دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان

مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی
سال یازدهم، شماره سی و هشتم، ۱۳۹۸

واکنش‌های فیزیولوژیکی دو رقم گندم به محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در شرایط تنش خشکی انتهای فصل

فرشته دارابی[۱]، رحیم ناصری[۲]، امیر میرزایی[۳]، میثم مرادی[٤]

دریافت: ۹۵/۱۱/۱٤ پذیرش: ۹٦/۱۰/۱۱

چکیده

به منظور بررسی برخی واکنش‌های فیزیولوژیکی دو رقم گندم نان در پاسخ به محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در شرایط متغیر رطوبتی، آزمایشی به صورت اسپلیت پلات دوبار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در مرکز تحقیقات کشاورزی سرابله در سال زراعی ۹٤-۱۳۹۳ انجام شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل تیمارهای رطوبتی در سه سطح (کنترل (۱۰۰)، ۷۰ و ٤۰ درصد ظرفیت زراعی خاک) در کرت‌های اصلی، اسید سالیسیلیک در سه سطح (شاهد (صفر)، ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار) در کرت فرعی و دو رقم گندم نان (پیشتاز و بهار) در کرت‌های فرعی فرعی بود. صفات مورد بررسی شامل عملکرد، محتوای آب نسبی، نشت‌یونی، فتوسنتز و فعالیت کربوکسیلازی روبیسکو، هدایت روزنه‌ای و دی اکسید کربن زیر روزنه‌ای و میزان تعرق بودند. نتایج نشان داد که اثر متقابل تنش خشکی و محلول پاشی اسید سالیسیلیک در تمامی صفات مورد بررسی معنی‌دار بود. اگرچه با افزایش شدت تنش خشکی عملکرد دانه (۳۳ درصد) و محتوای نسبی آب (۲٤ درصد) کاهش یافت اما کاربرد اسید سالیسیلیک در این شرایط سبب بهبود عملکرد به میزان ۱۳ درصد و محتوای نسبی آب به میزان ۲٤/۵ درصد شد. همچنین با افزایش شدت تنش خشکی نشت یونی افزایش یافت که با کاربرد اسید سالیسیلیک این میزان کاهش یافت. فتوسنتز (۱۲ درصد) و فعالیت کربوکسیلازی روبیسکو (۱۳ درصد) با افزایش سطوح غلظت سالیسیک اسید نسبت به شاهد (عدم محلول پاشی) کاهش یافت. به طور کلی با توجه به نقش سالیسیلک اسید در تقلیل تأثیر منفی تنش بر برخی فرایندهای فیزیولوژیکی مورد مطالعه در این پژوهش، کاربرد آن در شرایط ۷۰ درصد ظرفیت زراعی خاک به همراه ۱۰۰ میکرومولار اسید سالیسیلیک جهت زراعت گندم رقم پیشتاز قابل توصیه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، فتوسنتز، محتوای نسبی آب، نشت یونی

دارابی، ف.، ر. ناصری، ا. میرزایی و م. مرادی. ۱۳۹۸. واکنش‌های فیزیولوژیکی دو رقم گندم به محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در شرایط تنش خشکی انتهای فصل. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. ۳۸: ۷٦-٦۱.

۱- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

۲- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

۳- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان ایلام، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایلام، ایران- مسئول مکاتبات. amir.mirzaei53@gmail.com

٤- مربی، گروه علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

مقدمه

گندم مهمترین محصول در میان غلات است. در حال حاضر رشد و نمو گندم در نواحی زیادی از دنیا به شدت تحت تاثیر خشکی قرار می‌گیرد (عبدلکادر و همکاران، ۲۰۱۰). خشکی مهم-ترین عامل محدود کننده رشد و عملکرد گیاهان زراعی است که ٤٠ تا ٦٠ درصد اراضی کشاورزی جهان را تحت تاثیر قرار می‌دهد و باعث کاهش رشد و عملکرد گندم می‌شود (ماجر و همکاران، ۲۰۰۸). براساس گزارش فائو ۹۰ درصد از کشور ایران با متوسط بارندگی ۲٤۰ میلی‌متر در نواحی خشک و نیمه خشک قرار دارد (انونیموس، ۲۰۰۸). همچنین ثابت شده است که رشد و عملکرد محصولات کشاورزی در بسیاری از مناطق دنیا تحت تأثیر تنش‌های زیستی و غیرزیستی قرار می‌گیرد و به همین علت اختلاف زیادی بین عملکرد واقعی و عملکرد بالقوه دیده می‌شود. این درحالی است که با افزایش بی رویهٔ جمعیت جهان، قرار گرفتن بیش از ١٦ درصد از مناطق قابل استفاده کره زمین در معرض خشکی و نیز کمبود آب شیرین تهدیدهای جدی برای تولید کشاورزی جهانی و امنیت غذایی محسوب می‌شوند (دمیروسکا و همکاران، ۲۰۰۸). لذا بررسی و شناخت عوامل دخیل در القای مقاومت به گیاهان در شرایط تنش خشکی ضرورت دارد.

خشکی به عنوان عامل محدود کننده غیر زنده، اثر بسیار نامطلوبی بر رشد و تولید گیاهان زراعی می‌گذارد (چیونگ و همکاران، ۲۰۰۳). گیاهان به تنش خشکی در سطوح فیزیولوژیکی، سلولی و مولکولی پاسخ می‌دهند که این پاسخ به گونه و ژنوتیپ گیاه (آرائوس و همکاران، ۲۰۰۱)، طول دوره و شدت کمبود آب و سن و مرحله نموی بستگی دارد (رامپینو و همکاران، ۲۰۰٦). قرارگیری گیاه در معرض تنش خشکی منجر به اختلالات جدی فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی شامل کاهش آماس سلولی، کاهش رشد، کاهش سرعت فتوسنتز، کاهش هدایت روزنه‌ای و آسیب به اجزای سلولی می‌شود (جاندا و همکاران، ۲۰۰۷).

کاربرد برگی برخی از ترکیبات از جمله تنظیم‌کننده‌های رشد با کاهش آثار تنش‌های محیطی به افزایش رشد و محصول گیاهان زراعی کمک می‌کند (دات و همکاران، ۱۹۹۸؛ حاجی هاشمی و همکاران، ۲۰۰۷). در این میان اسید سالیسیلیک موجب افزایش مقاومت به بسیاری از تنش‌های زیستی (دات و همکاران، ۱۹۹۸) و غیرزیستی (جاندا و همکاران، ۱۹۹۹؛ سنارانتا و همکاران، ۲۰۰۳) می‌شود. به طوری که کاربرد اسید سالیسیلیک موجب افزایش مقاومت به خشکی در گوجه‌فرنگی (بروکووات و همکاران، ۲۰۰۱) و مقاومت به دمای پایین در لوبیا (سنارانتا و همکاران، ۲۰۰۳) شده است. گزارشات متعددی مبنی بر نقش اسید سالیسیلیک بر کاهش اثرات ناشی از تنش‌ها وجود دارد. تأثیر مثبت اسید سالیسیلیک بر عملکرد فتوسیستم دو و حداکثر عملکرد فتوسیستم دو تحت تنش‌های مختلف، در خیار تحت تنش گرما (شی و همکاران، ۲۰۰٦)، کنف تحت تنش کادمیوم (شی و همکاران، ۲۰۰٦) و لوبیا تحت تنش خشکی (نلسون و ماریا، ۲۰۰٦) گزارش شده است. در تحقیقاتی روی گندم نشان داده شد که کاربرد خارجی اسید سالیسیلیک به میزان ۰/۷ میلی‌مولار تحت تنش خشکی و در مرحله چکمه‌پوش سبب افزایش محتوی پروتئین، کلروفیلa، b و فعالیت پراکسیداز شد (پیراسته و همکاران، ۲۰۱۲). همچنین (امین و همکاران، ۲۰۰۸) نشان دادند اسپری برگی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک در مرحله رشد رویشی گندم سبب افزایش محتوی کلروفیل، سطح برگ پرچم، وزن خشک و ظرفیت فتوسنتزی گیاه در شرایط آبیاری نرمال شده است. میزان القای مقاومت به تنش بستگی به عوامل مختلفی از جمله غلظت هورمون مورد استفاده دارد. به طوری که گزارش شده است محلول پاشی غلظت‌های پایین‌تر اسید سالیسیلیک موجب القای مقاومت در گیاهان گوجه فرنگی و حبوبات شد، در حالی‌که غلظت‌های بالاتر آن تأثیر معنی-داری نداشت (سنارانتا و همکاران، ۲۰۰۰). محققان گزارش کردند که کاربرد اسید سالیسیلیک در گیاهچه‌های گندم تحت تنش خشکی، به طورکلی موجب ایجاد محتوای رطوبتی بالاتر و تجمع ماده خشک، افزایش فعالیت کربوکسیلازی روبیسکو، سوپراکسید دیسموتاز، محتوای کل کلروفیل در مقایسه با گیاهچه‌های شاهد شد (سین و یوشا، ۲۰۰۳). همچنین کاربرد خارجی اسید سالیسیلیک همزمان با افزایش هورمون آبسیسیک اسید در برگ، موجب کاهش اثرات مخرب بر غشای سلولی در گیاه جو شد، که ممکن است به بهبود مقاومت گیاه به تنش خشکی مربوط باشد (بندورسکا و استروینسکی، ۲۰۰۵).

