنزیمی باعث حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌شود. همچنین پرولین مانند یک آنتی اکسیدان قوی این توانایی را دارد که از مرگ سلول‌ها در برابر تنش‌های محیطی جلوگیری کند (Chen & Dickman, 2005). در همین رابطه پروالتم و همکاران (Pireivatlou et al., 2010) بیان کردند که تنش خشکی باعث افزایش معنی‌دار در تجمع میزان پرولین در ارقام مختلف گندم گردید و این افزایش با مقاومت به خشکی در این ارقام همراه بود.

براساس نتایج این آزمایش مشخص گردید که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار تعداد سنبله بارور در متر مربع (۱۰ درصد)، تعداد دانه در سنبله (۲۵ درصد)، وزن هزار دانه (۳۰ درصد)، عملکرد دانه (۶۵ درصد) و عملکرد بیولوژیک (۴۰ درصد) گردید. در واقع تنش خشکی از طریق کاهش اجزای عملکرد گندم، منجر به افت شدید و معنی‌دار عملکرد دانه گندم گردید. محققان کاهش عملکرد دانه تحت تنش خشکی را به کاهش فتوسنتز بر اثر تنش خشکی نسبت داده اند (Uhart & Andrade, 1995). در همین راستا زارع و قدسی (Zarea & Ghodsi, 2004) و همچنین پلات و همکاران (Plaut et al., 2004) بیان داشتند که تنش خشکی کاهش عملکرد دانه گندم را به همراه داشت که این کاهش عملکرد به علت کاهش در تعداد سنبله در واحد سطح و تعداد دانه در سنبله بود. همچنین آبیت و همکاران (Abbate et al., 1998) همبستگی معنی‌داری میان تعداد سنبله در واحد سطح و عملکرد نهایی دانه در ارقام گندم گزارش کردند. علت کاهش وزن هزار دانه در اثر تنش خشکی احتمالاً به علت محدود بودن انتقال مجدد در تیمارهای تحت تنش خشکی می‌باشد. همچنین تنش خشکی از طریق اختلال در روند جذب و انتقال عناصر غذایی، عرضه مواد پرورده را کاهش داده و موجب تغییر در اجزای عملکرد و کاهش عملکرد دانه می‌گردد (Zarea & Ghodsi, 2004).

پیش تیمار بذور با اسید سالیسیلیک ۰/۱ و ۰/۵ میلی‌مولار موجب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گندم به ویژه در شرایط تنش خشکی گردید و در اکثر موارد تأثیر غلظت ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بیشتر از ۰/۱ میلی‌مولار بود (جدول ۳). لازم به ذکر است که اعمال اسید سالیسیلیک در شرایط شاهد (آبیاری بهینه) تأثیر مثبت معنی‌داری بر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک نداشت، اما افزایش ۱۴ درصدی عملکرد دانه و پنج درصدی عملکرد بیولوژیک را در شرایط قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی گندم، به همراه داشت که این بسیار حائز اهمیت می‌باشد (جدول ۳). طبق نتایج مشخص گردید که غلظت ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلک به ترتیب در شرایط شاهد و تنش خشکی موجب افزایش سه و پنج درصدی تعداد سنبله بارور در متر مربع، افزایش ۵ و ۲۲ درصدی تعداد دانه در سنبله و افزایش ۵ و ۱۵ درصدی وزن هزار دانه گردید (جدول ۳).

نتایج به‌دست آمده در خصوص اثر غلظت‌های پایین اسید سالیسیلک بر افزایش عملکرد، در گیاهان دیگر نیز مشاهده شده است. برای مثال، خیساندن بذر گندم در محلول ۰/۵ میلی‌مولار (Senaratna et al., 2000)، یونجه در محلول ۰/۰۱ میلی‌مولار (Drazic et al., 2006) و جو در محلول یک میلی‌مولار (El-Tayeb, 2005) باعث افزایش رشد گیاهان از طریق افزایش تقسیم سلولی و بزرگ شدن سلول‌های ریشه گردیده است. همچنین کاربرد این ماده به صورت محلول‌پاشی نیز باعث تحریک و بهبود رشد گردیده است. برای مثال، محلول‌پاشی گیاهان گلرنگ با محلول یک میلی‌مولار باعث افزایش وزن خشک گیاهان به میزان ۲۷ درصد در مزرعه و ۵۰ درصد در گلخانه گردید (Ebrahimzadeh et al., 2009).

