دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان

مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی
دوره چهاردهم، شماره چهل و هشتم، ۱۴۰۱

تأثیر زمان‌های کاربرد اسید سالیسیلیک بر خصوصیات بیوشیمیایی، زراعی و عملکرد جو(*Hordeum vulgare L.*) در رژیم‌های مختلف رطوبتی

مجتبی شعاع[۱]، فرهاد مهاجری[۲]، محمدرحیم اوجی[۳]، علیرضا باقری[٤]

دریافت: ۱٤۰۱/۰٤/۲۱ پذیرش: ۱٤۰۱/۰۸/۱۷

چکیده

به‌منظور بررسی اثرات زمان کاربرد خارجی هورمون اسید سالیسیلیک بر خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک و عملکرد جو (رقم نصرت) در شرایط تنش خشکی، آزمایشی به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار در طی دو سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ و ۱٤۰۰-۱۳۹۹ در شهرستان نی‌ریز انجام شد. عامل اصلی رژیم‌های مختلف آبیاری (بدون آبیاری، دو و چهار نوبت آبیاری) و عامل فرعی زمان‌های محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک (بدون محلول‌پاشی، انتهای پنجه‌زنی، ظهور ۵۰ درصد ساقه و انتهای ظهور برگ پرچم) بودند. نتایج نشان داد که تیمار بدون آبیاری باعث کاهش معنی‌دار شاخص کلروفیل برگ و کلروفیل‌های a و b نسبت به تیمار چهار نوبت آبیاری شد. تیمار بدون آبیاری هم‌چنین باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه نسبت به سایر تیمارهای آبیاری شد. محلول‌پاشی در کلیه مراحل رشد به‌طور متوسط عملکرد دانه را نسبت به تیمار بدون محلول‌پاشی افزایش داد. در هر دو سال آزمایش بیشترین میزان افزایش عملکرد نسبت به شاهد متعلق به تیمار محلول‌پاشی در انتهای پنجه‌زنی با دو نوبت آبیاری (به ترتیب ۱۱/۲۱ و ۱۳ درصد در سال‌های اول و دوم آزمایش) بود. محلول‌پاشی در این مرحله رشدی در تیمارهای بدون آبیاری و چهار نوبت آبیاری باعث افزایش عملکرد به میزان ٦/۰۸ و ۹/۷۳ درصد در سال اول و ٦/۳ و ۱۱/٤ درصد در سال دوم نسبت به تیمار بدون محلول‌پاشی شد. که نشان‌دهنده تأثیر مثبت محلول‌پاشی در شرایط رطوبتی بالاتر می‌باشد. محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک باعث افزایش غلظت پرولین نسبت به شاهد بدون محلول‌پاشی شد. بیشترین غلظت پرولین در تیمار محلول‌پاشی در انتهای پنجه‌زنی بود. غلظت پرولین با کاهش دفعات آبیاری افزایش یافت. درمجموع نتایج این بررسی نشان داد که کاربرد اسید سالیسیلیک در انتهای پنجه‌زنی از طریق تأثیر بر ویژگی‌های بیوشیمیایی، در کاهش عوارض تنش خشکی مؤثر بوده و در شرایط آب‌وخاک مشابه، کاربرد آن در جو توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: پرولین، تنش خشکی، کلروفیل، هورمون‌های گیاهی.

شعاع، م.، ف. مهاجری، م.ر. اوجی و ع. باقری، ع. ۱٤۰۱. تأثیر زمان‌های کاربرد اسید سالیسیلیک بر خصوصیات بیوشیمیایی، زراعی و عملکرد جو(*Hordeum vulgare L.*) در رژیم‌های مختلف رطوبتی. ۱٤(٤۸): ۸۸-۷۲.

۱- دانشجوی دکتری، گروه کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد فسا، فسا، ایران.

۲- استادیار، گروه کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد فسا، فسا، ایران. مسئول مکاتبات fmohajeri1397@gmail.com

۳- استادیار، گروه کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد فسا، فسا، ایران.

٤- استادیار، گروه کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اقلید، اقلید، ایران.

مقدمه

آب به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و کمیاب‌ترین نهاده‌های کشاورزی شناخته شده است که نه‌تنها در کشور ما بلکه در سال‌های اخیر، جهان با کمبود آن روبه‌روست (کشاورز و همکاران، ۱۳۹۹). کمبود آب تبدیل به چالشی دائمی برای تولید جهانی مواد غذایی شده است و آن‌طور که از پیش‌بینی‌ها برمی‌آید، سختی و شدت خشک‌سالی‌ها در آینده نزدیک افزایش نیز خواهد یافت (دوبی و همکاران، ۲۰۲۱). در حال حاضر، به‌طور متوسط ۸۰ درصد از نیاز کشور در بخش نهاده‌های دامی از طریق واردات تأمین می‌شود و سهم خوراک دام در هزینه تمام‌شده محصولات پروتئینی کشور حدود ۷۰ درصد می‌باشد و درنتیجه هرگونه اختلال در تأمین و توزیع نهاده‌های دام و طیور، تولید و توزیع محصولات پروتئینی را با چالش جدی مواجه خواهد ساخت (دبیرخانه شورای گفت‌وگوی دولت و بخش خصوصی و اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی ایران ۱۳۹۹). از طرفی میزان جمعیت کشور که در سال ۱۳۹۹ بالغ بر ۸۵ میلیون نفر بوده است، حکایت از آن دارد که با نرخ رشد ۱/٤ درصد در سال ۱٤۰٤ به ۹۰ میلیون و در سال ۱٤۲۹ به ۱۱۵ میلیون نفر برسد. نیاز غذایی کشور به نهاده‌های اساسی در خوراک دام ازجمله جو با توجه به سرانه مصرف غیرمستقیم، ۳/ ٦٤ کیلوگرم برای سال‌های ۱۳۹۹، افق ۱٤۰٤ و ۱٤۲۹ به ترتیب ۵/٤، ۵/۷ و ۷/۳ میلیون تن خواهد بود. این در حالی است که میزان تولید داخلی در سال زراعی ۱۳۹۹–۱۳۹۸ تنها ۳/۸ میلیون تن بوده است (احمدی و همکاران، ۱٤۰۰).

جو زراعی با نام علمی *Hordeum vulgare L.* احتمالاً از حدود ۹ هزار سال قبل، از محصولات پایه‌گذار کشاورزی جهان قدیم می‌باشد (بدر و همکاران، ۲۰۰۰) و دانه این گیاه زراعی بی‌نظیر پائیزه از نهاده‌های مهم تولید خوراک دام و طیور به شمار می‌رود. کشور روسیه با تولید ۲۰/۵ میلیون تن بزرگ‌ترین تولیدکننده جهان است (فائو، ۲۰۲۱) و فدراسیون روسیه و اوکراین بازیگران جهانی در بازارهای محصولات کشاورزی هستند. این کشورها در مجموع ۲۳ درصد از سهم تجارت جهانی جو (روسیه ۱۲ درصد و اوکراین ۱۱ درصد) را در اختیار دارند و حمله روسیه در پنجم اسفند ۱٤۰۰ مطابق با ۲٤ فوریه ۲۰۲۲ به اوکراین قطعاً موجب خواهد شد تا در ادامه سال ۲۰۲۲ قیمت گندم و جو افزایش یابد و امنیت غذایی در جهان با چالش دیگری روبه‌رو گردد.

در اکثر اقلیم‌های مدیترانه‌ای ازجمله جنوب ایران، بارندگی‌ها معمولاً در فصل زمستان روی می‌دهند. بنابراین غلات زمستانه ازجمله جو عمدتاً در مراحل آبستنی، گل‌دهی و پر شدن دانه در بهار با کمبود آب مواجه بوده‌اند و عملکرد آن‌ها دچار کاهش می‌شوند (براتی و غدیری، ۱۳۹۵). درصورتی‌که تنش خشکی از مرحله گرده‌افشانی تا رسیدگی روی دهد، از طریق تسریع پیری برگ‌ها، کاهش طول دوره رشد و کاهش سرعت پر شدن دانه سبب کاهش میانگین وزن دانه و درنهایت کاهش عملکرد دانه می‌شود و چنان چه تنش خشکی قبل و در طول دوره سنبله دهی رخ دهد، موجب بیشترین کاهش عملکرد می‌شود و حاکی از آن است که زمان‌های گل‌دهی و گرده‌افشانی، حساس‌ترین دوره رشد و نمو جو زراعی به خشکی می‌باشند (فهمیده و همکاران، ۱٤۰۰). میزان این واکنش‌ها به مقدار کمبود آب و مرحله‌ای از رشد گیاه که با کمبود رطوبت مواجه گردیده، وابسته است. به‌طور مثال اگر کمبود آب بین مرحله برجستگی دوگانه و گل‌دهی رخ دهد، ممکن است عملکرد دانه به‌واسطه کاهش تعداد سنبلچه در سنبله و باروری آن‌ها و درنهایت تعداد دانه در واحد سطح متأثر شود و اگر کمبود آب در مرحله پر شدن دانه رخ دهد، طول دوره پر شدن دانه را کوتاه کرده و میانگین وزن دانه و درنتیجه عملکرد غلات زمستانه را کاهش می‌دهد. هم‌چنین کمبود آب در مراحل پیش از گل‌دهی اثرات نامطلوب تنش خشکی در مراحل گل‌دهی و پر شدن دانه را به‌ویژه در دیم‌زارها تشدید می‌کند (براتی و غدیری، ۱۳۹۵). البته نمی‌توان از نظر دور داشت که کمبود رطوبت نه‌تنها در اثر کمبود آب، بلکه در اثر تنش‌هایی مثل دمای پایین یا شوری نیز می‌تواند روی دهد (فهمیده و همکاران، ۱٤۰۰). خشکی با اثر بر تنظیم عملکرد پروتئین و ژن‌های ناشی از تنش، موجب تغییرات مورفولوژیکی، بیوشیمیایی، فیزیولوژیکی و مولکولی متعددی در گیاهان می‌گردد (دوبی و همکاران، ۲۰۲۱). گرچه بارزترین اثرات تنش خشکی بر گیاهان، توقف رشد است اما آسیب شدید به دستگاه فتوسنتزی، کاهش فتوسنتز، کاهش جوانه‌زنی بذر و جذب مواد مغذی (دوبی و همکاران، ۲۰۲۱)، کاهش سطح برگ (قادری و همکاران، ۲۰۱۵)، کاهش میزان کلروفیل کل، پژمردگی برگ، کاهش گسترش ریشه، تولید گونه‌های فعال اکسیژن (دوبی و همکاران، ۲۰۲۱)، کاهش هدایت روزنه‌ای، کاهش وزن‌تر و خشک ریشه و اندام هوایی، بسته شدن روزنه‌ها، تخریب آنزیم‌ها و تغییر در بیان بسیاری از ژن‌ها (ذوالفقار و همکاران، ۲۰۲۱) و بسیاری از اثرات منفی دیگر حاصل تنش خشکی است.

