به‌زراعی کشاورزی
دوره ۱۷ ■ شماره ۲ ■ تابستان ۱۳۹۴
صفحه‌های ۵۱۶-۵۰۳

اثر تنش خشکی و اسید سالیسیلیک بر عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.)

علی سپهری[1]*، رویا عباسی[2] و افشین کرمی[2]

۱. استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
۲. کارشناس ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۳/۰۵/۲۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۰۹/۲۱

چکیده

به‌منظور بررسی اثر اسید سالیسیلیک بر عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های لوبیا قرمز در شرایط تنش خشکی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل اسپلیت پلات با سه تکرار در مزرعهٔ پژوهشی دانشگاه بوعلی سینا (همدان)، در سال زراعی ۱۳۸۸ انجام گرفت. در کرت اصلی، سطوح تنش خشکی (تنش در مرحلهٔ رویشی، تنش در مرحلهٔ زایشی و بدون تنش) و ژنوتیپ (رقم 'اختر'، لاین 'D81083' و لاین 'KS31169') به‌صورت فاکتوریل قرار گرفت و محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک (غلظت‌های صفر، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار) در کرت-های فرعی درنظر گرفته شد. تیمارهای مورد بررسی اثر معناداری بر تعداد، ارتفاع، ساقهٔ فرعی، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن صددانه، عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه و شاخص برداشت لوبیا قرمز داشت. اعمال تنش رویشی و زایشی سبب کاهش معنادار عملکرد دانه شد. مصرف اسید سالیسیلیک موجب بهبود رشد و عملکرد لوبیا شد، به‌طوری که در لاین 'D81083' محلول‌پاشی سبب افزایش عملکرد دانه به میزان ۱۷/۲ درصد در تنش رویشی و ۱۶/۸ درصد در تنش زایشی شد. چنین روندی در عملکرد بیولوژیکی هم مشاهده شد. به‌طور کلی، در بین سه واریته لاین 'D81083' و رقم 'اختر' عملکرد دانه و شاخص برداشت بیشتری نسبت به لاین 'KS31169' در تیمارهای مختلف تنش خشکی داشتند. محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک افزون‌بر بهبود رشد و عملکرد در شرایط بدون تنش، به‌منظور تعدیل تنش خشکی به‌خصوص در مراحل رویشی رشد گیاه توصیه می‌شود.

کلیدواژه‌ها: عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، لوبیا قرمز، واریته.

* نویسنده مسئول Email: Sepehri110@yahoo.com

۱. مقدمه

مسئلهٔ کمبود مواد غذایی در کشورهای در حال توسعه از اهمیت خاصی برخوردار است. در اکثر کشورهایی که با کمبود مواد غذایی روبه‌رو هستند، کمیت و کیفیت پروتئین مسئلهٔ اساسی تغذیه است [۷]. در بین مشکلات مختلف فیزیولوژیکی محدودکنندهٔ تولید لوبیا در کشورهای در حال توسعه، تنش خشکی اهمیت ویژه‌ای دارد. حدود ۶۰ درصد مناطق تولید لوبیا در معرض تنش خشکی قرار دارند [۳۱]. به‌طور معمول تنش خشکی در مزرعه به‌خصوص در مناطق تولید لوبیا، همراه با دما و نور زیاد که تشدیدکنندهٔ کمبود آب هستند، اتفاق می‌افتد و موجب بسته شدن زودتر روزنه‌ها و کاهش توانایی برای جذب در گیاه می‌شود. تنش خشکی رشدونمو سلول‌های گیاه را کاهش می‌دهد و سبب کاهش بیوماس گیاهی می‌شود [۱۰]. همچنین تغییرات متابولیکی گیاه، کاهش و مهار فعالیت آنزیم‌ها، عدم تعادل یونی و اختلال در تجمع یونی از دیگر آثار نامطوب تنش خشکی است [۲۰ ، ۱۵]. به گزارش پژوهشگران، تنش رطوبتی تأثیرات بسیار نامطلوبی بر عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا می‌گذارد [۲۵ ، ۵]. از سوی دیگر، ترکیبات زیادی برای به حداقل رساندن آثار سوء تنش کمبود آب در گیاهان زراعی استفاده شده است.