لذا با توجه به اهمیت گندم در تامین امنیت غذایی و همچنین با توجه به شرایط خاص اقلیمی کشور ایران که هرساله از طریق بروز تنش خشکی باعث آسیب جدی به گیاه و در نهایت منجر به

کاهش عملکرد می‌گردد، هدف از این پژوهش تعیین نقش محلول-پاشی هورمون اسید سالیسیلیک در بهبود برخی فرایندهای فیزیولوژیکی مرتبط با مقاومت گیاه گندم به تنش خشکی بود.

مواد و روش ها

این تحقیق به منظور بررسی تأثیر سالیسیک اسید بعد از تنش کم آبیاری بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی دو رقم گندم در شرایط آب و هوایی منطقه ایلام، در مزرعه مرکز تحقیقات کشاورزی سرابله در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ اجرا گردید. ارتفاع محل آزمایش از سطح دریا ۱۴۲۷ متر می‌باشد. مشخصات جغرافیایی مزرعه مورد آزمایش بین ۳۳ درجه و ۲۱ دقیقه و ۳۰ ثانیه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۴۱ دقیقه و ۰۷ طول شرقی بود. آب وهوای منطقه مورد آزمایش نیمه مرطوب با تابستان گرم و زمستان نسبتاً سرد می‌باشد. متوسط درجه حرارت و بارندگی سالانه در طول دوره آزمایش به ترتیب ۱۷/۹ درجه سانتی گراد و ۳۵۴/۷ میلی‌متر بود. شرایط آب و هوایی محل اجرای آزمایش در جدول ۱ ارایه شده است (جدول ۱). قبل از شروع آزمایش نمونه‌های خاک در عمق ۳۰ سانتیمتری کرت‌ها تهیه و تجزیه فیزیکی و شیمیایی شد (جدول ۲).

جدول ۱-شرایط آب و هوایی محل اجرای آزمایش در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳

ماه	بارش (میلی‌متر)	حداقل دمای مطلق ماهانه (درجه‌سانتی‌گراد	حداکثر دمای مطلق ماهانه (درجه‌سانتی‌گراد)	دمای نسبی (درجه‌سانتی‌گراد)	میزان تبخیر (میلی‌متر)
آبان	۵۰/۷	۵/۴	۳۴/۸	۴۴	۱۵۱/۱
آذر	۷۷/۷	۰/۲	۲۶/۴	۵۹	۶۵/۴
دی	۴۵/۱	۱/۲	۱۹/۶	۷۰	۲۶/۷
بهمن	۱۷/۲	-۴./۶	۱۸	۶۴	۶/۶
اسفند	۱۵/۷	-۱/۶	۲۰/۲	۵۵	۰
فروردین	۵۲/۹	-۴/۴	۲۳	۵۵	۰
اردیبهشت	۵۸/۹	۱/۲	۳۱	۵۵	۱۸۱/۹
خرداد	۷/۵	۳	۳۶/۶	۳۲	۲۶۹/۹
تیر	۰/۱	۱۵/۶	۴۱	۲۰	۴۰۰/۶
مرداد	۰	۱۸	۴۵/۲	۲۲	۳۹۵

جدول ۲- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

عمق (سانتی متر)	بافت خاک	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	اسیدیته	نیتروژن (درصد)	فسفر (میلی‌گرم در کیلوگرم)	پتاسیم (میلی‌گرم در کیلوگرم)
۰-۳۰	لومی	۲/۶۶	۷/۸	۰/۱۳	۲۰/۱	۶۱۱

آزمایش در قالب اسپلیت اسپلیت پلات با طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار اجرا شد. عوامل مورد بررسی شامل تنش خشکی در سه سطح کنترل (۱۰۰درصد)،۷۰ و۴۰ درصد ظرفیت زراعی خاک در کرت‌های اصلی، تنظیم کننده رشد سالیسیک اسید در سه سطح شاهد (صفر)، ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار در کرت‌های فرعی و دو رقم گندم نان (بهار و پیشتاز) در کرت-های فرعی فرعی بود. زمین محل کشت به مدت دو سال آیش بود و در اول پاییز شخم زده شد. عملیات تهیه زمین شامل شخم، دیسک، تسطیح زمین و ایجاد فارو بود. هر واحد آزمایشی شامل ۸ ردیف به فاصله ۲۵ سانتی‌متر و طول ۴ متر با تراکم کاشت۴۵۰ بذر در مترمربع بود. برای جلوگیری از حرکت جانبی آب و کود نیتروژن، اطراف هر کرت پشته‌هایی به عرض یک متر قرار داده شد.

علاوه بر این، برای اطمینان بیشتر از عدم حرکت جانبی آب، فاصله بین کرت‌های مربوط به تیمارهای مختلف آبیاری سه متر در نظر گرفته شد. قبل از کاشت بذور با قارچ کش ویتاواکس ضد عفونی شدند. با توجه به نتایج آزمون خاک مزرعه، مقدار ٦٩ کیلوگرم در هکتار فسفر و ٣٤/٥ کیلوگرم نیتروژن در هکتار قبل از کاشت و مابقی نیتروژن در دو نوبت به صورت سرک در دو مرحله پنجه‌دهی و ساقه‌روی مصرف شد (در هر نوبت ٣٤/٥ کیلوگرم نیتروژن در هکتار). در طول دوره رشد مبارزه با علف‌های هرز به صورت دستی انجام شد. تمامی کرت‌های آزمایشی تا ابتدای مرحله گلدهی (ZDS=6.1) یکسان و همزمان آبیاری شدند. با ورود گیاه به مرحله گلدهی اعمال تیمارهای رطوبتی آغاز شد و تا پایان دوره رشد ادامه داشت. معیار تعیین مرحله‌ی فنولوژیک، ورود بیش از ٨٥ درصد بوته‌ها در هر کرت به مرحله مورد نظر بود. اعمال تیمارهای رطوبتی در این مرحله به این صورت بود که تیمار شاهد به صورت آبیاری کامل و سایر سطوح بر اساس درصد ظرفیت زراعی خاک تعیین شده انجام گرفت. برای تعیین میزان آب مورد نیاز در هر نوبت آبیاری از درصد رطوبت وزنی خاک استفاده شد. برای انجام این کار ٢٤ ساعت قبل از هر آبیاری از سه عمق ٠-٣٠، ٣٠-٦٠، ٦٠-٩٠ سانتی‌متری خاک مزرعه با اوگر نمونه‌برداری و در آون در دمای ١٠٥ درجه سانتی گراد به مدت ٢٤ ساعت خشک شد و میزان رطوبت وزنی خاک تعیین گردید. سپس میزان آب مورد نیاز برای هر آبیاری تا رسیدن رطوبت خاک به حد ظرفیت مزرعه از معادله (١) محاسبه شد. در این فرمول dn: عمق آب آبیاری (cm)، FC: درصد رطوبت حجمی در حالت ظرفیت زراعی (درصد)،θ: رطوبت وزنی خاک (درصد)،ρb: چگالی ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب) و D: عمق توسعه ریشه می‌باشد. در نهایت با ضرب کردن مقدار آب آبیاری مورد نیاز هر کرت محاسبه شده و در نتیجه حجم آب آبیاری تعیین گردید. معادله (١):

$$Dn = \frac{(f.c - \theta \times pb)D}{100}$$

محلول‌پاشی طی دو نوبت به فاصله ٧٢ ساعت یک بار و از اوسط مرحله گلدهی (تقریباً یک هفته بعد از شروع تنش رطوبتی) و در ساعات پایانی روز صورت گرفت. محلول پاشی با استفاده از یک اسپری‌کننده دستی انجام گرفت، به طوری که تمام سطح برگ ها خیس شود (با حجم پاشش ٢٠/١٢ سی سی برای هربوته). بوته‌های شاهد با آب مقطر اسپری شدند. نمونه‌گیری از برگ گندم ٤٨ ساعت بعد از محلول پاشی دوم انجام شد.در زمان رسیدگی فیزیولوژیک، با حذف دو خط کناری (اثر حاشیه‌ای) از سطحی معادل شش مترمربع (کل پلات) کل زیست توده بالای سطح خاک کف‌بر شد. پس از خشک کردن بوته‌ها عملکرد دانه با جدا کردن دانه‌ها از کاه و کلش و توزین آنها بر حسب کیلوگرم در هکتار اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ پرچم، 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. وزن‌تر با ترازوی دیجیتال LIBROR مدل ALE-40SM ساخت شرکت Shimatzu با دقت ٠/٠٠١ اندازه‌گیری و سپس به منظور تعیین وزن در حالت آماسیده، به مدت ٢٠ ساعت در آب مقطر قرار گرفته و سپس وزن شدند. در پایان، به منظور تعیین وزن خشک آن‌ها، برگ‌ها به مدت ٤٨ ساعت در آون و در دمای ٧٠ درجه سانتیگراد قرار گرفتند. محتوای نسبی آب برگ‌ها با استفاده فرمول زیر به دست آمد (هانسون و هیتز، ١٩٨٢) که در آن، DW: وزن خشک، FW: وزن‌تر و TW: وزن اشباع می‌باشد. معادله (٢)