جدول ۳- میانگین عملکرد و اجزای عملکرد و عملکرد بیولوژیک گندم تحت تأثیر اثر متقابل اسید سالیسیلیک و تنش خشکی

Table 3- Mean of yield and yield components of wheat affected by Salicylic acid and drought stress interaction

تنش خشکی Drought stress	اسید سالیسیلیک (میلی‌مولار) SA (mM)	تعداد دانه در سنبله Grain per spike	تعداد سنبله بارور (تعداد در متر مربع) Fertile spike (Number.m^{-2})	وزن هزار دانه (گرم) 1000-grain weight (g)	عملکرد دانه (گرم بر متر مربع) Grain yield (g.m^{-2})	عملکرد بیولوژیک (گرم بر متر مربع) Biological yield (g.m^{-2})
شاهد Control	0	45.12ab*	521.23b	41.23b	815.20a	1798.21a
	0.1	47.23a	529.56a	41.42b	820.25a	1812.23a
	0.5	47.25a	532.15a	43.65a	825.89a	1815.54a
قطع آبیاری Irrigation cutting	0	32.35c	491.25e	30.21d	352.14c	1102.23c
	0.1	39.54b	501.23d	33.56d	390.54bc	1125.23b
	0.5	41.25b	521.87c	36.25c	408.25b	1140.87b

*در هر ستون برای هر تیمار میانگین‌هایی که دارای حروف متفاوت هستند بر اساس آزمون دانکن معنی‌داری دارند.

*In each column means with different letters are significantly based on Duncan test ($p\leq0.05$).

دلیل این بهبود رشد و عملکرد به تأثیر اسید سالیسیلک در انتقال مواد فتوسنتزی به سمت مخزن ربط داده شده است. ضمن اینکه برخی دلایل افزایش رشد به افزایش در میزان فتوسنتز خالص و کربوکسیلاسیون و افزایش در فعالیت آنزیم‌های نیترات رداکتاز و کربنیک آنهیدراز مربوط می‌گردد. از طرفی، ترکیبات فنلی از جمله اسید سالیسیلک مانع از اکسیداسیون اکسین می‌گردد و به این طریق نیز می‌توانند بر رشد تأثیر بگذارند (Fariduddin et al., 2003). گزارش‌های مقدماتی در خصوص اثر اسید سالیسیلک بر رشد و افزایش محصول برخی از سبزی‌ها نیز حاکی از اثر مثبت این ماده می‌باشد. برای مثال، مصرف غلظت‌های خیلی پایین این ماده (۰/۰۱ میکرومولار) باعث افزایش وزن ریشه‌های هویج به میزان ۶۰ درصد، چغندر لبویی به میزان ۱۶ درصد، میوه گوجه فرنگی به میزان ۳۳ درصد و خیار به میزان ۲۲ درصد گردید (Larque-Saavedra & Martin-Mex, 2008).

نتیجه‌گیری

تنش خشکی در دوره پرشدن دانه تأثیر منفی بارزی بر عملکرد و اجزای آن و همچنین محتوای نسبی آب برگ پرچم گذاشت و در مقابل، افزایش غلظت پرولین و نشت یونی را به همراه داشت. کمبود آب از یک طرف با تأثیر بر ساختار غشای سلول سبب افزایش نفوذپذیری غشا نسبت به یون‌ها و ماکرومولکول‌ها می‌گردد و از طرف دیگر، با افت محتوی رطوبت نسبی و پتانسیل آب برگ زمینه کاهش فتوسنتز را فراهم آورد. از طرفی، اسید سالیسلیک موجب تعدیل تنش خشکی از طریق کاهش نشت یونی و افزایش غلظت پرولین و در نتیجه بهبود عملکرد دانه گندم در شرایط تنش گردید. اسید سالیسیلیک در غلظت‌های پایین حالت سازگاری به تنش‌ها در گیاهان ایجاد می‌کند (Dat et al., 2000). بعد از مصرف SA، مقدار گونه های اکسیژن واکنش‌پذیر افزایش می‌یابد که این افزایش باعث افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌ها می‌گردد (Fariduddin et al., 2003). اگر غلظت SA مصرف شده از حدی بالاتر رود باعث تشدید علائم تنش در گیاه می‌گردد (Drazic et al., 2006). همچنین لازم به ذکر است که روش مصرف، غلظت اسید سالیسیلیک، گونه گیاهی و مرحله رشد از عواملی هستند که در تاثیرگذاری اسید سالیسیلیک موثرند. برای مثال، زمانی که به بذر ذرت با ۰/۵ میلی مولار اسید سالیسیلیک تیمار شد باعث افزایش مقاومت به خشکی گردید. ولی، استفاده از همین غلظت بصورت محلول پاشی، باعث کاهش مقاومت به خشکی گردید (Nemeth et al., 2002)، به هر حال به نظر می رسد که اسید سالیسیلیک می‌تواند بخشی از اثرات خشکی را بر گندم کاهش دهد. براساس نتایج مطالعه حاضر، می‌توان نتیجه گرفت که تیمار بذر یک تکنیک آسان و با خطر پایین است که ممکن است به عنوان راه حلی برای بهبود مشکلات خشکی در کشاورزی استفاده شود.