مواد ضدتعرق موادی‌اند که در کاهش آثار سوء تنش خشکی نقش بسزایی دارند. یکی از این ترکیبات اسید سالیسیلیک است. اسید سالیسیلیک یا اورتو هیدروکسی بنزوئیک اسید و ترکیبات مشابه، به گروهی از ترکیبات فنولی تعلق دارند که مواد شبه‌هورمونی محسوب می‌شوند و عامل مهمی در تنظیم رشد گیاهی‌اند [۱۲]. اسید سالیسیلیک از جمله مواد تنظیم‌کنندهٔ رشد است که در گیاه تولید می‌شود. افزایش محتوای کلروفیل به‌دنبال کاربرد خارجی اسید سالیسیلیک در بسیاری از گیاهان از جمله ذرت، کلزا، گندم و جو گزارش شد [۱۸ ، ۱۶]. افزایش در گیرنده‌های فتوسنتزی به‌خصوص در شرایط تنش به‌همراه افزایش محتوای قند در گیاهان تیمارشده با اسید سالیسیلیک، ممکن است توجیهی برای بهبود رشد گیاهان مذکور باشد [۱۶]. اثر مثبت اسید سالیسیلیک بر فتوسنتز و رشد گیاه، تحت شرایط تنش و کاهش آسیب ناشی از شوری و خشکی و تسریع در رشد مجدد پس از رفع تنش نیز در گیاهان گندم تیمارشده مشاهده شد [۲۶ ، ۲۴]. افزایش تحمل به تنش خشکی توسط تیمار با اسید سالیسیلیک در لوبیا و گوجه‌فرنگی مشاهده شده است [۲۷]. عمل حفاظتی اسید سالیسیلیک در برابر تنش خشکی با افزایش پاسخ‌های ضداکسیدانی، کاهش تعرق و افزایش فتوسنتز همراه بوده و به افزایش کارایی مصرف آب منجر شده است [۳۰ ، ۲۷]. پیش‌تیمار با اسید سالیسیلیک نمی‌تواند به‌طور کامل از آسیب ناشی از تنش جلوگیری کند، اما تا حدی سبب کاهش آسیب‌های وارد به گیاهان می‌شود [۲۶].

هدف پژوهش حاضر، بررسی اثر اسید سالیسیلیک بر عملکرد، اجزای عملکرد و برخی خصوصیات فیزیولوژیک سه ژنوتیپ لوبیا قرمز تحت تنش خشکی است.

۲. مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر اسید سالیسیلیک بر عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های لوبیا قرمز در شرایط تنش خشکی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل اسپلیت پلات با سه تکرار، در مزرعهٔ پژوهشی دانشگاه بوعلی سینا (همدان)، در سال زراعی ۱۳۸۸ انجام گرفت. ارتفاع از سطح دریا ۱۷۴۱/۵ متر، عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۵۲ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۲ دقیقه است. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ آمده است. حداکثر مطلق درجهٔ حرارت هوا در این استان ۳۶/۸ و حداقل مطلق آن ۲۹/۶- و متوسط آن ۹/۶ درجهٔ سانتی‌گراد است.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

رس (٪)	سیلت (٪)	شن (٪)	بافت خاک	فسفر (ppm)	پتاسیم (ppm)	نیتروژن کل (٪)	روی (ppm)	اسیدیته	هدایت الکتریکی (ds/m)	کربن آلی (٪)
۳۵	۴۵	۲۰	لوم - رسی	۸/۲	۲۲۰/۰	۰/۱۰	۰/۸۸	۷/۷	۰/۴۰۹	۰/۷۲