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

به منظور تعیین نشت یونی برگ‌ها نیز نمونه‌ها ابتدا با آب مقطر شستشو داده شد و در لوله‌های درب‌دار قرار گرفتند و ٢٠ میلی لیتر آب مقطر به آن‌ها اضافه شد و در شرایط دمایی ٢٥ درجه سانتیگراد به مدت ٢٤ ساعت بر روی شیکر دورانی قرار گرفتند. سپس هدایت الکتریکی محلول (C1) اندازه‌گیری و نمونه‌ها به مدت ٢٠ دقیقه در اتوکلاو در دمای ١٢٠ درجه سانتیگراد قرار گرفتند و مجدداً هدایت الکتریکی (C2) اندازه‌گیری شد. نشت یونی EC (درصد) بر اساس معادله (٢) محاسبه شد (لوتس و همکاران، ١٩٩٦) که هدایت الکتریکی محلول ٢٤ ساعت بعد از قرار گرفتن نمونه‌ها در آب مقطر و دومین قرائت یعنی ٢٠ دقیقه بعد از قرار گرفتن در اتوکلاو است: معادله (٣)

$$EC = \frac{C1}{C2} \times 100$$

فعالیت کربوکسیلازی روبیسکو بر اساس روش رادیوشیمیایی (راگهاوندرا و داس، ١٩٧٧) که توسط نیکو و همکاران (١٩٩٣) تشریح شده است، اندازه‌گیری شد. یک هفته بعد از اعمال آخرین مرحله تیمار محلول پاشی نیز اندازه‌گیری فتوسنتز، میزان تعرق، هدایت روزنه‌ای و غلظت CO_2 زیرروزنه ای با استفاده از آنالیزور گاز قابل حمل مدل LCA-4 ADC (ساخت شرکت Hoddesdon انگلستان) انجام شد. برای تجزیه داده‌ها از نرم افزار

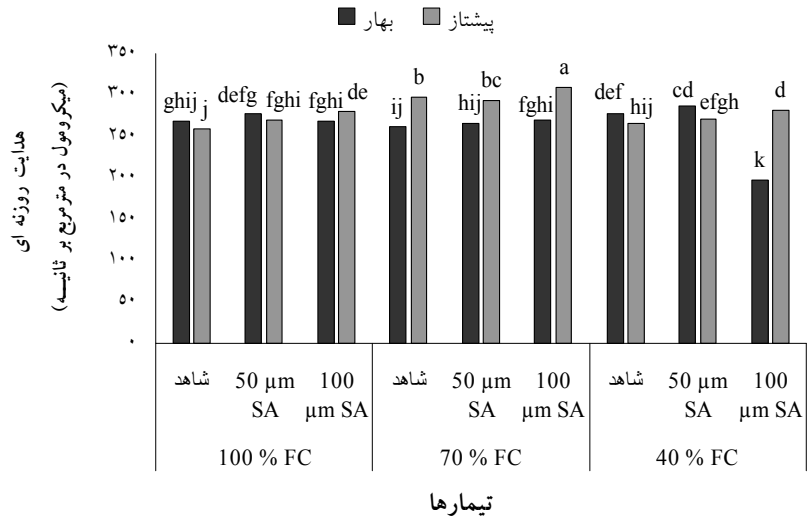
SAS VER9.2 و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد. نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel ترسیم شدند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل سه گانه بین تیمارهای رطوبتی، محلول پاشی اسید سالیسیلیک و ارقام گندم در تمامی صفات مورد بررسی معنی‌دار بود (جدول ۳).

هدایت روزنه‌ای

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین میزان هدایت روزنه‌ای مربوط به رقم پیشتاز، تیمار ۱۰۰ میکرومولار اسید سالیسیلیک و رژیم رطوبتی ۷۰ درصد ظرفیت زراعی و کمترین میزان آن مربوط به رقم بهار، تیمار ۱۰۰ میکرومولار اسید سالیسیلیک و رژیم رطوبتی ۴۰ درصد ظرفیت زراعی بود (شکل ۱). رقم پیشتاز در تنش رطوبتی ۷۰ درصد ظرفیت زراعی نسبت به رقم بهار برتری داشت و با افزایش تنش رطوبتی به ۴۰ درصد ظرفیت زراعی این میزان کاهش یافت. همچنین نتایج نشان داد که هدایت روزنه‌ای رقم بهار نسبت به افزایش تنش رطوبتی واکنش معنی‌داری نشان نداد، اگرچه در تنش رطوبتی ۴۰ درصد ظرفیت زراعی اندکی افزایش مشاهده شد (شکل ۱). مهم‌ترین تاثیر تنش خشکی بستن روزنه‌ها و کاهش تعرق است، این پاسخ هرچند موجب کاهش اتلاف آب می‌شود، اما با کاهش دسترسی به دی اکسید کربن اتمسفر و کاهش فتوسنتز، مهم‌ترین عامل کاهش تولید ماده خشک در گیاهان تحت تنش خشکی است (بوجالب و حاجلاوی، ۲۰۱۱؛ گونس و همکاران، ۲۰۰۷).

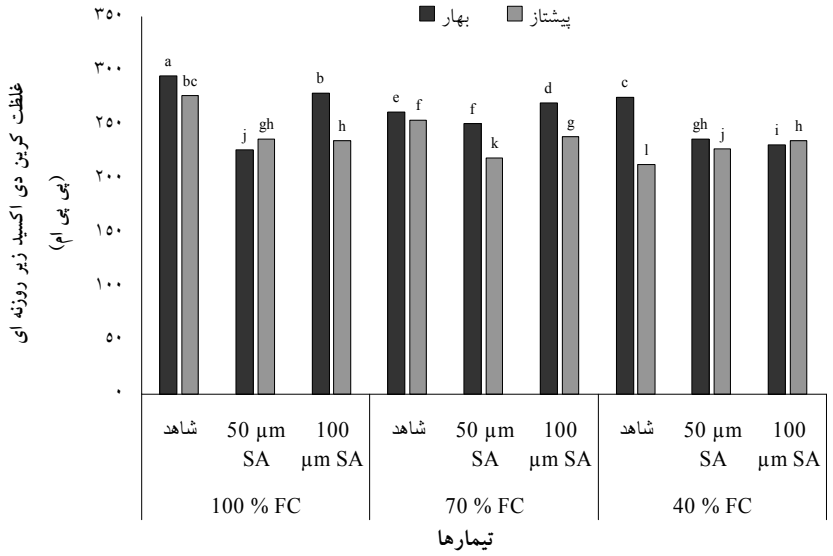


شکل ۱- تاثیر تنش خشکی(۱۰۰، ۷۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی) و اسید سالیسیلیک (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار) بر هدایت روزنه ای برگ دو رقم گندم

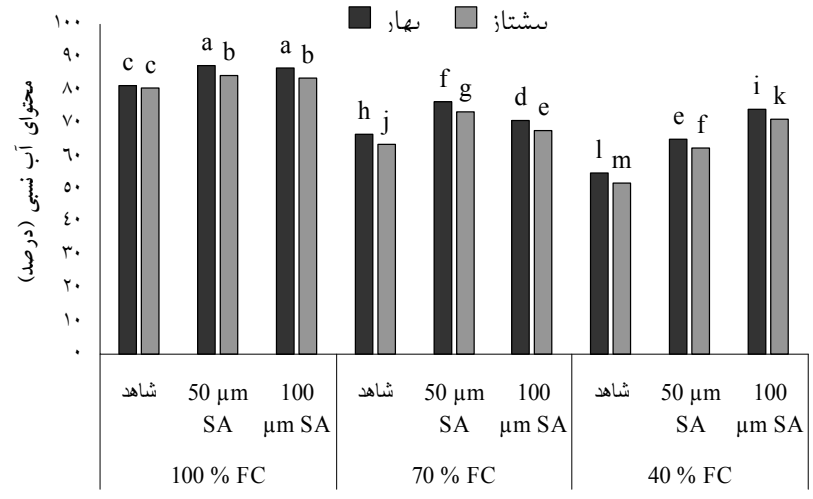
غلظت CO_2 زیرروزنه‌ای

طبق نتایج مقایسه میانگین بیشترین و کمترین میزان غلظت CO_2 زیرروزنه‌ای به ترتیب مربوط به رقم بهار، رژیم رطوبتی ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و تیمار عدم محلول پاشی، و رقم پیشتاز، رژیم رطوبتی ۴۰ درصد ظرفیت زراعی و تیمار عدم محلول پاشی اسید سالیسیلیک بود (شکل ۲). در شرایط تنش نیز بیشترین میزان غلظت CO_2 زیرروزنه‌ای در رقم بهار، رژیم رطوبتی ۴۰ درصد ظرفیت زراعی و تیمار عدم محلول پاشی اسید سالیسیلیک بدست آمد. به طور کلی با افزایش شدت تنش رطوبتی میزان غلظت CO_2 زیر روزنه‌ای نسبت به شرایط شاهد کاهش یافت. در این تحقیق