امروزه میزان کلروفیل و پرولین به‌عنوان یک معیار سنجش برای اندازه‌گیری تأثیر تنش‌های محیطی، ازجمله تنش آب بر گونه‌های زراعی و تعیین میزان تحمل به خشکی آن‌ها پیشنهاد شده است.

درواقع، میزان کلروفیل بیشتر، سالم بودن غشای تیلاکوئید و کارایی نسبی انتقال الکترون از فتوسیستم دو به فتوسیستم یک را نشان می‌دهد (دوبی و همکاران، ۲۰۲۱). به‌طورمعمول، پرولین به‌عنوان مهم‌ترین اسیدآمینه مرتبط با تنش در نظر گرفته می‌شود که به‌ویژه در شرایط خشکی، در حفظ تعادل اسمزی سلولی و جلوگیری از نشت الکترولیت‌ها نقش دارد (فریمپونگ و همکاران، ۲۰۲۱). پرولین در تمام اندام‌های گیاه سالم در طی تنش خشکی تجمع می‌یابد. بااین‌وجود، تجمع به‌طور گسترده‌تر و سریع‌تر در برگ‌ها ظاهر می‌شود (ذوالفقار و همکاران، ۲۰۲۱).

مقابله با تنش ازجمله تنش خشکی به‌صورت‌های مختلفی مثل استفاده از ترکیباتی که هزینه کمتر و کارایی بالاتری داشته باشند، از اهمیت ویژه‌ای برخورداراست. یکی از این روش‌ها کاربرد خارجی مواد تنظیم‌کننده رشد گیاهی یا هورمون‌های گیاهی می‌باشد (شعاع و میری، ۱۳۹۱). هورمون‌ها عوامل کلیدی تنظیم‌کننده تمام جنبه‌های زندگی هستند و در هر موجود زنده‌ای از سلول تخم شروع‌شده و از فرایند لقاح، رشد جنین تا پیری و مرگ، حضور دارند و از نقش‌های مهم این ترکیبات، سازگار سازی موجودات زنده به محیط در حال تغییر است (ماگالا و همکاران، ۲۰۲۰).

ایجاد تحمل انواع تنش در گیاهان از راه تیمار با اسید سالیسیلیک و مشتقات آن در کشاورزی، باغبانی و جنگلداری امکان‌پذیر می‌باشد و مطالعات متعددی نقش اسید سالیسیلیک را به‌عنوان یک مولکول پیام‌رسان مهم در پاسخ‌های گیاه به تنش‌های متعدد زیستی و غیر زیستی را تأیید کرده است (الطیب، ۲۰۰۵). بر اساس نتایج آزمایش شعاع و میری (۱۳۹۱) کاربرد اسید سالیسیلیک روی گندم در شرایط تنش موجب بهبود سطح برگ، میزان کلروفیل a و b، عملکرد و اجزای عملکرد شد. هاشمی و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که پیش تیمار بذر با اسید سالیسیلیک با غلظت ۱/۵ میلی مولار، باعث افزایش تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد زیستی و شاخص برداشت در جو گردید. ارتفاع بوته، سطح برگ و وزن خشک در طول فصل رشد نیز تحت اثر مثبت پیش تیمار اسید سالیسیلیک قرار گرفت و فنولوژی گیاه جو را نیز تحت تأثیر قرار داد، به‌نحوی‌که فاصله زمانی کاشت تا مرحله غلاف رفتن (آبستنی)، کاشت تا گلدهی و کاشت تا رسیدگی را در هر دو شرایط شور و غیر شور افزایش داد و در بررسی صورت گرفته روی توت‌فرنگی مشخص شد که کاربرد اسید سالیسیلیک در شرایط تنش خشکی محتوای نسبی آب برگ، کربوهیدرات‌های محلول و پرولین را افزایش می‌دهد (قادری و همکاران، ۲۰۱۵). پیراسته انوشه و همکاران (۲۰۱۵) گزارش دادند که بازیابی گیاه با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک باعث بهبود تجمع ماده خشک ساقه و ریشه، افزایش محتوای پرولین، کلروفیل و فتوسنتز گیاه جو شد. نتایج این پژوهش نشان دادند که پرایم کردن بذرها با اسید سالیسیلیک موجب بروز اختلاف معنی‌داری بر عملکرد و اجزای عملکرد و صفات وابسته گردید.

با توجه به وقوع خشک‌سالی‌های مستمر و افت شدید آب‌های زیرزمینی در جنوب استان فارس و به‌ویژه شهرستان نی‌ریز که از دیرباز جزو کانون‌های تولید جو فارس نیز بوده است، برای آگاهی از میزان اثربخشی و تخفیف اثرات مخرب تنش خشکی در جو با کاربرد خارجی هورمون اسید سالیسیلیک و یافتن مؤثرترین زمان مصرف در دورهای متفاوت آبیاری، این پژوهش طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در دو سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ و ۱٤۰۰- ۱۳۹۹ در سه کیلومتری شرق شهرستان نی‌ریز (در جنوب شرقی استان فارس با عرض جغرافیایی ′۱۲ °۲۹، طول جغرافیایی ′۲۰ °٥٤ و ارتفاع ۱٦۳۲ متری از سطح دریا) در شرایط مزرعه اجرا شد. میزان بارندگی منطقه محل آزمایش، در طی سال اول اجرای آزمایش، ۳٥٦ میلی‌متر و در سال دوم، ۸۹/٦ میلی‌متر بود. نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه شیمیایی خاک آزمایش در جدول ۱ نشان داده‌شده‌اند. آب مورداستفاده برای آبیاری نیز داری pH= ۸/۰۲ و $EC= ۰/٦۸٦ \ dS.m^{-1}$ بود. این تحقیق بر اساس آزمایش کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل فاکتور اصلی آبیاری در سه سطح (۱- بدون آبیاری پس از کاشت و استقرار گیاه ، ۲- دو مرحله آبیاری و ۳-چهار مرحله آبیاری) و فاکتور فرعی محلول‌پاشی برگی هورمون اسید سالیسیلیک با غلظت یک میلی مولار در چهار سطح (شاهد، انتهای پنجه‌زنی، مرحله ظهور پنجه‌درصد ساقه و انتهای ظهور برگ پرچم) بودند.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

سال	هدایت الکتریکی $dS.m^{-1}$	اسیدیته (%)	کربن آلی (%)	نیتروژن (%)	فسفر (%)	پتاسیم (%)	آهن (mg/kg)	روی (mg/kg)	منگنز (mg/kg)	مس (mg/kg)	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)
۱۳۹۸-۱۳۹۹	۲/۵	۷/۵۲	۰/٤٤	۰/۰۲	۱۵/٤	٤٤۹	۷/۲	۱/۵۳	۱۹/۷۵	۱/۵۲	۳۱/٦	٤۵/۱	۲۳/۳
۱۳۹۹-۱٤۰۰	۳	۷/٦	۰/۲۲	۰/۰۱	۱۳/٤	٤۳۸	۷/۱	۱/٤	۱۹/۸	۱/۵۰	۳۳	٤۳/۲	۲۳/۸

زمین محل آزمایش در سال قبل به‌صورت آیش بوده است و میزان ۱۰۰ کیلوگرم کود سوپر فسفات آمونیم و ٦۵ کیلوگرم کود سولفات پتاسیم در هکتار به‌صورت پایه و ۳۰۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار، یک‌سوم آن در هنگام تهیه بستر و بقیه در دو مرحله پنجه‌زنی و شروع ساقه رفتن به‌صورت سرک، در مزرعه استفاده شد. در این آزمایش از جو گواهی‌شده رقم نصرت که رقم جدید معرفی‌شده در منطقه، با تیپ سنبله شش ردیفه و دارای رشد بینابینی و متحمل به خشکی است، استفاده گردید. هر کرت آزمایشی شامل ۸ خط کاشت به طول ٤/۵ متر با فاصله ۲۰ سانتی‌متر بود. فاصله بین کرت‌ها ۰/۵ متر و فاصله بین بلوک‌ها ۲ متر در نظر گرفته شد و کاشت بذر با دست و به‌صورت خطی انجام شد. اسید سالیسیلیک مصرفی (۲-اسید هیدروکسی بنزوئیک با جرم مولکولی ۱۳۸/۱۲ و چگالی ۱/٤٤۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب) تولید شرکت مرک آلمان بود.

در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک برای اندازه¬گیری عملکرد دانه و عملکرد زیستی، پس از حذف حاشیه، محصول یک مترمربع از هر کرت به صورت دستی کف¬بر و برداشت شده و پس از تعیین رطوبت، عملکرد زیستی محاسبه گردید. برای اندازه گیری عملکرد دانه، نمونه های مربوط به هر کرت آزمایشی به صورت جداگانه توزین شده و سپس به مدت ٤۸ ساعت در آون در دمای ۷۵ درجه سانتیگراد خشکانده شده ومجدداً توزین شدند و رطوبت دانه محاسبه شد و نهایتاً عملکرد دانه با احتساب رطوبت ۱۲ درصد محاسبه شد. شاخص برداشت از نسبت عملکرد دانه به عملکرد زیستی محاسبه شد.

برای اندازه‌گیری مقدار پرولین بر اساس روش بیتس و همکاران (۱۹۷۳)، ۵۰ میلی‌گرم برگ پرچم خشک برای مدت ٤۸ ساعت در ۱۰ سی‌سی اسید سولفوسالیسیلیک ۳ درصد قرار داده شد. سپس با کاغذ صافی واتمن شماره ۲ صاف شد و به یک میلی‌لیتر آن یک میلی لیتراسیداستیک و یک میلی‌لیتر از محلول نایِن هیدرین اضافه گردید، لوله‌های آزمایش به مدت ٦۰ دقیقه در داخل بن ماری قرار داده شدند، لوله‌ها داخل حمام یخ قرار گرفتند و سپس به هر لوله‌آزمایش ۲ میلی‌لیتر تولوئن اضافه شد و به مدت ۲۰ ثانیه نمونه‌ها در دستگاه هم زن قرار گرفت تا ماده رنگی در تولوئن حل شود و دو فاز درون لوله‌ها تشکیل گردد. از فاز بالایی، نمونه تهیه شد و غلظت پرولین نمونه‌ها با استفاده از اسپکتروفتومتر (مدل شیماتزو ۱۰۰ ساخت ژاپن) در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر قرائت گردید. مقدار پرولین هر نمونه با استفاده از منحنی استاندارد (در غلظت‌های ۳۱/۲۵، ٦۲/۵، ۱۲۵ و ۲۵۰ میکرو مول بر لیتر) تعیین گردید و با استفاده از رابطه ۱ برحسب میلی مول بر کیلوگرم وزن خشک بیان شد (بیتس و همکاران، ۱۹۷۳).