مقدار سالانهٔ بارندگی حدود ۳۲۰ میلی‌متر است. آزمایش به‌صورت فاکتوریل اسپلیت پلات، در سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل تنش در سه سطح بدون تنش (شاهد)، تنش در مرحلهٔ رویشی و تنش در مرحلهٔ زایشی و سه ژنوتیپ لوبیا قرمز شامل ژنوتیپ 'اختر'، لاین‌های امیدبخش 'D81083' و 'KS31169' به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های اصلی قرار گرفتند. محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک در سه غلظت صفر، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار همزمان با اعمال تنش، به‌عنوان کرت‌های فرعی انجام گرفت [۱۶]. بذرها از ایستگاه ملی تحقیقات لوبیا واقع در شهرستان خمین تهیه شدند. ارقام از لحاظ مقاومت به خشکی تفاوت داشتند، ولی از لحاظ دورهٔ رشدی مشابه بودند، به‌طوری که لاین 'D81083' مقاوم به خشکی، ژنوتیپ 'اختر' نیمه‌مقاوم و لاین 'KS31169' حساس به خشکی بودند. به‌منظور آماده‌سازی زمین در فصل بهار عملیات تهیهٔ زمین شامل شخم، دیسک، ایجاد جوی‌وپشته و کرت‌بندی انجام گرفت. کرت‌های اصلی به‌مساحت ۳۲ متر مربع و با فاصلهٔ دو متر از کرت‌های مجاور ایجاد شد. فاصلهٔ ردیف‌های کاشت ۵۰ سانتی‌متر، فاصلهٔ بوته‌ها روی ردیف ۵ سانتی‌متر و عمق کاشت بذرها حدود ۵ سانتی‌متر درنظر گرفته شد. تراکم ۴۰ بوته در متر مربع بود [۲].

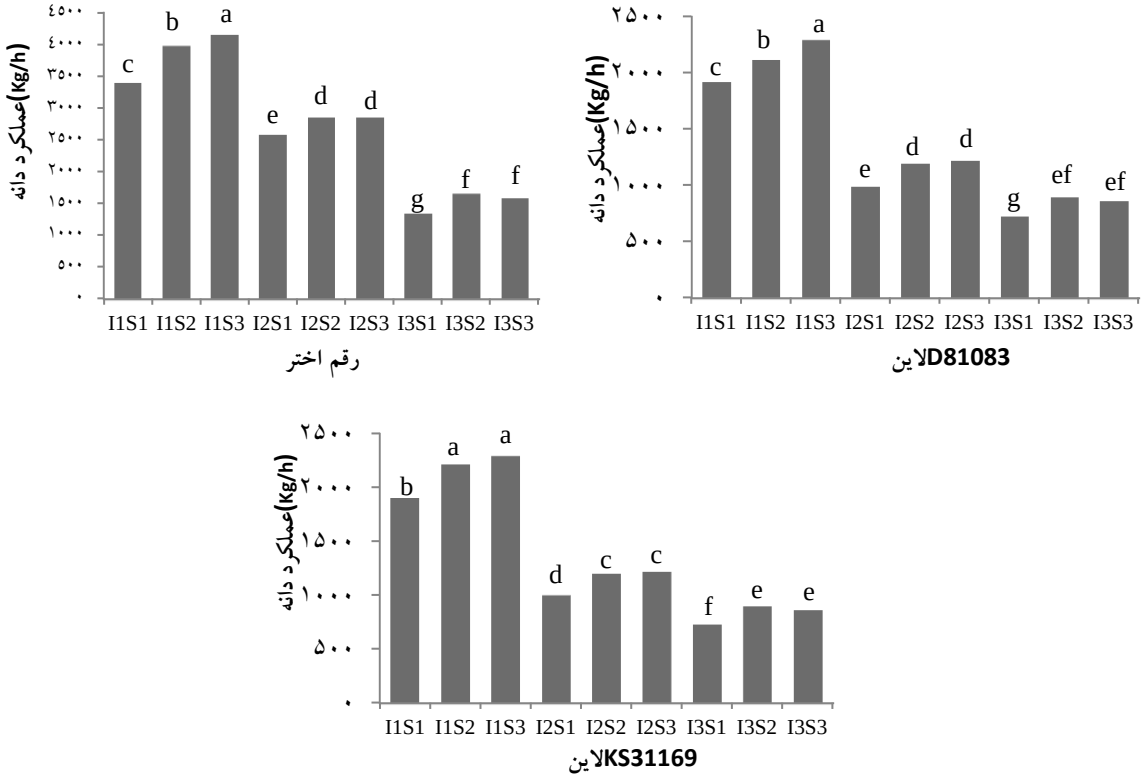
بعد از کاشت و در طول فصل رشد، علف‌های هرز مزرعه چندین بار با دست وجین شد. آبیاری هر هفت روز یک بار انجام گرفت. اعمال تنش به‌صورت یک بار قطع آبیاری در مرحلهٔ رویشی (V_4 یا مرحلهٔ ظهور سومین سه برگچه) و یک بار قطع آبیاری در مرحلهٔ زایشی (R_7 یا مرحلهٔ آغاز غلاف‌دهی) صورت گرفت. همزمان با آغاز تنش، محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک هم با غلظت‌های مورد نظر انجام گرفت. محلول‌پاشی با سم‌پاش دستی در صبح زود به‌نحوی بود که سطح کلیهٔ برگ‌ها خیس شد. در زمان رسیدگی از دو خط کشت مرکزی هر کرت فرعی دو متر مربع با توجه به رعایت اثر حاشیه، برداشت و کلیهٔ صفات گیاهی شامل ارتفاع، تعداد ساقه فرعی، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن صددانه، عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه و شاخص برداشت محاسبه شد. تجزیهٔ واریانس صفات، براساس طرح فاکتوریل اسپلیت پلات انجام شد. محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS انجام شد. مقایسهٔ میانگین اثر برهمکنش تیمارها با روش Lsmeans و در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