مشاهده شد که اگرچه غلظت کربن دی اکسید زیر روزنه‌ای در شرایط تنش نسبت به شاهد کاهش یافت اما کاربرد اسید سالیسیلیک در این شرایط سبب بهبود آن شد. با این حال در رژیم رطوبتی ٤٠ درصد ظرفیت زراعی کاربرد اسید سالیسیلیک تاثیری در بهبود این صفت نداشت. طی مطالعه‌ای گزارش شده است که محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک موجب افزایش کارایی مصرف آب، تعرق و غلظت داخلی کربن دی اکسید در گیاه سویا شد (کومار و همکاران، ۲۰۰۰). محققان دیگری نیز در این مورد نتایج مشابه گزارش کردند (فریدودین، ۲۰۰۳).



شکل ۲- تاثیر تنش خشکی (۱۰۰، ۷۰ و ٤٠ درصد ظرفیت زراعی) و اسید سالیسیلیک (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار) بر غلظت کربن دی اکسید زیر روزنه ای دو رقم گندم



شکل ۳- تاثیر تنش خشکی (۱۰۰، ۷۰ و ٤٠ درصد ظرفیت زراعی) و اسید سالیسیلیک (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار) بر محتوای نسبی آب دو رقم گندم

محتوای نسبی آب (RWC)

نتایج نشان داد که با افزایش شدت تنش رطوبتی محتوای نسبی آب برگ نسبت به شاهد کاهش یافت (شکل ۳). این درحالی است که محتوای نسبی آب برگ به افزایش غلظت اسید سالیسیلیک نسبت به شرایط عدم محلول پاشی در شرایط تنش رطوبتی واکنش مثبت نشان داد. با این حال بیشترین میزان محتوای آب نسبی برگ در شرایط تنش مربوط به رقم بهار، رژیم رطوبتی ۷۰ درصد ظرفیت زراعی و محلول پاشی ۵۰ میکرومولار اسید سالیسیلیک و کمترین میزان آن مربوط به رقم پیشتاز، رژیم رطوبتی ٤٠ درصد ظرفیت زراعی و شرایط عدم محلول پاشی بود (شکل ۳). محتوای نسبی آب یکی از خصوصیات فیزیولوژیکی پاسخ دهنده به تنش خشکی است که همبستگی خوبی با تحمل خشکی نشان می‌دهد (کولوم و وازانا، ۲۰۰۳). در این تحقیق مشاهده شد که با افزایش شدت تنش خشکی محتوای نسبی آب کاهش یافت اما با کاربرد اسید سالیسیلیک این میزان بهبود یافت. مشخص شده است که طی تنش خشکی محتوای نسبی آب، پتانسیل آب برگ و پتانسیل اسمزی سلول‌ها کاهش می‌یابد (ما و همکاران، ۲۰۰٦). در مورد تاثیر اسید سالیسیلیک در

کاهش اثرات منفی تنش گزارش شده است که گیاهچه‌های گندم تیمار شده با اسید سالیسیلیک محتوای رطوبتی بالاتری را در مقایسه با گیاهچه‌های تیمار نشده در شرایط نرمال و تنش نشان دادند (سین و یوشا، ۲۰۰۳).

سرعت فتوسنتز و فعالیت کربوکسیلازی آنزیم روبیسکو

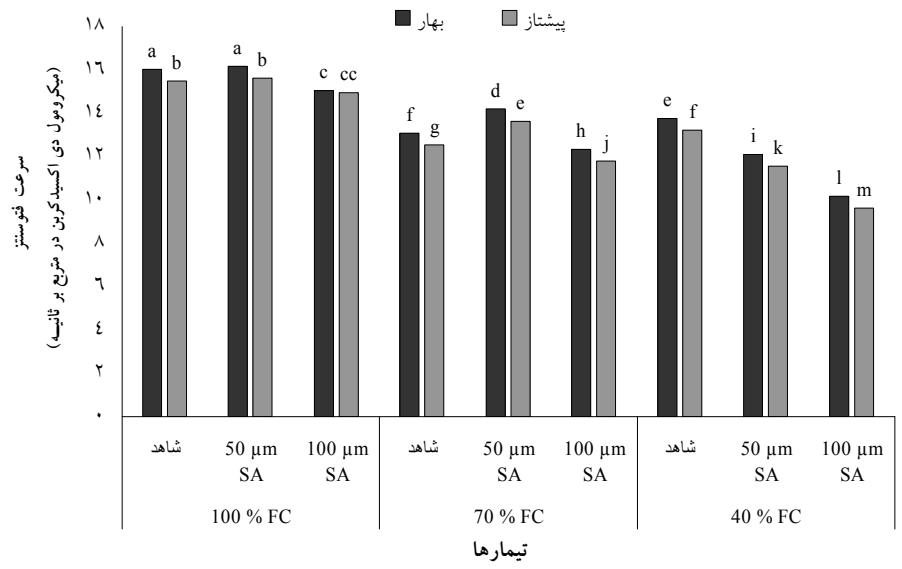
روند تغییرات این دو صفت مشابه بود، به طوری‌که با افزایش شدت تنش رطوبتی سرعت فتوسنتز و فعالیت کربوکسیلازی روبیسکو کاهش یافت (شکل‌های ٤ و ۵). بیشترین و کمترین میزان فتوسنتز و فعالیت روبیسکو به ترتیب در رژیم رطوبتی ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و رژیم رطوبتی ٤٠ درصد ظرفیت زراعی بدست آمد. همچنین طبق نتایج بدست آمده فتوسنتز و فعالیت کربوکسیلازی روبیسکو با افزایش سطوح غلظت سالیسیک اسید نسبت به شاهد (عدم محلول پاشی) کاهش یافت (شکل‌های ٤ و ۵). علاوه بر این برتری رقم بهار نسبت به پیشتاز در شرایط افزایش شدت تنش و کاربرد اسید سالیسیلیک مشهود بود. با افزایش شدت تنش رطوبتی سرعت فتوسنتز و فعالیت کربوکسیلازی روبیسکو کاهش یافت. کاربرد سالسیسیلیک اسید در این شرایط به منظور کاهش اثرات تنش خشکی معنی‌دار نبود و حتی باعث کاهش معنی‌دار این صفات شد. در مورد تاثیر سالسیسیلیک اسید در شرایط تنش به منظور تقلیل تاثیر منفی تنش نتایج مختلف و گاها متناقضی گزارش شده است. پیش تیمار بذور قبل از کشت در ۰/۵ میلی‌مولار سالسیسیلیک اسید به مدت ٦ ساعت موجب کاهش معنی‌دار تاثیرات منفی تنش کادمیوم بر تثبیت کربن در گیاه ذرت (کرانتو و همکاران، ۲۰۰۸) و نخود (پوپووا و همکاران، ۲۰۰۹) شد. علاوه بر این فعالیت کربوکسیلازی رابیسکو در تیمار اسید سالیسیلیک در شرایط تنش کادمیوم بهبود یافت (کرانتو و همکاران، ۲۰۰۸). گزارش شده است که اسید سالیسیلیک تاثیرات متفاوتی بر فتوسنتز، جذب یونی، پایداری غشا، فعالیت آنزیم‌ها و تنش خشکی دارد (هیات و همکاران، ۲۰۰۸). این تاثیر به فاکتورهای زیادی از جمله رقم و مرحله رشدی گیاه، نحوه کاربرد، غلظت مورد استفاده و به سطوح داخلی آن در گیاه هدف بستگی دارد (هوروات و همکاران، ۲۰۰۷).