رابطه (۱)

$$Mmol/kgDW= (\mu mol\ prolin/lit) \times 173/\ DW(mg)$$

برای اندازه‌گیری مقدار کلروفیل بر اساس روش آرنون (۱۹۷۲)، نمونه‌های تر برگ پرچم به وزن ۵ میلی‌گرم تهیه و در هاون چینی به همراه استون ۸۰ درصد ساییده شدند. سپس نمونه‌ها با استفاده از کاغذ صافی واتمن شماره ۲ صاف گردیدند و حجم محلول به دست آمده با استون به ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شد. برای کالیبره کردن دستگاه اسپکتروفتومتر از استون ۸۰ درصد استفاده شد. میزان جذب نمونه‌های حاصل با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول‌موج‌های ٦٦۳ و ٦٤۵ نانومتر ثبت شد و غلظت کلروفیل a و b آن‌ها بر اساس روابط ۲ و ۳ برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر محاسبه شد. شاخص کلروفیل برگ با استفاده از دستگاه کلروفیل سنج SPAD Minolta 502 و در برگ‌های جوان توسعه‌یافته اندازه‌گیری شد.

رابطه (۲)

$$a = 12.7(A_{663}) - 2.69(A_{645}) \times v/1000\times w$$

رابطه (۳)

$$b = 22.9(A_{645}) - 4.69(A_{663}) \times v/1000\times w$$

v = حجم نمونه استخراج‌شده w = وزن‌تر نمونه

برای محاسبه سطح ویژه برگ پرچم، از هر کرت، ۸ برگ پرچم به‌طور تصادفی انتخاب و پس از اندازه‌گیری سطح آن‌ها با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ، نمونه‌ها در آون در

دمای ٦٠ درجه سلسیوس خشک شد و سپس به‌وسیله ترازوی حساس توزین شدند. سطح ویژه برگ پرچم، از نسبت سطح برگ به وزن آن محاسبه گردید. برداشت نهایی جو در موقع رسیدگی فیزیولوژیک گیاه و از مساحت یک مترمربع در مرکز هر کرت و با کف بر کردن بوته‌ها با دست صورت گرفت. در این مرحله، صفات عملکرد زیستی، عملکرد دانه، تعداد دانه در سنبله و شاخص برداشت اندازه‌گیری شد.

همچنین پس از آزمون بارتلت و اثبات یکنواختی واریانسها از تجزیه مرکب برای دو سال نسبت به تجزیه واریانس مرکب سایر عوامل اقدام شد. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS مورد تجزیه آماری قرار گرفتند. میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

آزمون بارتلت

آزمون بارتلت به منظور بررسی یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی در دو سال آزمایش انجام شد با توجه به معنی دار نبودن واریانس خطای دو سال در کلیه صفات مورد بررسی، تجزیه مرکب برای هر دو سال آزمایش انجام شد. بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات و معنی دار بودن اثر متقابل سه گانه سال در آبیاری در سالیسیلیک اسید در صفات عملکرد دانه، عملکرد زیستی، شاخص برداشت، تعداد دانه در سنبله و سطح ویژه برگ پرچم برش در سال در این صفات انجام و نتایج به صورت مستقل سالانه بررسی گردید (جدول ۳)

عملکرد دانه و زیستی گیاه

اثرات تیمارهای آبیاری، محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و اثر متقابل آن‌ها بر عملکرد دانه و عملکرد زیستی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۲). در هر سال آزمایش میانگین عملکرد دانه با کاهش دفعات آبیاری کاهش یافت، به‌طوری‌که در شرایط تنش بدون آبیاری، کمترین میانگین عملکرد دانه به دست آمد (به ترتیب ۳۵/۲ و ۳۸/٦ درصد کاهش در سال اول و ۳٤/۷ و ۳۹/۸ درصد کاهش در سال دوم نسبت به دو و چهار مرحله آبیاری). بررسی اثرمتقابل تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک نشان داد در هریک از تیمارهای آبیاری، بیشترین میزان عملکرد دانه به ترتیب متعلق به تیمارهای محلول‌پاشی در انتهای پنجه‌زنی، ظهور ۵۰ درصد ساقه و انتهای ظهور برگ پرچم بوده است (در هر دو سال مورد بررسی). بر اساس نتایج به‌دست‌آمده. بیشترین عملکرد دانه در هر دو سال آزمایش از محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در انتهای پنجه‌زنی و در شرایط چهار دور آبیاری به دست آمد (۱۰۷٦/۲۳ کیلوگرم در هکتار در سال اول و ۵۷۸۰ کیلو گرم در هکتار در سال دوم) (جدول ۳). در هر تیمار آبیاری، محلول‌پاشی در مرحله انتهای پنجه‌زنی بشترین میزان افزایش عملکرد دانه را نسبت به تیمار شاهد بدون محلول‌پاشی داشت. در هر دو سال آزمایش بیشترین میزان افزایش عملکرد نسبت به شاهد متعلق به تیمار محلول‌پاشی در انتهای پنجه‌زنی با دو نوبت آبیاری (به ترتیب ۱۱/۲۱ و ۱۳ درصد در سال های اول و دوم آزمایش) بود. محلول‌پاشی در این مرحله رشدی در تیمارهای بدون آبیاری و چهار نوبت آبیاری باعث افزایش عملکرد به میزان ٦/۰۸ و ۹/۷۳ درصد در سال اول و ٦/۳ و ۱۱/٤ درصد در سال دوم نسبت به تیمار بدون محلول‌پاشی شد.

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عواملی است که می‌تواند رشد و شاخص‌های فیزیولوژیکی گیاهان را تحت تأثیر قرار دهد. بااین‌حال، واکنش گیاهان به تنش خشکی به رقم، طول مدت و شدت تنش، سن و مرحله رشدی گیاه بستگی دارد (برای، ۱۹۹۷). بر اساس نتایج به‌دست آمده در این تحقیق، کاهش دفعات آبیاری سبب کاهش عملکرد گیاه در مقایسه با شاهد شد، درحالی‌که کاربرد هورمون اسید سالیسیلیک در شرایط دو بار آبیاری موجب بهبود رشد گیاه و درنتیجه افزایش عملکرد گردید. کاهش عملکرد گیاه در شرایط تنش خشکی ممکن است به دلایل مختلفی ازجمله کاهش سطح برگ، میزان سبزینه، اختلال در فتوسنتز و انتقال مواد پرورده، افزایش تنفس و اختلال در جذب مواد غذایی از خاک باشد. محققان گزارش داده‌اند که محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک ممکن است تأثیر زیان‌بار عوامل تنش‌زای مختلف را کاهش دهد (تیرانی و همکاران، ۲۰۱۳). اگرچه به‌طورکلی اسید سالیسیلیک موجب افزایش عملکرد دانه شد ولی این اثر مثبت به‌شدت با زمان محلول‌پاشی آن همبستگی داشت و نشان داد که کاربرد اسید سالیسیلیک باعث افزایش عملکرد دانه و عملکرد زیستی می‌شود.

میانگین عملکرد زیستی با کاهش دفعات آبیاری کاهش یافت. بر اساس مطالعات پژوهشگران، تنش خشکی توان فتوسنتزی گیاه را کاهش داد و این امر موجب کاهش تولیدات فتوسنتزی و درنهایت کاهش ماده خشک کل می‌گردد (رن و همکاران، ۲۰۱٦). همچنین میانگین تیمارهای محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک باعث افزایش عملکرد زیستی گیاه شد. بیشترین عملکرد زیستی متعلق به تیمار برهم‌کنش محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در انتهای پنجه‌زنی و چهار نوبت آبیاری بود (به

ترتیب ۱۲۸۲ و ۱۲٤۸ کیلوگرم در هکتار در سال های اول و دوم آزمایش) افزایش عملکرد زیستی در این تیمار ها نسبت به شاهد بدون محلول‌پاشی ٦/۱ و ۷/۰۳ درصد بود (جدول ۳) در هر دو سال مورد بررسی با افزایش سطح تنش کارایی محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید بر روی عملکرد زیستی کاهش یافت محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در انتهای پنجه‌زنی در تیمارشاهد بدون آبیاری در سال های اول و دوم آزمایش به ترتیب باعث افزایش ۱/۹٤ و در سال دوم ۱/۷۳ درصدی عملکرد زیستی نسبت به شاهد بدون محلول‌پاشی شد (جدول ۳). استفاده از اسید سالیسیلیک، از طریق گسترش سیستم ریشه‌ای و حفظ سلامت آن‌ها، سبب جذب بیشتر آب و مواد غذایی می‌شود و درنتیجه با افزایش فتوسنتز در برگ‌ها نقش مثبتی در افزایش عملکرد زیستی گیاه ایفا می‌کند. در شرایط کم‌آبی، اسیدسالیسیلیک از طریق تأثیر بر بیوسنتز اتیلن، پیری برگ‌ها را به تأخیر انداخته و از این طریق، مدت‌زمان دوام سطح برگ را افزایش می‌دهد و به دنبال آن فتوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی به مخازن افزایش می‌یابد و موجب بهبود عملکرد زیستی گیاه می‌شود (شکیروا و بزروکوا، ۱۹۹۷). محلول‌پاشی با اسیدسالیسیلیک در زمان‌های پنجه‌زنی و ساقه رفتن نسبت به شرایط بدون محلول‌پاشی، تأثیر معنی‌داری بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه داشت، اما بین این دو مرحله تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. کاربرد اسیدسالیسیلیک پس از پایان پنجه‌زنی، مدت‌زمان کافی برای اعمال تأثیرات مثبت بر گیاه یا توانایی گیاه در پاسخ‌گویی به تأثیرات مثبت این ماده را نداشت، به‌طوری‌که در عملکرد دانه و زیستی گیاه، تأثیر مثبت اسید سالیسیلیک در مراحل بعد از انتهای پنجه‌زنی کاهش یافت هرچند که نسبت به تیمار بدون محلول‌پاشی باعث افزایش عملکرد دانه و زیستی گیاه شد. بررسی‌ها نشان دادند که افزایش طول سنبله و ارتفاع گیاه، ناشی از افزایش تقسیم سلولی درون مریستم است و با افزایش مجدد فتوسنتز و درنتیجه افزایش رشد گیاه براثر کاربرد اسید سالیسیلیک منجر به افزایش عملکرد دانه و عملکرد زیستی می‌شود (شکیروا و همکاران، ۲۰۰۳). اسید سالیسیلیک با افزایش تقسیم و طویل شدن سلولی، افزایش فعالیت‌های آنزیمی و تولیدات فتوسنتزی، رشد گیاه را بهبود بخشیده و منجر به افزایش ارتفاع و عملکرد گیاه می‌شود. استفاده از اسید سالیسیلیک، از طریق گسترش سیستم ریشه‌ای و حفظ سلامت آن‌ها، سبب جذب بیشتر آب و مواد غذایی می‌شود و درنتیجه با افزایش فتوسنتز در برگ‌ها (حیات و همکاران،۲۰۱۰)، نقش مثبتی در افزایش عملکرد و اجزای عملکرد دانه گیاه ایفا می‌کند که در این تحقیق نیز افزایش عملکرد دانه و زیستی جو با کاربرد اسید سالیسیلیک مشاهده شد.