منابع

Abbate, P.E., Andrate, F.H., Lazaro, L., Briffi, J.H., and Berardocco, H.G. 1998. Grain yield increase in recent Argentine wheat cultivars. Crop Science 38: 1203-1209.

Bartels D., and Sunkar, R. 2005. Drought and Salt Tolerance in Plants. Critical Review in Plant Science 24: 23–58.

Bates, L.S., Waldern, R.P., and Teave, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil 39: 205-107.

Blum, A., Simmena. B., Mayer. J., Golan. G., and Shpiler, L. 1994. Stem reserve mobilization support wheat-grain filling under heat stress. Australian Journal Plant Physiology 21: 771-781.

Borsani, O., Valpuesta, V., and Botella, M.N. 2001. Evidence for a role of salicylic acid in the oxidative damage generated by NaCl and osmotic stress in Arabidopsis seedling. Plant Physioogy 126: 1024-1030.

Chen, C., and Dickman, M.B. 2005. Proline suppresses apoptosis in the fungal pathogen Colletotrichum trifolii. PNAS 102: 3459-3464.

Dat, J,F., Lopez-Delgado, H., Foyer, C.H., and Scott, I.M. 2000. Effect of salicylic acid on oxidative stress and thermotolerance in tobacco. Journal Plant Physiology 156: 659-665.

Drazic, G., Mihailovic, N., and Lojic, M. 2006. Cadmium accumulation in *Medicago sativa* seedlings treated with salicylic acid. Biology Plant 50(2): 239-244.

Ebrahimzadeh, L., Farahbakhsh, H., and Arvin, S.M.J. 2009. Response of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) growth and development to exogenous application of plant growth regulators. Plant Ecophysiology 2: 57-61.

EL-Tayeb, M.A. 2005. Response of barley grain to the interactive effect of salinity and salicylic acid. Plant, Growth Regulation 45: 215-225.

Fariduddin, Q., Hayat, S., and Ahmad, A. 2003. Salicylic acid influences net photosynthetic rate, carboxylation efficiency, nitrate reducutase activity, and seed yield in *Brassica juncea*. Photosynthetica 41(2): 281-284.

Ghoulam, C.F., Ahmed, F., and Khalid, F. 2001. Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. Environmental and Experiment Botany 47: 139-150.

Hanson, A. D., and Hitz, W.D. 1982. Metabolic responses of mesophytes to plant water deficits. Ann. Review Plant Biology 33: 163-203.

Hayat S., and Ahmad, A. 2007. Salicylic acid - A Plant Hormone. Springer 410 pp.

Hussein, M.M., Balbaa, L.K., and Gaballah, M.S. 2007. Salicylic acid and salinity effects on growth of maize plants. Research Journal of Agricultural Biological Science 3: 321-328.

Ji, X., Shiran, B., Wan, J., Lewis, D.C., Jenkins, C.L.D., Condon, A.G., Richards, R.A., and Dolferus, R. 2010. Importance of pre-anthesis anther sink strength for maintenance of grain number during reproductive stage water stress in wheat. Plant, Cell and Environment 33: 926-942.

Kang, H.M., and Saltveit, M.E. 2002. Chilling tolerance of maize, cucumber and rice seedlings leaves and roots are differently affected by salicylic acid. Physiologia Plantarum 115: 571-576.

Kaydan, D., Yagmur, M., and Okut, N. 2006. Effects of salicylic acid on the growth and some physiological characters in salt stressed wheat (*Triticum aestivum* L.). Tarim Bilimleri Dergisi 13: 114-119.

Larque-Saavedra, A., and Martin-Mex, R. 2008. Effects of salicylic acid on the bioproductivity of plants: IN Salicylic acid- A Plant Hormone (eds. Hayat, S and Ahmad, A, 2007) Springer p. 15-23.