کاربرد خارجی اسید سالیسیلیک باعث افزایش فتوسنتز خالص، غلظت داخلی کربن دی اکسید، کارایی مصرف آب، هدایت روزنه‌ای و سرعت تعرق در گیاه خردل شد (فریدودین و همکاران، ۲۰۰۳). عدم تاثیر اسید سالیسیلیک در این شرایط ممکن است به دلایل مختلفی از جمله میزان غلظت مورد استفاده باشد. همچنانکه گزارش شده است با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک فعالیت آنزیم روبیسکو و پیروات کربوکسیلاز در گیاه جو کاهش یافت که در نهایت منجر به کاهش سرعت فتوسنتز خالص شد (پانچوا و همکاران، ۱۹۹٦) که با نتایج سایر محققان مغایرت دارد (فریدودین و همکاران، ۲۰۰۳؛ هیات و همکاران، ۲۰۰۵).

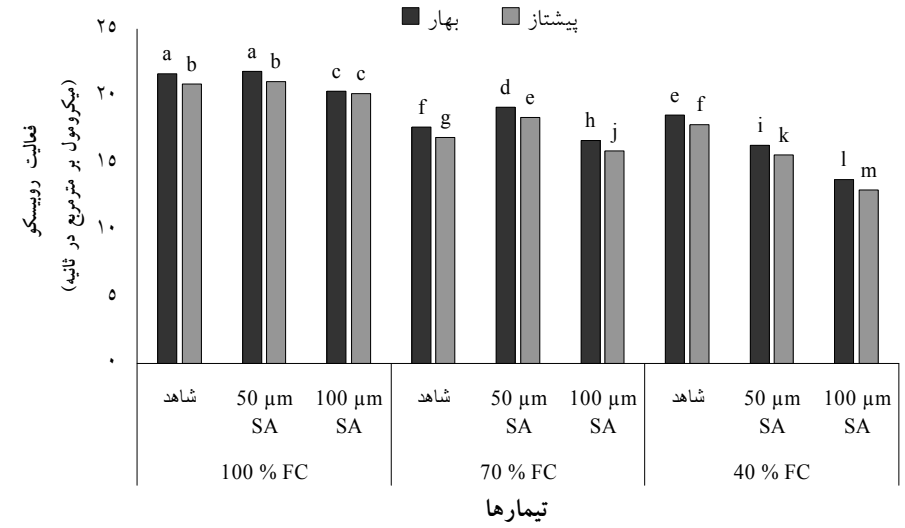
جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی صفات فیزیولوژیک گندم تحت تیمارهای مختلف رطوبتی و محلولپاشی اسید سالیسیلیک

منابع تغییرات	درجه آزادی	هدایت روزنه ای	کربن دی اکسید زیر روزنه ای	محتوای نسبی آب	فعالیت روبیسکو	سرعت فتوسنتز	عملکرد	نشت یونی	تعرق
تکرار	۳	۱٤٤/۸۰۰	٥٥۷/٥۹۷	۱۸/٤٦۳	۱/۱٥۳۹	۰/٦۳۳۱٦	٥۳۸۰۹٦	۲/۳۸۲۳	۰/۰۱۱۹۳
تنش خشکی	۲	۱۷۰۹/۱۸٤**	۷۸۲/۹۳۰٦**	۲۰۰۱/۱۳**	۱۲٥/۰۷۰٦**	٦۸/٦۲٥۸٤**	۱۳۷۳٦۸٤۷۳**	٤۷٥/۷٦۷۲**	۲/۸٥۷۳۳**
خطای اول	٤	۹/۰۳۱	۲٥۸/۱۹٤٤	۱٥/٦۲۹٦	۰/۹۷٦۹	۰/٥۳٦۰۰	۹۹۸۸۲٤٥	۳/٥۷٥۲	۰/۰۱۰۱۰
اسید سالیسیلیک	۲	۳۹۷/۸۸۹**	٥۳۸۸/۸۷٥**	٤٦٥/۰۱۹**	۲۹/۰٦۳۷**	۱٥/۹٤۷۱٤**	۱٤۳۸۷۱۷۲٥**	۸۸/۸۹۷۸**	۰/۷٥۷۳۱**
تنش خشکی*اسید سالیسیلیک	٤	۱۳٥۲/۳۳٦**	۱۰۹/۸۰٥٦**	۱٤٤/۸٥۲**	۹/۰٥۳۲**	٤/۹٦۷٤۸**	۱۲۰۹۱۲۳۲*	۳٦/٤۷۰۷**	۰/۲۹۸۹٤**
خطای دوم	۱۲	۸/۱۰۱	۳۱٥/۱۰٦٥	۱۲/٥۷٤۱	۰/۷۸٥۹	۰/٤۳۱۲۱	٥٥۸٤٥۸٥	۲/۲۸۷٦	۰/۰۰۸۱۲
رقم	۱	۳۸۸٦/۲۱٥**	٥۰٥٥/٦۷۱**	۱۰۱/٤۰۷**	٦/۳۳۸۰**	۳/٤۷۷٦۲**	۱۸۲۰۲۰٦۲*	۱۹/۷۹۹٤**	۰/۰٦٥٥۲**
تنش خشکی*رقم	۲	۱٤۳۱/۰۸۷**	۲۲۲/۷۸۲٤**	۰/۹۲۳٥٥*	۰/۰٥۲۷٦*	۰/۰۳٤۳٥*	۳۳٤۳۷۸٤*	۰/٥۱٦٥**	۰/۰۰۰٥٦٥*
اسید سالیسیلیک * رقم	۲	۲٥۸۳/۱۸۲**	۳۰۲/۳۹۳٥**	۰/۹۰۷٤۱۸*	۰/۰٥٤۳۷*	۰/۰۳۱۲**	٤۸٤۸۳٥٥*	۰/٥٦۲۱**	۰/۰۰۰٥٥٤*
تنش خشکی * اسید سالیسیلیک * رقم	٤	۱۱۸۸/٦۱۲**	۳۸۸/۳۷۹٦**	۰/۸۹۲۷۳*	۰/۰٥۷٤۳*	۰/۰۳۷٦٥*	۲۱۲۸٦۱*	۰/٥٥٤۳**	۰/۰۰۰٥۹٤*
خطای سوم	۱۸	۳۱/۳۳٤	۲٦٤/٥۸۸	۰/۲٤۰۷٤	۰/۰۱٥۰	۰/۰۰۸۲٦	٥۷۷۷۷۲۷	۰/۰۰۸۸	۰/۰۰۰۱٦
ضریب تغییرات (درصد)	–	۳/۹	٦/٥	٦/۷	۷/۳	٦/۲	۲۷/۹	٥/۱۹	٥/۲

ns, *و** به تر تیب بیانگر معنی‌دار نبودن و معنی‌دار بودن در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد را نشان می‌دهد



شکل ۴- تاثیر تنش خشکی(۱۰۰، ۷۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی) و اسید سالیسیلیک (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار) بر میزان فتوسنتز دو رقم گندم

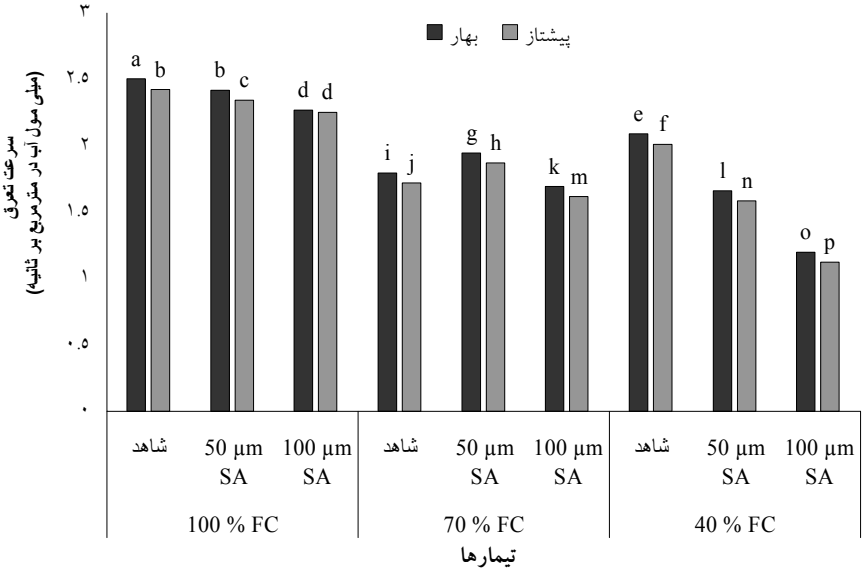


شکل ۵- تاثیر تنش خشکی(۱۰۰، ۷۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی) و اسید سالیسیلیک (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار) بر فعالیت آنزیم روبیسکو دو رقم گندم

میزان تعرق

میزان تعرق گیاه با افزایش شدت تنش خشکی نسبت به شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) کاهش یافت، به طوری که در رژیم رطوبتی ۴۰ درصد ظرفیت زراعی این میزان به کمترین حد رسید (شکل ٦). پاسخ به گیاه به کاربرد اسید سالیسیلیک در شرایط شاهد (۱۰۰) و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی منفی بود، به طوری که با افزایش سطوح هورمون میزان تعرق کاهش یافت و در رژیم رطوبتی ۴۰ درصد ظرفیت زراعی و تیمار ۱۰۰ میکرو مولار اسید سالیسیلیک به حداقل میزان رسید .با این حال بیشترین میزان تعرق در شرایط تنش مربوط به حالت عدم محلول پاشی در رژیم رطوبتی ۴۰ درصد ظرفیت زراعی بود (شکل ۷). همچنین مشاهد شد که با افزایش شدت تنش خشکی میزان تعرق کاهش یافت که این موضوع ممکن است به دلیل کاهش سطح برگ نسبت به گیاه شاهد باشد. این نتیجه با گزارش پجیک و همکاران، (۲۰۱۵) در ارتباط با کاهش تعرق در شرایط تنش در نتیجه کاهش سطح برگ سیب زمینی مطابقت دارد.