در تیمار بدون آبیاری، عملکرد زیستی گیاه در هر دو سال موردبررسی تحت تأثیر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک تغییر معنی‌داری نداشت. با افزایش سطح آبیاری، کارایی اسید سالیسیلیک نیز افزایش. کاهش وزن تر و خشک گیاهان در سطوح مختلف خشکی و افزایش رشد در حضور اسید سالیسیلیک، بیان‌کننده تأثیر منفی تنش خشکی در رشد گیاهان و نقش این هورمون در کاهش آثار این تنش در گیاهان است. بررسی‌های حیات و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که اسید سالیسیلیک باعث ایجاد پاسخ‌های متابولیک در گیاهان می‌شود. هم‌چنین بر روابط آبی گیاهان اثر می‌گذارد. به نظر می‌رسد افزایش بیشتر عملکرد زیستی در شرایط بهتر آبیاری بـه دلیـل سـهولت در جذب و انتقال اسید سالیسیلیک به اندام‌های هوایی و درنتیجه کاهش تنش خشکی در ایجاد منابع فیزیولوژیکی قوی جهت استفاده از مواد حاصل از فتوسنتز بوده است (پیره و همکاران، ۲۰۰۸).

شاخص برداشت

اثر مستقل سال و اثرمتقابل آن با عوامل موردبررسی بر روی شاخص برداشت معنی‌دار نبود و تأثیر عوامل آبیاری، محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و اثر متقابل این دو عامل بر صفت شاخص برداشت در سطح احتمـال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده اثر متقابل سه‌گانه سال با سایر عوامل موردبررسی معنی‌دار بود و بر این اساس برش دهی اثر متقابل دو عامل تنش و سالیسیلیک اسید در سال موردبررسی قرار گرفت. افزایش تعداد دفعات آبیاری در هر سال باعث افزایش میانگین شاخص برداشت شد همچنین میانگین شاخص برداشت در تیمارهای محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در مرحله انتهای پنجه‌زنی و ظهور پنجاه درصد ساقه در هر سال موردبررسی در بالاترین گروه آماری قرار گرفت (جدول ۳). در شرایط مطلوب رطوبتی، مصرف اسید سالیسیلیک، شاخص برداشت را افزایش داد، به نظر می‌رسد علت افزایش شاخص برداشت ناشی از افزایش بیشتر عملکرد دانه نسبت به عملکرد زیستی در این تیمار باشد (جدول ۳).

بررسی سالانه نتایج نشان داد شاخص برداشت در هر تیمار محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک، با افزایش میزان آب افزایش یافته است. مصرف اسید سالیسیلیک در تیمارهای انتهای پنجه‌زنی و ظهور ۵۰ درصد ساقه بالاترین درصد شاخص برداشت را در هر دو سال موردبررسی داشت اما در تیمار دو مرحله آبیاری،

بیشترین میزان شاخص برداشت متعلق به تیمار محلول‌پاشی در مرحله ظهور ۵۰ درصد ساقه بود. در تیمار چهار نوبت آبیاری، محلول‌پاشی در انتهای پنجه‌زنی و مرحله ۵۰ درصد ظهور ساقه اختلاف معنی‌داری در شاخص برداشت ایجاد نکرد این نتایج در هر دو سال موردبررسی مشابه بود. نتایج نشان دادند بیشترین میزان شاخص برداشت با متوسط به ترتیب ٤٧/٤٧ و ٤٧/٩ درصد در سال اول و ٤٦/٠٢ و ٤٦/١٥ درصد متعلق به این دو تیمار در سال‌های اول و دوم آزمایش بوده است که بدون اختلاف معنی‌دار در بالاترین گروه آماری در بین تیمارهای موردبررسی قرار گرفتند (جدول ۳). کاهش شاخص برداشت در اثر تنش کمبود آب را می‌توان به کاهش عملکرد دانه نسبت داد و دلیل کاهش عملکرد دانه را کاهش سطح برگ و عملکرد زیستی برشمرد (گارسیا دل مورال و همکاران، ۲۰۰۳). بررسی‌های قبلی نشان‌دهنده افزایش بیشتر ماده خشک گیاهی نسبت به عملکرد دانه در اثر مصرف اسید سالیسیلیک می‌باشند. پژوهشگران گزارش نمودند، مصرف سالیسلیک اسید در شرایط مطلوب رطوبتی و تنش ملایم، شاخص برداشت را کاهش ولی در شرایط آبیاری معادل ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، شاخص برداشت را افزایش داد (جیریایی و همکاران، ۱۳۸۸).

تعداد دانه در سنبله

نتایج تجزیه واریانس آزمایش نشان دادند که تعداد دانه در سنبله تحت تأثیر معنی‌دار تنش، محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و اثرمتقابل این دو عامل قرار گرفته است. اثر مستقل سال و اثرمتقابل آن با سایر عوامل بر تعداد دانه در سنبله در سطح یک درصد معنی‌دار نبودند (جدول ۲). میانگین تعداد دانه در سنبله با افزایش تعداد دفعات آبیاری افزایش یافت. تعداد دانه در سنبله یکی از اجزای اصلی عملکرد دانه بوده و در شرایط مختلف محیطی می‌تواند بر عملکرد دانه تأثیر متفاوتی داشته باشد. تنش خشکی احتمالاً از طریق ایجاد اختلال در فرآیند باروری دانه و کاهش طول مراحل نموی، تعداد دانه در سنبله را کاهش می‌دهد (روستایی و همکاران، ۲۰۰۳).

در این بررسی، میانگین تعداد دانه در سنبله با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک افزایش یافت. این میزان افزایش به ترتیب برای محلول‌پاشی در مراحل انتهای پنجه‌زنی، ظهور پنجاه‌درصد ساقه و ظهور برگ پرچم به ترتیب ۳/۳۵، ۲/۸۲ و ۱/۰۳ درصد بود. همان‌گونه که نتایج نشان دادند بالاترین میانگین تعداد دانه در سنبله متعلق به محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در انتهای پنجه‌زنی بود (جدول ۳). افزایش تعداد دانه در سنبله در اثر کاربرد شاخساره ای اسید سالیسیلیک توسط پژوهشگران متعددی گزارش شده است (شکیرووا، ۲۰۰۳؛ امین و همکاران، ۲۰۰۸). این پژوهشگران فرضیه نسبت تسهیم مواد پرورده به دانه را در پی کاربرد اسید سالیسیلیک تأیید کرده‌اند. این پژوهشگران معتقدند تسهیم مواد پرورده به رشد رویشی کمتر شده و سهم دانه‌ها از این مواد افزایش می‌یابد بنابراین، می‌توان دلیل افزایش تعداد دانه را نتیجه کاهش نسبت گلچه‌های عقیم قبل از پر شدن دانه دانست (امین و همکاران، ۲۰۰۸).

در هریک از تیمارهای آبیاری، بیشترین تعداد دانه در سنبله در اثر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در انتهای پنجه‌زنی اتفاق افتاد. محلول‌پاشی در این مرحله رشدی گیاه در تیمارهای بدون آبیاری، دو و چهار نوبت آبیاری به ترتیب ۲/۸، ۳/۵ و ۳/٦ درصد تعداد دانه در سنبله را نسبت به تیمار شاهد بدون محلول‌پاشی افزایش داد. بیشترین تعداد دانه در سنبله متعلق به تیمار محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در انتهای پنجه‌زنی تیمار چهار نوبت آبیاری با متوسط ۳۸/۷۷ عدد دانه در سنبله بود. تعداد دانه در سنبله در این تیمار نسبت به تیمار بدون محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در شرایط بدون آبیاری، ٦١/٥ درصد افزایش داشت (جدول ۳). تعداد دانه در سنبله نقش مستقیمی در عملکرد دانه دارد، لذا اثر جبران‌کنندگی تنظیم‌کننده‌های رشد بر کاهش تعداد دانه در سنبله تحت شرایط تنش خشکی می‌تواند موجب افزایش عملکرد در این شرایط گردد. این موضوع به معنای نقش حمایتی اسید سالیسیلیک از جو در برابر تنش خشکی می‌باشد. پژوهشگران نقش تعدیل‌کنندگی اسید سالیسیلیک بر کاهش تعداد دانه در اثر تنش خشکی را اثبات کرده‌اند (حیات و همکاران، ۲۰۰۹).

سطح ویژه برگ پرچم

نتایج حاصل از تجزیه واریانس حاکی از عدم تأثیر معنی‌دار اثر سال و اثرمتقابل آن با سایر عوامل موردبررسی بر سطح ویژه برگ پرچم بود (جدول ۲). در آزمایش حاضر، میانگین سطح ویژه برگ پرچم در هر دو سال آزمایش با افزایش دفعات آبیاری نسبت به شاهد بدون آبیاری افزایش یافت (جدول ۳). تغییر در ویژگی‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی برگ‌ها ازجمله تغییرات وزن و سطح برگ از عکس‌العمل‌های گیاه نسبت به خشکی و هورمون‌های گیاهی است، که این تغییرات بر میزان فتوسنتز و در نهایت بر عملکرد گیاه تأثیر می‌گذارد. علاوه بر این، تغییر ضخامت برگ و درجه گوشتی بودن آن از دیگر واکنش‌های برگ نسبت به مواجهه با خشکی است که با اندازه‌گیری شاخص سطح مخصوص برگ که برآوردی از

ضخامت برگ می‌باشد ارزیابی می‌شود (سواتی و همکاران، ۲۰۰۰).