۳. نتایج و بحث

۳.۱. عملکرد دانه

براساس نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌ها، اثرهای اصلی، دوگانه و سه‌گانه برای عملکرد دانه معنادار شد. با اعمال تنش در مراحل رویشی و زایشی کاهش معنادار عملکرد دانه مشاهده شد. در رقم 'اختر' اعمال تنش رویشی و زایشی سبب کاهش معنادار عملکرد دانه شد که محلول‌پاشی ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک افزون بر

تیمار عدم تنش، در تنش رویشی و زایشی افزایش عملکرد دانه را نسبت به تیمار عدم مصرف اسید سالیسیلیک در پی داشت (شکل ۱). با وجود این، در شرایط تنش غلظت‌های مصرفی از نظر آماری اختلاف معناداری نداشتند. در لاین‌های دیگر نیز تنش خشکی موجب کاهش معنادار عملکرد دانه شد (شکل ۱). در لاین 'D81083' محلول‌پاشی سبب افزایش عملکرد دانه به میزان ۱۷/۲ درصد در تنش رویشی و ۱۶/۸ درصد در تنش زایشی شد. در لاین 'KS31169' نیز محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک در شرایط تنش رویشی و زایشی به‌ترتیب سبب افزایش ۱۷ و ۱۳ درصدی عملکرد دانه شد (شکل ۱). تنش رطوبتی عملکرد دانه را به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد و سبب کاهش آن می‌شود [۵]. دور آبیاری ۱۰ و ۱۴ روز سبب کاهش عملکرد دانهٔ لوبیا قرمز به‌ترتیب ۳۱ و ۹۲ درصد نسبت به تیمار بدون تنش (آبیاری هفت‌روزه) شد [۲]. به‌طور کلی، کاهش عملکرد ممکن است به‌دلیل کاهش تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن صددانه باشد [۳]. محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک سبب افزایش عملکرد دانهٔ ذرت در شرایط تنش خشکی شد [۱۰]. عمل حفاظتی اسید سالیسیلیک در برابر تنش خشکی با افزایش پاسخ‌های ضداکسیدانی، کاهش در تعرق و افزایش در فتوسنتز همراه بوده و به افزایش کارایی مصرف آب منجر شده است [۳۰ ، ۲۷].