Lutts, S., Kint, J.M., and Bouharmont, J. 1996. NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oriza sativa* L.*)* cultivars differing in salinity resistance. Annals of Botany 78: 389-398.

Maibangsa, S., Thangaraj, M., and Stephen, R. 2000. Effect of brassinosteriod and salicylic acid on rice grown under low irradiance condition. Indian Journal Agriculture Research 34: 258-260.

Maiti, R.K., Moreno-Limon, S., and Wesche-Ebeling, P. 2000. Responses of some crops to various abiotic stress factors and its physiological and biochemical basis of resistances. Agriculture Review 21: 155-167.

Majer P., Sass, L., Lelley, T., Cseuz, L., Vass, I., Dudits, D., Pauk, J. 2008. Testing drought tolerance of wheat by a complex stress diagnostic system installed in greenhouse. Acta Biologica Szegediensis 52: 97-100.

Maria, E.B., Jose, D.A, Maria, C.B., and Francisco, P.A. 2000. Carbon partitioning and sucrose metabolism in tomato plants growing under salinity. Physiologia Plantarum 110: 503-511.

Mary, J.G., Jeffrey, C.S., Katherine, O.B., and Edward, S. 2001. Relative sensitivity of spring wheat grain yield and quality parameters to moisture deficit. Crop Science 41: 327-335.

Metwally, A., Finkmemeier, I., Georgi, M., and Dietz, K.J. 2003. Salicylic acid alleviates the cadmium toxicity in barley seedlings. Plant Physiology 132: 272-281.

Molnar, I., Gaspar, L., Sarvari, E., Dulai, S., Haffman, B., Molnar, L.M., and Galiba, G. 2004. Physiological and morphological response to water stress in *Aegilops biuncialis* a *Triticum aestivum* genotype with differing tolerance to drought. Functional Plant Biology 31: 1149-1159.

Nemeth, M., Janda, T., Horvath, E., Paldi, E., and Szalai, G. 2002. Exogenous salicylic acid increases polyamine content but may decrease drought tolerance in maize. Plant Science 162: 569-574.

Pireivatlou, A. S., Dehdar Masjedlou, B., and Ramiz, T. A. 2010. Evaluation of yield potential and stress adaptive trait in wheat genotypes under post anthesis drought stress conditions. African Journal Agriculcheral Research 5: 2829-2836.

Plaut, Z., Butow, B.J., Blumenthal, C.S., and Wrigley, C.W. 2004. Transport of dry matter into developing wheat kernels and its contribution to grain yield under post-anthesis water deficit and elevated temperature. Field Crops Research 86: 185-198.

Renu, K.C., and Devarshi, S. 2007. Acclimation to drought stress generates oxidative stress tolerance in drought-resistant than susceptible wheat cultivar under field conditions. Journal Environmental and Experimental Botany 60: 276–283.

Sairam, R.K., and Srivastava, G.C. 2001. Water stress tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.) variations in hydrogen peroxide accumulation and antioxidant activity in tolerant and susceptible genotypes. Journal Agronomy and Crop Science 186: 63-70

Sarvajeet, S.G., and Narendra, T. 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in a biotic stress tolerance in crop plants. Plant Physiology and Biochemistry 3: 1-22.

Senaranta, T., Teuchell, D., Bumm, E., and Dixon, K. 2002. Acetyl salicylic acid (asprin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. Plant, Growth Regulation 30: 157-161.

Shakirova, F.M., Shakhbutdinova, A.R., Bezrukova, M.V., Fatkhutdionova, R.A., and Fatkhutdionova, D.R. 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedling induced by salicylic acid and salinity. Plant Science 164: 317-322.

Singh, B., and Usha, K. 2003. Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. Plant, Growth Regulation 39: 137-141.

Tasgin, E., Atic, O., and Nalbantoglu, B. 2003. Effect of salicylic acid on freezing tolerance in winter wheat leaves. Plant, Growth Regulation 41: 231-236.

Uhart, S.A., and Andrade, F.H. 1995. Nitrogen deficiency in maize. I. Effects on crop growth, development to dry matter-partitioning and kernel set. Crop Science 35: 1376-1383.

Zarea- Feizabady, A., and Ghodsi, M. 2004. Evaluation of yield and yield components of facultative and winter bread wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) under different irrigation regimes in Khorasam province in Iran. Journal of

Agronomy 3: 184-187.