بر اساس نظر پژوهشگران، کمبود آب، میزان جذب و ساخت مواد پرورده را در برگ به دلیل بسته شدن روزنه‌ها و افزایش تنفس، کاهش می‌دهد که درنتیجه آن، وزن برگ کاسته شده و از سویی دیگر، این کمبود منجر به کاهش سطح برگ و تشدید مسن شدن بافت شده که باز هم بر ساخت‌وساز آسیمیلات ها تأثیر منفی می‌گذارد (دای و همکارن، ۱۹۸۱). در هر دو سال آزمایش با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در کلیه مراحل رشد، میانگین سطح ویژه برگ پرچم افزایش یافت. با تأخیر در محلول‌پاشی توانایی گیاه در استفاده از اسید سالیسیلیک و تأثیر آن بر سطح ویژه برگ پرچم کاهش یافت (جدول ۳). در هریک از تیمارهای آبیاری، بیشترین سطح ویژه برگ پرچم متعلق به تیمار محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در انتهای پنجه‌زنی بود. سطح ویژه برگ پرچم در هر مرحله از محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک با افزایش دفعات آبیاری افزایش یافت. بیشترین سطح ویژه برگ پرچم از تیمار برهم‌کنش چهار مرحله آبیاری با محلول‌پاشی در انتهای پنجه‌زنی در هر دو سال موردبررسی به دست آمد (جدول ۳).

درواقع، سطح ویژه برگ، نسبت سطح بافت‌های فتوسنتز کننده را به وزن بافت‌های فتوسنتز کننده نشان می‌دهد. بنابراین با کاهش سطح ویژه برگ، کارایی برگ از لحاظ فتوسنتزی افزایش می‌یابد. زیرا هرچه سطح ویژه برگ کمتر شود، ضخامت برگ بیشتر، غلظت کلروپلاست و هم‌چنین کلروفیل و تراکم سلول‌های فتوسنتز کننده، افزایش می‌یابد و لذا کارایی نور بالا می‌رود. بنابراین، بهترین کارایی در محلول‌پاشی در انتهای ظهور برگ پرچم مشاهده شد، چون در این غلظت، سطح ویژه برگ کاهش یافته است. با توجه به اینکه یکی از اثرات کم آبیاری در گیاه جلوگیری از جذب آب و ایجاد تنش خشکی است به همین دلیل پتانسیل آب لازم جهت آماس سلول‌ها و توسعه برگ وجود نخواهد داشت.

جدول ۲- خلاصه نتایج تجزیه واریانس مرکب شاخص‌های موردبررسی تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		عملکرد دانه	عملکرد زیستی	شاخص برداشت	تعداد دانه در سنبله	سطح ویژه برگ پرچم
آزمون بارتلت		ns	ns	ns	ns	ns
سال	۱	۸۹۵۷۲۶۰/۰۰ ns	۱۷۷۶۰/۶۰ ns	۷۳۵/۸۶ ns	۹۱/۰۰ ns	٤٧٦/١٥ ns
تکرار (سال)	٤	۱۹۷/۳۰**	٤٥/١٦**	۰/۲۲**	۰/۲۱**	۰/۰٤**
آبیاری	۲	٤٥٢٥٥٤٢٢٨٠/٧٠**	۱۰۹۸۵۸٦۸/۰۰**	۱۹۵٤۷/۰۱**	۳۷۹٦/۵۳**	۲۷۱۸۰/۹۷**
سال × آبیاری	۲	۷۱۵٦۲۲/۳۰ ns	۲۸۷۹۷/۲۳ ns	۵٤۸/٤۲ ns	۹/۵۷ ns	۳۹/٤٦ ns
خطا آبیاری	۸	٦۹۹/٤۰	٤۳/٦٤	۰/۲۲	۰/۲۱	۰/۲۰
اسید سالیسیلیک	۳	۳۱۸۰۱٦۷/۰۰**	۱۲۲۳۸٦/۸۰**	۵۸/۵۵**	۱٦۱/۲۸**	۱٦۸٤/۱٤**
سال× اسید سالیسیلیک	۳	٤۰۱٤۱۵/۳۰ ns	۲٤۹٦/۸٤ ns	٦۳/۹۰ ns	٤/۷۱ ns	۳۰/۷۰ns
آبیاری× اسید سالیسیلیک	٦	۱۰٦۸۳۰۳/۰۰**	۳۰٤٥٤/٥٤**	۱۳/۳۹**	۲۹/٦۷**	۹٤۲/۸۰**
سال ×آبیاری× اسید سالیسیلیک	٦	۱۵۱۲۰۹/۳۰**	۲۰۹۷/۰۰**	۱۷/۲٤**	٦/۲۵**	۲/۵٤**
خطاکل	۳٦	۳۰۷/۷۰	۵۷/۱٤	۰/۲۹	۰/۱٦	۰/۱۱
CV%		۱۳/۱۰	۱۲/۷۰	۱۰/۳۰	۱۲/۲۰	۱۱/۱۰

ns: غیر معنی‌دار **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل آبیاری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر شاخص‌های موردبررسی پس از برش دهی در سال

آبیاری	هورمون	عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد زیستی (کیلوگرم در هکتار)	شاخص برداشت (درصد)	تعداد دانه در سنبله	سطح ویژه برگ پرچم (سانتی‌مترمربع بر گرم)
			سال اول			
بدون آبیاری	شاهد	۵۵۵۰ k	۴۸۲/۳۳ g	۲۰/۹۴ d	۲۲/۴۷ f	۸۱/۴۵ k
	انتهای پنجه‌زنی	۶۰۹۰ i	۴۹۱/۶۷ g	۲۱/۷۶ d	۲۳ e	۸۴/۴۸ h
	مرحله ظهور ۵۰٪ ساقه	۶۰۲۱ j	۴۸۲/۳۳ g	۲۱/۷ d	۲۲/۴ f	۸۳/۳۹ i
	انتهای ظهور برگ پرچم	۵۶۵۰ k	۴۸۱ g	۲۱/۲۱ d	۲۲/۰۷ f	۸۲/۲۹ j
دو مرحله آبیاری	شاهد	۴۵۵۰ h	۱۰۷۵ f	۴۳/۸۹ c	۳۴/۲ d	۱۰۲/۷۲ g
	انتهای پنجه‌زنی	۵۰۶۰ e	۱۱۲۱/۶۷ e	۴۵/۰۸ bc	۳۵/۲۷ c	۱۰۵/۵۳ e
	مرحله ظهور ۵۰٪ ساقه	۴۹۷۳ f	۱۰۸۳/۶۷ f	۴۵/۸۶ b	۳۵ c	۱۰۳/۲۶ f
	انتهای ظهور برگ پرچم	۴۷۳۲ g	۱۰۶۷/۳۳ f	۴۴/۳۱ c	۳۴/۵۳ d	۱۰۳ fg
چهار مرحله آبیاری	شاهد	۱۰۱۴/۶۷ d	۱۲۰۸/۳۳ d	۴۵/۹ b	۳۶/۱۳ b	۱۱۶/۳۸ c
	انتهای پنجه‌زنی	۱۰۷۶/۳۳ a	۱۲۸۲ a	۴۷/۴۷ a	۳۷/۱۳ a	۱۲۱/۳۷ a
	مرحله ظهور ۵۰٪ ساقه	۱۰۵۰ b	۱۲۵۵/۳۳ b	۴۷/۹ a	۳۷ a	۱۱۸/۲۳ b
	انتهای ظهور برگ پرچم	۱۰۲۴/۶۷ c	۱۲۳۰ c	۴۵/۸۸ b	۳۶/۳۳ b	۱۱۵/۶۳ d
			سال دوم			
بدون آبیاری	شاهد	۵۰۸/۳۳ k	۴۶۲/۳۳ b	۱۰/۹ d	۲۱/۴ h	۷۹/۴۵ k
	انتهای پنجه‌زنی	۵۴۰/۳۳ i	۴۷۰/۳۳ a	۱۱/۳۳ d	۲۱/۸۷ g	۸۰/۷۲ i
	مرحله ظهور ۵۰٪ ساقه	۵۲۹ ij	۴۶۵ a	۱۱/۳۲ d	۲۱/۸ g	۷۹/۹۲ j
	انتهای ظهور برگ پرچم	۵۱۳/۳۳ jk	۴۶۱/۳۳ ab	۱۱/۰۵ d	۲۱/۶ gh	۷۹/۰۶ k
دو مرحله آبیاری	شاهد	۳۷۶۶ h	۹۷۸/۳۳ c	۴۰/۱۲ c	۳۲/۲ f	۹۶/۵۱ h
	انتهای پنجه‌زنی	۴۲۵۵ e	۱۰۴۷/۶۷ c	۴۰/۶۳ c	۳۳/۸ d	۱۰۰/۲۳ e
	مرحله ظهور ۵۰٪ ساقه	۴۱۴۰ f	۱۰۲۵/۳۳ c	۴۰/۳۷ c	۳۳/۵۳ de	۹۹/۲۵ f
	انتهای ظهور برگ پرچم	۴۰۰۰/۷ g	۱۰۰۵/۶۷ c	۳۹/۷ c	۳۳/۳۳ e	۹۷/۲۶ g
چهار مرحله آبیاری	شاهد	۵۱۶۰ d	۱۱۶۶ d	۴۴/۲۳ b	۳۵/۲ c	۱۱۱/۷۷ d
	انتهای پنجه‌زنی	۵۷۴۸ a	۱۲۴۸ d	۴۶/۰۲ a	۳۶/۶۳ a	۱۱۷/۳۸ a
	مرحله ظهور ۵۰٪ ساقه	۵۵۵۷ b	۱۲۰۳/۳۳ d	۴۶/۱۵ a	۳۶/۴ a	۱۱۳/۲۹ b
	انتهای ظهور برگ پرچم	۵۴۲۰ c	۱۱۹۵/۶۷ d	۴۵/۳ ab	۳۵/۸ b	۱۱۲/۵۷ c

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌دار آماری ندارند (دانکن ۵٪)

شاخص کلروفیل برگ

تغییرات سال بر شاخص کلروفیل برگ معنی‌دار نبود. شاخص کلروفیل برگ هم‌چنین تحت تأثیر اثرمتقابل سال با سایر عوامل موردبررسی قرار نگرفت. اثر ساده تیمارهای آبیاری و اسید سالیسیلیک بر شاخص کلروفیل برگ در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ٤). متوسط شاخص کلروفیل برگ با افزایش دفعات آبیاری افزایش یافت.