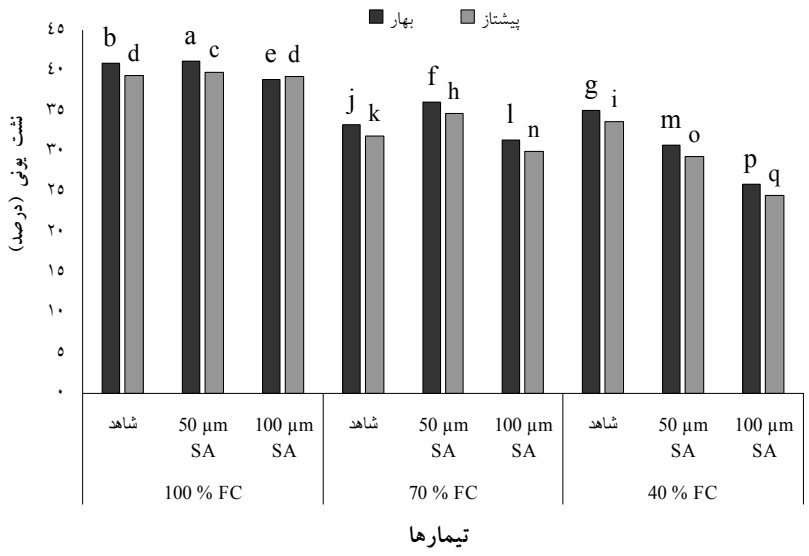
کاربرد اسید سالیسیلیک در این شرایط تاثیر متفاوتی بر میزان تعرق داشت، به طوری که در تنش رطوبتی ۷۰ درصد ظرفیت زراعی تیمار ۵۰ میکرومولار اسید سالیسیلیک موجب افزایش تعرق و در تنش رطوبتی ٤٠ درصد ظرفیت زراعی موجب کاهش تعرق شد. اگرچه سالیسیک اسید به عنوان تنظیم رشد موثر در کاهش تعرق و افزایش سازگاری به تنش خشکی شناخته شده است اما گزارشات در مورد نقش اسید سالیسیلیک در شرایط تنش خشکی متناقض است. به طوری که افزایش تعرق در نتیجه کاربرد سالیسیک اسید در شرایط تنش خشکی در گیاه توتون گزارش شده است (جاندا و همکاران، ۲۰۰۷). علاوه بر این افزایش هدایت روزنه‌ای و تعرق در نتیجه کاربرد سالیسیک اسید در گیاهان ذرت و لوبیا گزارش شده است (خان و همکاران، ۲۰۰۳). این تفاوت ممکن است به دلایلی از جمله تفاوت های بین گونه‌ای باشد که سازوکار آن مشخص نیست. همچنین خان و همکاران (۲۰۰۳) افزایش سرعت تعرق و هدایت روزنه‌ای را در پاسخ به محلول پاشی اسید سالیسیلیک در گیاه سویا و ذرت گزارش کردند.



شکل ۶- تاثیر تنش خشکی(۱۰۰، ۷۰ و ٤٠ درصد ظرفیت زراعی) و اسید سالیسیلیک (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار) بر میزان تعرق دو رقم گندم

نشت یونی

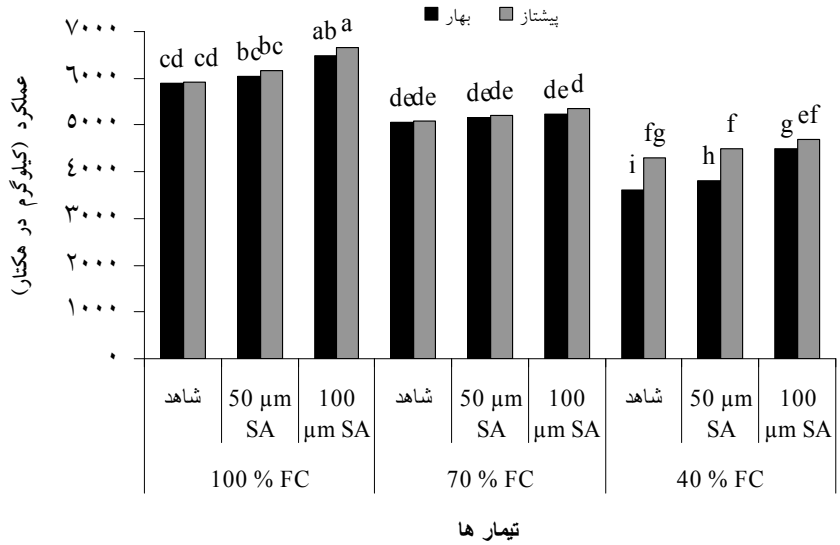
نشت یونی سلول‌های برگ با افزایش شدت تنش خشکی نسبت به شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) افزایش یافت. بیشترین میزان نشت یونی مربوط به رژیم رطوبتی ٤٠ درصد ظرفیت زراعی، تیمار ۵۰ میکرومول اسید سالیسیلیک و رقم بهار بود، اما کمترین میزان آن در رژیم رطوبتی ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی، تیمار ۱۰۰ میکرومولار اسید سالیسیلیک و رقم پیشتاز بود (شکل ۷). نتایج نشان داد که در شرایط شاهد (عدم تنش) و شرایط تنش کاربرد سطوح بالاتر اسید سالیسیلیک باعث کاهش نشت یونی شد. غشاهای بیولوژیک اولین هدف تنش‌های غیرزنده در گیاهان هستند (باجی و همکاران، ۲۰۰۲). در نتیجه صدمه به غشای سلولی گیاه، تراوایی افزایش یافته و نشت الکتریکی از سلول باعث پژمردگی گیاه می‌شود (بلومه و ابرکن، ۱۹۸۱). در این تحقیق اگرچه با افزایش شدت تنش نشت الکترولیتی غشاء زیاد شد، اما کاربرد سالیسیلک اسید در این شرایط سبب بهبود غشا و در نتیجه کاهش نشت الکترولیت شد. تنش خشکی از طریق تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن طی فرایند تنفس و فتوسنتز موجب آسیب به پروتئین‌ها، چربی‌ها، اسیدهای نوکلئیک و غشای سلولی شده و در نتیجه موجب مرگ سلولی می‌شود (هانگ و فو، ۲۰۰۱). به نظر می‌رسد اسید سالیسیلیک از طریق افزایش یکپارچگی غشا و کاهش تنش اکسیداتیو سبب کاهش نشت یونی و درنتیجه کاهش اثرات منفی تنش خشکی بر گیاه می‌شود. در این باره گزارش شده است که اسید سالیسیلیک در غلظت ۰/۱ میلی‌مولار سبب کاهش نشت یونی در گوجه فرنگی نسبت به شاهد شد (سین و یوشا، ۲۰۰۳).