با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک، متوسط شاخص کلروفیل برگ افزایش یافت. نتایج نشان دادند که با تأخیر در محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بعد از مرحله پنجه‌زنی، کارایی اسید سالیسیلیک در افزایش شاخص کلروفیل برگ کاهش یافته است. احتمالاً این

کاهش به دلیل ضخیم‌تر شدن کوتیکول برگ و کاهش جذب اسید سالیسیلیک در گیاه بوده است (امین و همکاران، ۲۰۰۸). شاخص کلروفیل برگ در هر تیمار تنش با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک افزایش یافت. در هر یک از تیمارهای تنش، محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک در انتهای پنجه‌زنی باعث بیشترین سطح شاخص کلروفیل برگ در گیاه شد. این میزان افزایش نسبت به شاهد بدون محلول‌پاشی در تیمارهای بدون آبیاری، دو و چهار نوبت آبیاری به ترتیب ٤/٧، ٤ و ٤/٤ درصد بود. بیشترین میزان شاخص کلروفیل برگ با متوسط ۵۵/۱۲ واحد متعلق به اثر متقابل تیمارهای چهار نوبت آبیاری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در انتهای پنجه‌زنی بود (شکل ۱).

کلروفیل برگ از مهم‌ترین شاخص‌های نشان‌دهنده فشار محیطی وارد بر گیاه ازجمله تنش خشکی می‌باشد. هم‌چنین غلظت کلروفیل به‌عنوان یک شاخص برای ارزیابی قدرت منبع شناخته می‌شود، زیرا غلظت کلروفیل برگ‌ها یکی از عوامل کلیدی در تعیین سرعت فتوسنتز و تولید ماده خشک می‌باشد (قوش و همکاران، ۲۰۰٤) و کاهش آن در شرایط تنش خشکی می‌تواند به‌عنوان یک عامل محدودکننده غیر روزنه‌ای در فتوسنتز به‌حساب آید. کاهش کلروفیل برگ در آزمایش حاضر هم سو با نتایج دیگران در رابطه با کاهش کلروفیل برگ در اثر تنش خشکی بود (برودان و اگلی،۲۰۰۳). احتمالاً علت کاهش شاخص کلروفیل در اثر تنش، به خاطر رادیکال‌های آزاد ایجاد شده در طی تنش خشکی می‌باشد که موجب از بین رفتن کلروفیل می‌شوند (سیلوا و همکاران، ۲۰۰۷).

کلروفیل a و b

بررسی میزان کلروفیل a و b نشان‌دهنده اثر معنی‌دار عوامل موردبررسی بر این دو شاخص بود. بیشترین میانگین میزان کلروفیل a از تیمارهای دو و چهار نوبت آبیاری به دست آمد. با افزایش سطح تنش حاصل از کاهش دفعات آبیاری میانگین این شاخص کاهش یافت. روند تغییرات کلروفیل b نیز نشان‌دهنده تأثیر کاهنده تنش خشکی بر این شاخص بود.

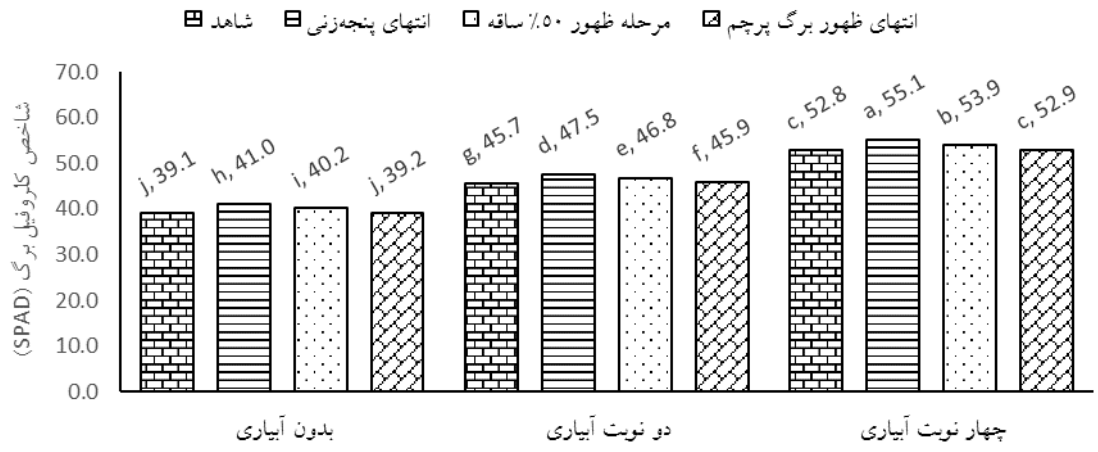
جدول ٤- خلاصه نتایج تجزیه واریانس مرکب برخی شاخص‌های بیوشیمیایی تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		شاخص کلروفیل برگ	کلروفیل a	کلروفیل b	پرولین
آزمون بارتلت		ns	ns	ns	ns
سال	۱	۱۲۱۹/۱۸^{ns}	۰/۱۲ ^{ns}	۰/۰٤^{ns}	۲/۲۷^{ns}
تکرار (سال)	٤	۰/۲۱^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۱^{ns}
آبیاری	۲	۹۹٦۰/۵۹**	۳/۷۵**	۱/۸۵**	۷۱۳/۲۷**
سال × آبیاری	۲	٤٦۸/۰۱^{ns}	۰/۲۰^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۰/٤٤^{ns}
خطا آبیاری	۸	۰/۱۹	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
اسید سالیسیلیک	۳	۱۳۵/۵۳**	۰/٤۵**	۰/۰۲**	۲۵۲/۹۳**
سال× اسید سالیسیلیک	۳	۱/٤۸^{ns}	۰/۰۳^{ns}	۰/۰۰^{ns}	۰/۲٤^{ns}
آبیاری× اسید سالیسیلیک	٦	۲۱/۲۰**	۰/۱۰**	۰/۱۱**	۵۸/۰۵**
سال × آبیاری×اسید سالیسیلیک	٦	۲/٦۹^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۰/۳۰^{ns}
خطا کل	۳٦	۰/۰۹	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
CV%		۸/۵۰	۷/۹۲	۵/٦۲	٦/۷۳

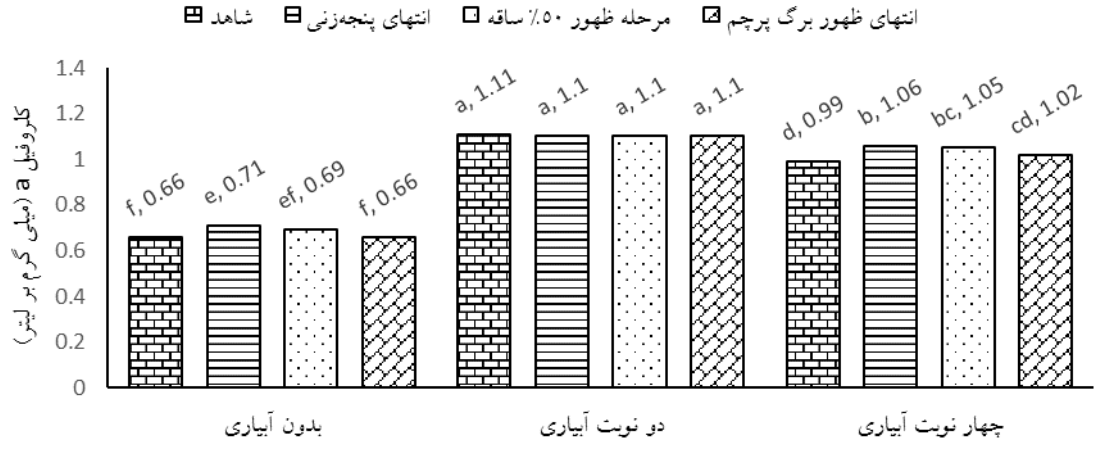
ns: غیر معنی‌دار **: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

بیشترین میانگین غلظت کلروفیل a و b متعلق به تیمار محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در انتهای پنجه‌زنی بود. در هریک از تیمارهای آبیاری، محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک، افزایش کلروفیل‌های a و b را به همراه داشت. بیشترین غلظت کلروفیل a از تیمارهای محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در کلیه مراحل رشدی با چهار نوبت آبیاری به دست آمد. در تیمارهای بدون آبیاری و دو نوبت آبیاری، محلول‌پاشی در مرحله انتهای پنجه‌زنی و ظهور ۵۰ درصد ساقه بیشترین میزان کلروفیل a را تولید کرد. محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک، در مراحل مختلف رشد، غلظت کلروفیل b را در تیمارهای بدون آبیاری، دو و چهار نوبت آبیاری، نسبت به شاهد بدون محلول‌پاشی تغییر معنی‌داری نداد که نشان‌دهنده کارایی بالاتر اسید سالیسیلیک در

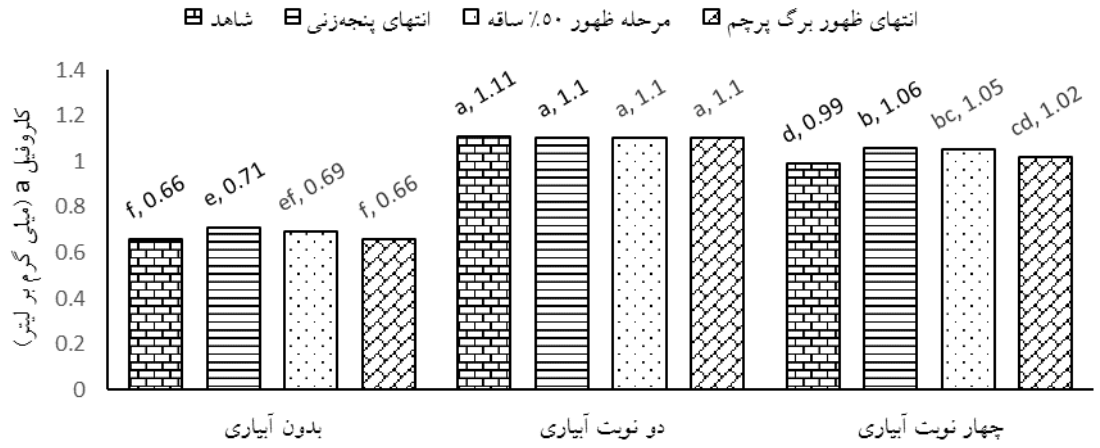
شرایط تنش بر کلروفیل a بوده است (شکل ۲ و ۳). میزان کلروفیل در گیاهان زنده یکی از فاکتورهای مهم حفظ ظرفیت فتوسنتزی است (گاسنگنوا و همکاران،۲۰۰۶). به نظر می‌رسد کاهش میزان کلروفیل تحت تنش خشکی به علت افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن باشد که این رادیکال‌های آزاد باعث پراکسیداسیون و درنتیجه تجزیه این رنگریزه می‌گردد (شریفی و مورفا، ۲۰۱۵). هم‌چنین، کاهش کارایی استفاده از کربن و افزایش تولید اتانول و لاکتات در اثر تنش خشکی، موجب کاهش سنتز کاروتنوئیدها و کلروفیل‌ها می‌شود و کاهش مقادیر کلروفیل a و b تحت تأثیر تنش خشکی در برخی از گونه‌های گیاهی گزارش شده است (ژیائو و همکاران، ۲۰۰۸؛ گائوتام و همکاران، ۲۰۱۱). اثر مثبت اسید سالیسیلیک در افزایش محتوای کلروفیل a در جو (ال طیب، ۲۰۰۵) و گندم (پیراسته انوشه و همکاران، ۲۰۱۲) گزارش شده است. این اثر می‌تواند به نقش اسید سالیسیلیک در افزایش سبزمانی گیاه و جلوگیری از تخریب کلروپلاست‌ها (پیراسته انوشه و همکاران، ۲۰۱۲) نسبت داده شود.



شکل ۱- تأثیر اثرات متقابل آبیاری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر شاخص کلروفیل برگ (SPAD)



شکل ۲- تأثیر اثرات متقابل آبیاری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر کلروفیل a

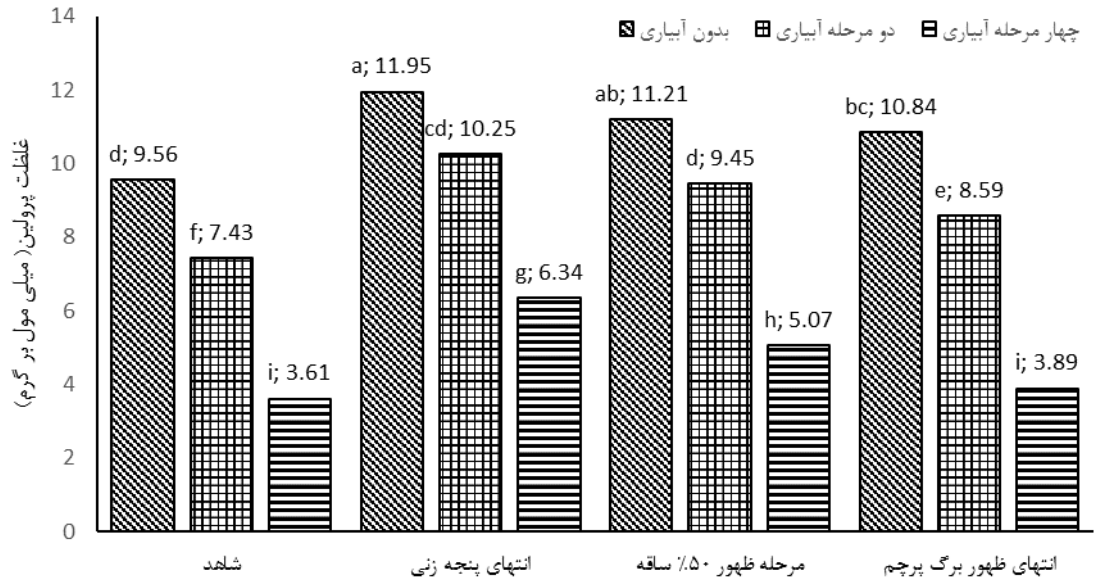


شکل ۳- تأثیر اثرات متقابل آبیاری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر کلروفیل b

پرولین

نتایج نشان دادند که محتوای پرولین تحت تأثیر معنی‌دار دفعات آبیاری، اسید سالیسیلیک و اثر متقابل آن‌ها در سطح ۱ درصد قرار گرفت (جدول ٤). نتایج نشان دادند با افزایش سطح تنش و کاهش تعداد نوبت آبیاری، غلظت پرولین افزایش یافت (شکل ٤). ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاهان و تغییر آن‌ها در شرایط تنش، اهمیت زیادی در تحمل به تنش‌های محیطی مانند خشکی دارند و ازاین‌رو توجه به این ویژگی‌ها در مطالعه میزان تحمل به خشکی اهمیت زیادی دارد. ازجمله می‌توان به نقش مؤثر پرولین در تنظیم اسمزی گیاه و جلوگیری از تخریب کلروفیل برگ و دوام فتوسنتز تحت شرایط تنش اشاره کرد (فاروق و همکاران، ۲۰۰۹؛ میلر و همکاران، ۲۰۰۵).

بررسی‌ها نشان دادند افزایش غلظت پرولین در تنش خشکی ممکن است نشان دهنده نقش احتمالی این اسیدآمینه در تنظیم اسمزی باشد (کاویکی شور و همکاران، ۲۰۰۵). محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در کلیه مراحل رشد باعث افزایش میانگین غلظت پرولین نسبت به شاهد بدون محلول‌پاشی شد افزایش میزان پرولین با مصرف اسید سالیسیلیک در هنگام رویارویی با تنش‌های محیطی در گیاهان گوجه‌فرنگی (حیات و همکاران، ۲۰۰۸) و گندم (شکیروا و همکاران، ۲۰۰۳) نیز گزارش شده است. عمل محافظتی اسید سالیسیلیک در مقابل تنش‌های زیستی و غیر زیستی به‌احتمال‌زیاد به توان تحریک‌کنندگی این ماده در بیان ژن ایجاد تحمل در برابر این تنش‌ها و نقش آن در تنظیم آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گونه‌های اکسیژن فعال نسبت داده شده است (شی و ژو، ۲۰۰۹). هم‌چنین، این ماده به‌عنوان یک پیغام‌رسان در ایجاد تحمل در مقابل تنش‌های محیطی نقش دارد (شکیروا و همکاران،۲۰۰۳). اثر متقابل آبیاری و اسید سالیسیلیک نیز نشان داد که در کلیه تیمارهای اسید سالیسیلیک با افزایش شدت تنش خشکی، غلظت پرولین گیاه به‌طور معناداری افزایش نشان داد. کمترین و بیشترین میزان این شاخص برای کلیه سطوح اسید سالیسیلیک به ترتیب در چهار نوبت آبیاری و شاهد بدون آبیاری حاصل شد. محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در تمامی تیمارهای آبیاری باعث بهبود معنادار غلظت پرولین نسبت به تیمار بدون محلول‌پاشی شد. در کلیه تیمارهای آبیاری، محلول‌پاشی در انتهای پنجه‌زنی به‌طور معنی‌داری باعث افزایش میزان پرولین نسبت به سایر تیمارهای محلول‌پاشی شد. کمترین میزان غلظت پرولین در تمامی شرایط آبیاری برای تیمار عدم محلول‌پاشی به دست آمد. بیشترین میزان این صفت در شرایط آبیاری در چهار نوبت و محلول‌پاشی در انتهای پنجه‌زنی به دست آمد (۱۱/۹۵ میلی مول بر گرم ماده تر گیاه) (شکل ٤).



شکل ٤- تأثیر برهمکنش زمان‌های مختلف محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و تنش خشکی بر غلظت پرولین
میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌دار آماری ندارند (دانکن ۵٪)

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی با توجه با نتایج به‌دست‌آمده به نظر می‌رسد استفاده از تیمار محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بتواند با افزایش در شاخص‌های رشدی و از طریق تأثیر بر ویژگی‌های بیوشیمیایی جو رقم نصرت سبب بهبود تحمل این گیاه در برابر تنش خشکی و کاهش عوارض ناشی از آن شود. در این بررسی بهترین زمان مصرف اسید سالیسیلیک در انتهای پنجه‌زنی گیاه تشخیص داده شد که می‌تواند در شرایط اقلیمی و آب‌وخاک مشابه، کاربرد آن در جو توصیه شود.

منابع

احمدی، ک.، ح. عبادزاده، ف. حاتمی، ش. محمد نیا افروزی، ع. اسفندیاری پور و ر. عباسطاقانی. ۱٤۰۰. آمارنامه کشاورزی سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ جلد اول: محصولات زراعی. وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصاد، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات. ۹۷ صفحه.

براتی، و. و ح. غدیری. ۱۳۹۵. اثرات تنش خشکی و کود نیتروژن بر عملکرد، اجزاء عملکرد و محتوای پروتئین دانه دو رقم جو. نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. سال ششم، ۲۰: ۲۰٦-۱۹۱.

جیریایی، م.، ن. ساجدی، ح. مدنی و م. شیخی. ۱۳۸۸. اثر تنظیم‌کننده‌های رشد و تنش کم‌آبی بر خصوصیات زراعی گندم رقم شهریار. یافته‌های نوین کشاورزی. ٤: ۳٤۳-۳۳۳.

دبیرخانه شورای گفت‌وگوی دولت و بخش خصوصی و اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی ایران ۱۳۹۹. گزارش نهاده‌های دامی هم‌افزایی ۳۰ صفحه.

شعاع، م. و ح. ر. میری. ۱۳۹۱. کاهش اثرات سوء تنش شوری بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیک گندم از طریق کاربرد اسید سالیسیلیک. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی جلد پنجم، شماره اول، ۸۸ - ۷۱.

فهمیده، ل.، ا. مزارعی، ش. مددی و پ. پهلوان. ۱٤۰۰. مقایسه بین رنگیزه های فتوسنتزی، تنظیم‌کننده‌های اسمزی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی ارقام نیمروز و نومار جو بومی منطقه سیستان تحت تنش خشکی. پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی. ۳۷ :۵۱-٦۲.