شکل ۷- تاثیر تنش خشکی(۱۰۰، ۷۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی) و اسید سالیسیلیک (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار) بر نشت یونی دو رقم گندم

عملکرد دانه

عملکرد دانه با افزایش شدت تنش کاهش یافت به طوری که تنش ۴۰ درصد رطوبت خاک دارای کمترین میزان عملکرد دانه بود اما کاربرد اسید سالیسیلیک سبب بهبود عملکرد در این شرایط شد (شکل ۸). اگرچه رقم بهار در حالت شاهد دارای عملکرد بیشتری نسبت به رقم پیشتاز بود، اما در تنش ۴۰ درصد رطوبت خاک عملکرد کمتری داشت. در تنش ۴۰ درصد رطوبت خاک با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک عملکرد بهبود یافت، به طوری که رقم پیشتاز به این افزیش غلظت بیشتر واکنش نشان داده است. در شرایط تنش بیشترین و کمترین میزان عملکرد به ترتیب مربوط به رقم پیشتاز در تیمار ترکیبی ۷۰ درصد رطوبت خاک به همراه ۱۰۰ میکرومولار اسید سالیسیلیک و رقم بهار تیمار ترکیبی ۴۰ درصد رطوبت خاک به همراه ۵۰ میکرومولار اسید سالیسیلیک بود. طبق نتایج بدست آمده در این تحقیق، تنش خشکی سبب کاهش عملکرد گیاه در مقایسه با شاهد شد، در حالی که کاربرد هورمون اسید سالیسیلیک در گندم تحت تنش خشکی موجب بهبود رشد گیاه و در نتیجه افزایش عملکرد شد. کاهش عملکرد گیاه در شرایط تنش خشکی ممکن است به دلایل مختلفی از جمله کاهش سطح برگ، میزان کلروفیل، اختلال در فتوسنتز و انتقال مواد پرورده، افزایش تنفس و اختلال در جذب مواد غذایی از خاک باشد. طی مطالعاتی توسط محققان گزارش شده است که کاربرد خارجی اسید سالیسیلیک ممکن است اثرات مخرب عوامل استرس‌زای مختلف را کاهش دهد که این حفاظت می‌تواند در ظرفیت فتوسنتزی بالاتر آشکار شود (هوروات و همکاران، ۲۰۰۷؛ رادوان و سلطان، ۲۰۱۲؛ ساشوا و همکاران، ۲۰۱۳؛ تیرانی و همکاران، ۲۰۱۳). شکیروا و همکاران (۲۰۰۳)، گزارش نمودند با کاربرد اسید سالیسیلیک عملکرد دانه در گندم افزایش می‌یابد. همچنین محققان مختلفی در خصوص تأثیر این هورمون بر رشد ذرت بیان کردند که اسید سالیسیلیک رشد ذرت را افزایش می‌دهد (امین و همکاران، ۲۰۰۸؛ ابدل واحد و همکاران، ۲۰۰۶؛ المرگاوی و همکاران، ۲۰۰۷). اسید سالیسیلیک با بهبود فتوسنتز (ال طیب، ۲۰۰۵) و افزایش بعضی از هورمون‌های گیاهی از جمله اکسین و سیتوکینین (شکیروا و همکاران، ۲۰۰۳) باعث افزایش فتوسنتز و عملکرد می‌شود. با این وجود بهبود بعضی از فرآیندهای فیزیولوژیکی و بازداری از بعضی از فرآیندها بستگی به غلظت اسید سالیسیلیک، گونه‌های گیاهی، مراحل مختلف توسعه و شرایط محیطی دارد (دینگ و وانت ، ۲۰۰۳؛ ماتئو و همکاران، ۲۰۰۳). بنابراین به نظر می‌رسد اسید سالیسیلیک از طریق بهبود فرآیند فتوسنتز، کاهش تعرق، افزایش توسعه سیستم ریشه و افزایش جذب عناصر غذایی در شرایط تنش خشکی زمینه تعدیل اثرات تنش و بهبود رشد و تولید عملکرد مطلوب شده است.



شکل ۸- تاثیر تنش خشکی(۱۰۰، ۷۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی) و اسید سالیسیلیک (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار) بر تعداد عملکرد دانه دو رقم گندم

نتیجه گیری

طبق نتایج به‌دست آمده مشخص شد که ارقام گندم مورد مطالعه در این تحقیق در شرایط تنش خشکی دستخوش تغییرات فیزیولوژیکی متعددی شده تا از این طریق به سمت سازگاری و یا کاهش اثرات صدمات وارده در این شرایط پیش بروند. نتایج نشان داد که تنش خشکی تاثیر معنی‌داری بر تمامی صفات مورد بررسی در این آزمایش داشت، به طوری که سبب بروز اختلال در فرایندهای فیزیولوژیکی مانند کاهش فتوسنتز، کاهش فعالیت آنزیم روبیسکو و کاهش پایداری غشا سلولی شد، اما کاربرد اسید سالیسیلیک در این شرایط در اغلب صفات سبب کاهش صدمات وارده ناشی از تنش خشکی شد. علاوه براین برتری رقم بهار نسبت به رقم پیشتاز در شرایط تنش و همچنین در پاسخ به کاربرد سالیسیلک اسید مشهود بود که به نظر می‌رسد به دلیل ویژگی‌های ژنتیکی رقم مذکور باشد.

منابع

Abdelkader, A. F., R. A. Hassanein, M. M. Abo-Aly, M. S. Attia, and E. M. Bakir. 2010. Screening the biosafety of wheat produced from pretreated grains to enhance tolerance against drought using physiological and spectroscopic methods. Food Chem. Toxicol. 48:1827-1835.

Abdel-Wahed, M. S. A., A. A. Amin, and S. M. El Rashad. 2006. Physiological effect of some bioregulators on vegetative growth, yield and chemical constituents of yellow maize plants. W. J. Agri. Sci. 2(2), 149-155.

Amin, A. A., S. Rashad, H. M. Fatma, and A. E. Gharib. 2008. Changes in morphological, physiological and reproductive characters of wheat and photosynthesis. Aust. J. Basic Appl. Sci. 2 (2), 252-261.

Anonymous. 2008. Food Outlook, Global Market Analysis. http://www.fao.food outlook.com.

Araus, J. L., J. Casadesus, and J. Bort. 2001. Recent tools for screening of physiological traits determining yield. In: Application of physiology in wheat breeding. (Eds. Reynolds, M. P., Ortiz-Monasterio, J. and Mcnab, A.). Pp. 59-77. Mexico

Bajji, M., J. Kinet, and S. Lutts, S. 2002. The use of the electrolyte leakage method for assessing cell membrane stability as a water stress tolerance test in durum wheat. J. Plant Growth Regul. 36: 61–70.

Bandurska, H. and A. Stroinski. 2005. The effect of salicylic acid on barley response to water deficit. Physiol. Plant. 27 (3b): 379–386.

Berukova, M. V., R. Sakhabutdinova, R. A. Farkhutdinowa, I. Kyldiarov and F. Shakirova. 2001. The role of hormonal changes in protective action of salicylic acid on growth of wheat seedlings under water deficit. J. Agrochem. 2: 51-54.

Blume, A. and A. Ebercon. 1981. Cell membrane stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat. Crop Sci. 21. 43–47.

Boughalleb, F. and H. Hajlaoui. 2011. Physiological and anatomical changes induced by drought in two olive cultivars (CV Zalmati and Chemlali). Physiol. Plant. 33: 53-65.

Cheong, Y. H., K. N. Kim, G. K. Pandey, R. Gupta, J. J. Grant and S. Luan. 2003. CLB1, a calcium sensor that differentially regulates salt, drought, and cold responses in Arabidopsis. The Plant Cell. 15: 1833- 1845.

Colom, M. R. and C. Vazzana. 2003. Photosynthesis and PSII functionality of drought-resistant and drought sensitive weeping lovegrass plants. Environ. Exp. Bot. 49: 135-144.

Dat, J. F., H. Lopes Delgado, C. H. Foyer and I. M. Scot. 1998. Parallel changes in H_2O_2 and catalase during thermotolerance induced by salicylic acid or heat acclimation in mustard seedlings. J. Plant Physiol. 116: 1351-1357.

Demirevska. K., L. Simova-Stoilova, V. Vassileva, I. Vaseva, B. Grigorova and U. Feller. 2008. Drought-Induced Leaf protein alteration in sensitive and tolerant wheat varieties. Field Crop Res. 34: 79-102.

Ding, C. and C. Y. Want. 2003. The dual effects of methyl salicylate on ripening and expression for ethylene biosynthetic genes in tomato fruits. Am. J. Plant Sci. 164: 589-601.

El-Mergawi, R. and M. Abdel-Wahed. 2007. Diversity in salicylic acid effects on growth criteria and different indole acetic acid forms among faba bean and maize. International Plant Growth Substances Association 19th Annual meeting. Puerto Vallarta. Mexico. July 21-25.

El-Tayeb, M. A. 2005. Response of barley grains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. J. Plant Growth Regul. 45: 215-225.

Fariduddin, Q., S. Hayat and A. Ahmad. 2003. Salicylic acid influences net photosyntheticrate, carboxylation efficiency, nitrate reductase activity and seed yield in Brassica juncea. Photosynthetica. 41: 281–284.

Ghamarnia. H. and J. W. Gowing. 2005. Effect of water stress on three wheat cultivars. ICID 21st European Regional Conference. 15-19 May. Frankfurt (oder) and Slubice-Germany and Poland.

Gunes, A., A. Inal, E. G. Bagci and S. Coban. 2007. Silicon mediated changes on some physiological and enzymatic parameters symptomatic of oxidative stress in barley grown in sodic-B toxic soil. J. Plant Physiol. 164: 807-811.

Hajihashemi, SH., KH. Kiarostami, A. Saboora and SH. Enteshari. 2007. Exogenously applied paclobutrazol modulates growth in salt-stressed wheat plants. J. Plant Growth Regul. 53: 117-128.

Hanson, A. D., and W. D. Hitz. 1982. Metabolic responses of mesophytes to plant water deficits. Annu. Rev. Plant Biol. 33: 163-203.

Hayat, S., Q. Fariduddin, B. Ali and A. Ahmad. 2005. Effect of salicylic acid on growth and enzyme activities of wheat seedlings. Aust. J. Agric. Res. 53: 433–437.

Hayat, S., S. A. Hasan, Q. Fariduddin and A. Ahmad. 2008. Growth of tomato (*Lycopersicon esculentum*) in response to salicylic acid under water stress. J. Plant Interact. 3: 297–304.

Horvath, E., G. Szalai and T. Janda. 2007. Induction of abiotic stress tolerance by salicylic acid signaling. J. Plant Growth Regul. 26: 290–300.

Horvath, E., G. Szalai and T. Janda. 2007. Induction of abiotic stress tolerance by salicylic acid signaling. J. Plant Growth Regul. 26: 290–300.

Horvath, E., T. Janda, G. Szalai and E. Paldi. 2002. In vitro salicylic acid inhibition of catalase activity in maize: differences between the isozymes and a possible role in the induction of chilling tolerance. Plant Sci. 163: 1129–1135.

Huang, B. and J. Fu. 2001. Growth and physiological responses of tall fescue to surface soil drying. Aust. J. Agric. Res. 9:291-296.

Janda, T., G. Horvath, G. Szalai and E. Paldi. 2007. Role of salicylic acid in the induction of abiotic stress tolerance. Salicylic Acid: A plant Hormone. Springer Publishers, Dordrecht, the Netherlands. 91-150

Janda, T., G. Szalai, I. Tari and E. Paldi. 1999. Hydroponic treatment with salicylic acid decreases the effect of chilling injury in maize Plants. J. Planta. 205: 175-180.

Khan, W., B. Prithviraj and D. L. Smith. 2003. Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates. J. Plant Physiol. 160: 485–492.

Krantev, A., R. Yordanova, T. Janda, G. Szalai, and L. Popova. 2008. Treatment with salicylic acid decreases the effect of cadmium on photosynthesis in maize plants. J. Plant Physiol. 165: 920–931.

Kumar, P., N. J. Lakshmi, and V. P. Mani. 2000. Interactive effects of salicylic acid and phytohormones on photosynthesis and grain yield of soybean (*Glycine max* L .Merrill). Physiol. Mol. Biol. Plants. 6: 179–186.

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

Ma, Q. Q., W. Wang, Y. H. LI, D. Q. Li and Q. Zou. 2006. Alleviation of photoinhibition in drought-stressed wheat (*Triticum aestivum*) by foliar applied glycin betaine. J. Plant Physiol. 163: 165-175.

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

Mateo, A. F. D., P. Muhlenbock, B. Kular, P. M. Kular, and S. Karpinski. 2006. Controlled levels of salicylic acid are required for optimal photosynthesis and redox homeostasis. J. Exp. Bot. 57(8): 1795-1807.

Nelson, B. M. N. and A. B. D. Maria. 2006. Physiological and biochemical response of common bean varieties treated with salicylic acid under water stress. Curr Opin Plant Biol. 6: 269-277

Nicco C., A. Sarrafi, M. Piquemal and G. Cavalie. 1993. Genetic variability of Rubisco in tetraploid wheats (Triticum turgidum). Plant Physiol. 111: 49–54.

Noormohammadi, GH. S. Siadat, and A. Kashani. 1998. Agronomy. Shahid Chamran University press. 180pp.

Pancheva, T.V., L. P. Popova and A. M. Uzunova. 1996. Effect of salicylic acid on growth and photosynthesis in barley plants. J. Plant Physiol. 149: 57–63.

Pejić. B. M., Aksić. M, K. Mačkić and G. Šekularac. 2015. Response of Potato to Water Stress in Southern Serbia. Austin J. of Irri. 1(1): 1001.

Pirasteh, H., Y. Emam, M. Ashraf, and M. R. Foolad. 2012. Exogenous Application of Salicylic acid Chlormequat Chloride Alleviates Negative Effects of Drought Stress in Wheat. Adv. stud. Boil. 4(11): 501-520

Popova, L., T. Pancheva, and A. Uzunova. 1997. Salicylic acid: properties, biosynthesis and physiological role. Bulg. J. Plant Physiol. 23: 85–93.

Radwan, D. E. M. and D. M. Soltan. 2012. The negative effects of clethodim in photosynthesis and gas-exchange status of maize plants are ameliorated by salicylic acid pretreatment. Photosynthetica. 50: 171–179.

Raghavendra. S. and V. S. Das. 1977. Purification and properties of PEPCase and RuBPCase in C4 and C3 plants. Z. PflanzenPhyziol. 82: 315–321.

Rampino, P., G. Spano, S. Pataleo, G. Mita, J. Napier, A. N. Di Fonzo, P. R. Shewry and C. Perrotta. 2006. Molecular analysis of a durum wheat stay green mutant: Expression pattern of photosynthesis-related genes. J. Cereal Sci. 43: 160-168.

Sasheva, P., R. Yordanova, T. Janda, G. Szalai, and L. Maslenkova. 2013. Study of primary photosynthetic reactions in winter wheat cultivars after cold hardening and freezing Effect of salicylic acid. Bul. J. Agri Sci. 19: 45–48.

Senaratna T., D. Merrit, K. Dixon, E. Bunn, D. Touchell and K. SivasithamParam. 2003. Benzoic acid may act as the functional group in salicylic acid and derivatives in the induction of multiple stress tolerance in plants. J. Plant Growth Regul. 39: 77-81.

Senaratna, T., D. Touchell, E. Bunn and K. Dixon. 2000. Acetyl salicylic acid (aspirn) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants .Plant Growth Regul. 30: 157–161.

Shakirova, F. M., A. R. Sakhabutdinova, M. V. Bezrukova, R. A. Fatkhutdinova and D. R. Fatkhutdinova. 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. Am. J. Plant Sci. 164: 317-322.

Shi, G. R., Q. S. Cai, Q. Q. Liu and L. Wu. 2009. Salicylic acid-mediated alleviation of cadmium toxicity in hemp plants in relation to cadmium uptake, photosynthesis, and antioxidant enzymes. J. Acta Physiol. 31: 969-977.

Shi, Q., Z. Bao, Z. Zhu, Q. Ying and Q. Qian. 2006. Effects of different treatments of salicylic acid on heat tolerance, chlorophyll flurescence and antioxidant enzyme activity in seedlings of *Cucumis sativa* L. J. Plant Growth Regul. 48: 127-135.

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

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

Tirani, M.M., F. Nasibi and K. M. Kalantari. 2013. Interaction of salicylic acid and ethylene and their effects on some physiological and biochemical parameters in canola plants (*Brassica napus* L.). Photosynthetica. 51: 411–418.

Some physiological responses of two wheat cultivars to foliar application of salicylic acid under drought stress

F. Darabi[1], R. Naseri[2], A. Mirzaei[3], M. Moradi[4]

Received: 2017-2-2 Accepted: 2018-1-1

Abstract

To investigate some physiological responses of two wheat cultivar under variable moisture conditions to salicylic acid, a split split-plot experiment was conducted in a randomized complete block design with four replications at Agricultural Research Center of Sarableh, Ilam during 2014-2015 cropping season. Experimental factors included moisture treatments in three levels (control (100), 70 and 40 % Field capacity) In the main-plots, salicylic acid in three levels (0, 50 and 100 µm) in the sub-plot and two wheat cultivar (Bahar and Pishtaz) in sub sub-plot. Studied traits in this study included yield, Relative Water Content, stomatal conductance, rubisco activity, photosynthetic rate, Transpiration rate, electrolyte leakage and Sub stomatal CO_2 concentration. The results showed that Triple interaction between drought stress, salicylic acid and Cultivars on all traits was significant. Although By increasing drought stress yield (33%) and Relative Water Content (24%) decreased, while the use of salicylic acid in this situation improve these traits. Also by increasing drought stress Electrolyte leakage decreased, but the use of salicylic acid improved that, 13% and 24.5% respectively. Photosynthetic rate (12%) and Rubisco activity (13%) by increasing salicylic acid Decreased In comparison with control. In general, based on the role of salicylic acid in reducing the negative impact of drought stress on physiological processes that studied in this research, application of that in 70% soil capacity with 100 µm salicylic acid for Pishtaz cultivar can be suggested.

Key words: Drought stress, electrolyte leakage, photosynthesis, relative water content

1- Ph.D student in Crop Physiology, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran
2- Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Illam University, Illam, Iran
3- Crop and Horticultural Science Research Department, Ilam Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ilam, Iran
4- Instructor, Department of Agriculture, Payame Noor University, Iran