کشاورز، ع.، ب. فکاری سردهایی، ا. بیکی، ع. خسروی، م. فارسی و ع. ملکیان نژندعلی. ۱۳۹۹. چالش‌های بخش کشاورزی کشور. مرکز ملی مطالعات راهبردی کشاورزی و آب. ٤٤ صفحه.

Amin, A.A., S. Li, M. Rashad, M. Fatma and A. E. Gharib. 2008. Changes in morphological, physiological and reproductive characters of wheat plants as affected by foliar application with salicylic acid and ascorbic acid. Aust. J. Basic Appl. Sci. 2: 252-261.

Arnon, I. 1972. Crop Production in Dry Regions. Wheat. Vol., 2. Leonard Hill London.

Badr, A., K. Muller, R. Schafer-pregl, EL. H. Rabey, S. Effgen, H. H. Ibrahim, C. Pozzi, W. Rohde and F. Salamini. 2000. On the Origin and Domestication History of Barley (Hordeum vulgare). Mol. Biol. Evol. 17(4):499–510.

Bates, L. S., R. P. Waldern and I. D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for waterstress studies. Plant Soil. 39: 205-207.

Bray, E.A. 1997. Plant responses to water deficit. Trends in Plant Science, 2, 48-54 .

Brevedan, R. E. and D. B. Egli. 2003. Short periods of water stress during seed filling, leaf senescence, and yield of soybean. Crop Science. 43: 2083- 2088.

Day, W., D. W. Lalar and B. J. Legg. 1981. The effects of drought on barley soil and plant water relation, Journal of Agricultural Science Cambridge. 96: 61-77.

Dubey, A., A. Kumar, M. Ahmad Malla, K. Chowdhary, G. Singh, G. Ravikanth, S. Sharma, Z. S. E. Menendez and J. F. Dames. 2021. Approaches for the amelioration of adverse effects of drought stress on crop plants. Frontiers in Bioscience-Landmark.26(10): 928-947.

El-Tayeb, M. A. 2005. Response of barley grains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. Plant Growth Regul. 45: 215–224.

Farooq, M., A. Wahid, N. Kobayashi, D. Fujita and S. M. A. Basra. 2009. Plant drought stress: effect, mechanisms and management. Agronomy for Sustainable Development.29: 185-212.

Frimpong, F., M. Anokye, C.W. Windt, A. A. Naz, M. Frei, D. V. Dusschoten and F. Fiorani. 2021. Proline-mediated drought tolerance in the barley (hordeum vulgare l.) isogenic line is associated with lateral root growth at the early seedling Stage. Plants. 1-21.

Garcia del Moral, L. F., Y. Rharrabit, D. Villegas and C. Royo. 2003. Evaluation of grain yield and its components in durum wheat under Mediterranean condition, Agron. J. 65:266-274.

Gautam, P.P., A. K. Fritz, M. B. K. Kirkham and B. Gill. 2011. Response of aegilops species to drought stress during reproductive stages of development. Fundamental for Life. Soil, Crop and Environmental Sciences. International Annual Meetings. Pp: 16-19.

Ghaderi, N., S. Normohammadi and T. Javadi. 2015. Morpho-physiological responses of strawberry (Fragaria ananassa) to exogenous salicylic acid application under drought stress. J. Agr. Sci. Tech. Vol. 17: 167-178.

Ghosh, P.K., K. K. Ajay, M. C. Bandyopadhyay, K. G. Manna, A. K. Mandal and K.M. Hati.2004. Comprative effectiveness of cattle manure, poultry manure, phosphocompost and fertilizer- NPK on three cropping system in vertisols of semi-arid tropics. Dry matter yield, nodulation, chlorophyll content and enzyme activity. Bioresource Technology. 95: 85-93.

Gusegnova, I. M., S. Y. Suleymanov and J. A. Aliyev. 2006. Protein composition and native state of pigments of thylakoid membrane of Wheat genotypes differently tolerant to water stress. Journal of Biochemistry Research. 71: 223-228.

Hashemi, S. E., Y. Emam and H. Pirasteh-Anosheh. 2015. The effect of time and type of salicylic acid application on growth trend, yield and yield components of barley (Hordeum vulgare L.) under salinity stress conditions. Crop Physiol. J. 24: 5-18.

Hayat S., S. A. Hasan, Q. Fariduddin and A. Ahmad. 2008. Growth of tomato (Lycopersicom esculentum) in response to salicylic acid under water stress. Journal of Plant International. 3(4):297–304.

Hayat, Q., S. Hayat, M. Irfan and A. Ahmad. 2009. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. Environ. Exp. Bot. 134: 1-12.

Hayat, Q., S. H. Hayata, M. Irfan and A. Ahmad. 2010. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment review. Environmental and Experimental Botany 68: 14-25.

Kavikishore, P. B., S. Sangam, R. N. Amrutha, P. Srilaxmi, K. R. Naidu, K. P. Rao, S. Rao, K. J. Reddy, P. Theriappan and N. Sreenivasulu. 2005. Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants: its implications in plant growth and abiotic stress tolerance. Current Science. 88: 424-438.

Malaga, S., A. Janeczko and F. Janowiak. 2020. In volvement of homocastasterone, salicylic and abscisic acids in the regulation of drought and freezing tolerance in doubled haploid lines of winter barley. Plant Growth Regul. 90: 173–188.

Miller, G., H. Stein, A. Honig, Y. Kapulnik and A. Zilberstein. 2005. Responsive modes of Medicago sativa proline dehydrogenase genes during salt stress and recovery dictate free proline accumulation. Planta 222: 70-79.

Pierre, C. S., J. Petersona, A. Rossa, J. Ohma, M. Verhoerena, M. Larsona and B. Hoefera. 2008. White wheat grain quality changes with genotype, nitrogen fertilization, and water stress. J. Agron Sci. 100: 414-420.

Pirasteh-Anosheh, H., Y. Emam, M. Ashraf and M. R. Foolad. 2012. Exogenous application of salicylic acid and chlormequat chloride alleviates negative effects of drought stress in wheat. Adv. Stud. Biol. 11: 501-520.

Pirasteh-Anosheh, H., Y. Emam and A. R. Sepaskhah. 2015. Improving barley yield by proper foliar applied salicylic-acid under saline conditions. International Journal of Plant Production. 9 (3): 467-486.

Ren, D., X. Xu, Y. Hao. and G. Huang. 2016. Modeling and assessing field irrigation water use in a canal system of Hetao, upper Yellow River basin: application to maize, sunflower and watermelon. Journal of Hydrology. 532: 122-139.

Roostaee, M., D. Sadeghzadehahari, E. Zadhasan and Y. Arshad. 2003. Study of relationship of wheat grain yield-affecting traits by factor analysis under rain-fed conditions. Journal of Agricultural Science. 13(1), 1-10.

Shakirova, F. M., and M. V. Bezrukova. 1997. Induction of wheat resistance against environmental salinization by salicylic acid. Biology Bulletin. 24: 109-112.

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. Plant Sci. 164: 317–322.

Sharifa, S and A. Muriefah. 2015. Effects of paclobutrazol on growth and physiological attributes of Soybean (Glycine max) plants grown under water stress conditions. International Journal of Advanced Research in Biological Sciences, 2: 81-93.

Shi, Q and Z. Zhu. 2009. Effects of exogenous salicylic acid on manganese toxicity, element contents and antioxidative system in cucumber. Environmental and Experimental Botany.63: 317-326.

Silva, M. D. A., J. L. Jifon, J. A. G. Da. Silva and V. Sharma. 2007. Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. Plant Physiology.19: 193-201.

Swati, Z. A., M. Imtiaz, S. Ali and A. Raziuddin. 2000. Potential and relative leaf water content in wheat, Pakistan Journal of Bilogical Science. 3(1): 89-90.

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.

Xiao, X., X. Xu and F. Yang. 2008. Adaptive responses to progressive drought stress in two Populus cothayana populations. Silva Fennica. 42: 705-719.

Zulfiqar, F., J. Chen, P. M. Finnegan, A. Younis, M. Nafees, W. Zorrig and K. B. Hamed. 2021. Application of trehalose and salicylic acid mitigates drought stress in sweet basil and improves plant growth. plants. 10, 1078. 1-14

Effect of salicylic acid application times on biochemical, agronomic and yield characteristics of barley (*Hordeum vulgare L.*) in different humidity regimes

M. Shoaa[۱], F. Mohajeri[۲], M.R Owji [۳], A. Bagheri[۴]

Received: 2022-07-12 Accepted: 2022-11-08

Abstract

In order to investigate the effects of the time of external application of salicylic acid hormone on the morphological and physiological characteristics and yield of barley (Nosrat cultivar) under drought stress conditions, a split plot experiment in the form of randomized complete block design in 3 replications during two cropping years 2019-2020 and 2020-2021was done in Neyriz city.The main factor was different irrigation regimes (without irrigation, two and four times of irrigation) and the sub factor was salicylic acid foliar spraying times (without foliar spraying, the end of tillering, the appearance of 50% of the stem and the end of flag leaf appearance). The results showed that the treatment without irrigation caused a significant decrease in the leaf chlorophyll index and chlorophylls a and b compared to the treatment with four times of irrigation. Treatment without irrigation also caused a significant decrease in grain yield compared to other irrigation treatments. Foliar spraying in all stages of growth increased the grain yield on average compared to the treatment without foliar spraying. In both years of the experiment, the highest increase in yield compared to the control was obtained from the foliar treatment at the end of tillering with two irrigations (11.21% and 13% in the first and second years of the experiment, respectively). Foliar spraying in this growth stage in treatments without irrigation and four times of irrigation increased the yield by 6.08 and 9.73% in the first year and 6.3 and 11.4% in the second year compared to the treatment without foliar spraying. Salicylic acid foliar application increased proline concentration compared to the control without foliar application. The highest concentration of proline in the foliar treatment was at the end of tillering. Proline concentration increased with decreasing irrigation frequency. Overall, the results of this study showed that the application of salicylic acid at the end of tillering is effective in reducing the effects of drought stress by affecting the biochemical characteristics, and its use in the atmosphere is recommended under similar soil and water conditions.

Keywords: Proline, Drought stress, Chlorophyl, Plant hormones.

۱- PhD student, Department of Agriculture, Islamic Azad University, Fasa Branch, Fasa, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Agriculture, Islamic Azad University, Fasa Branch, Fasa, Iran.
3- Assistant Professor, Department of Agriculture, Islamic Azad University, Fasa Branch, Fasa, Iran.
4- Assistant Professor, Department of Agriculture, Islamic Azad University, Eghlid Branch, Eghlid, Iran.