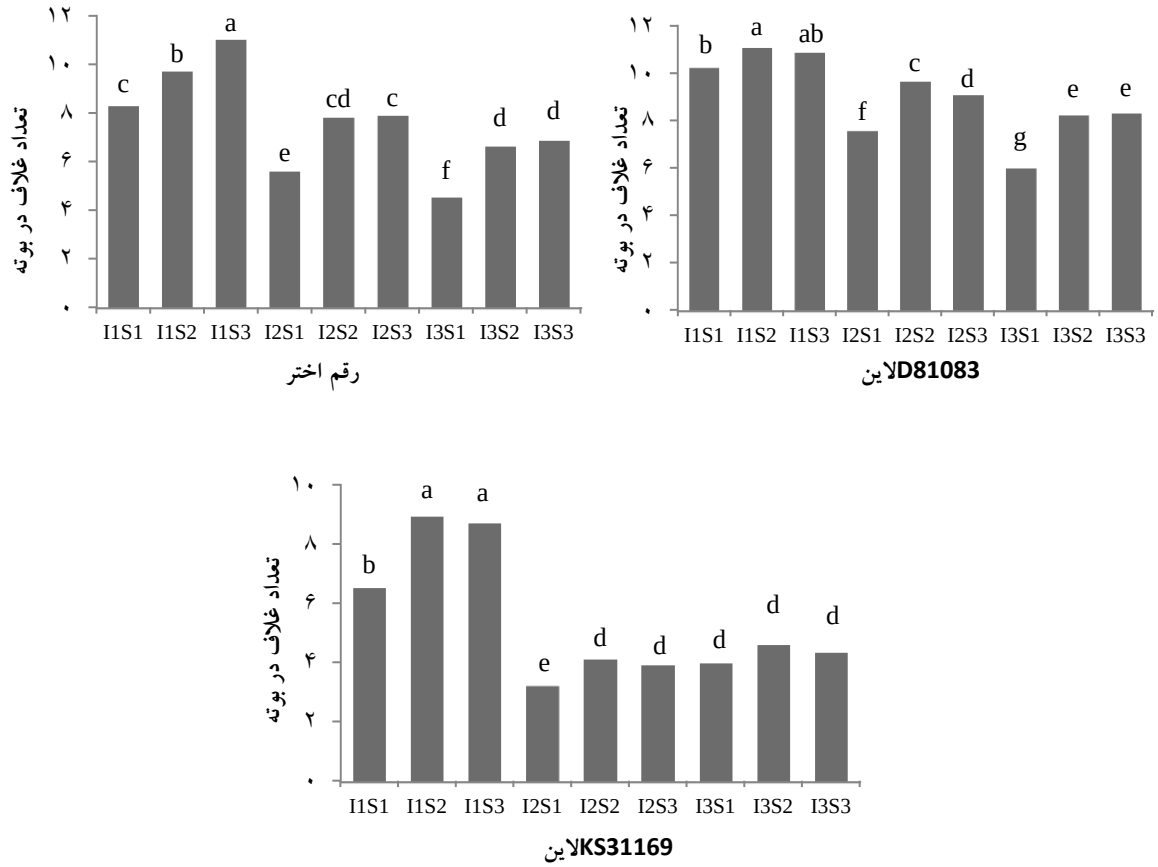


شکل ۱. برهمکنش تنش خشکی، ژنوتیپ و محلول‌پاشی برحسب ژنوتیپ برای عملکرد دانه در رقم 'اختر'، لاین‌های 'D81083' و 'KS31169'. تیمارها شامل: بدون تنش (I_1)، تنش در مرحلهٔ رویشی (I_2)، تنش در مرحلهٔ زایشی (I_3)، رقم 'اختر' (V_1)، لاین 'D81083' (V_2)، لاین 'KS31169' (V_3)، بدون محلول‌پاشی (S_1)، محلول‌پاشی با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار (S_2) و محلول‌پاشی با غلظت ۱ میلی‌مولار (S_3)

اسید سالیسیلیک سبب افزایش فعالیت‌های آنزیم‌های کربنیک آنیدراز (CA) و نیترات ردوکتاز (NR) می‌شود [۱۷]. آنزیم کربنیک آنیدراز یکی از مهم‌ترین آنزیم‌ها پس از روبیسکو است که واکنش تبدیل یون بی‌کربنات به دی‌اکسید کربن و آب را کاتالیز می‌کند و مقادیر کافی دی‌اکسید کربن در دسترس روبیسکو قرار می‌دهد که متعاقب آن موجب بهبود رشد و عملکرد گیاه می‌شود [۱۷]. همچنین اسید سالیسیلیک موجب بهبود انتقال مواد فتوسنتزی به‌سمت مقصدهای فیزیولوژیک (دانه) می‌شود [۹ ، ۱۷].

۲.۳. تعداد غلاف در بوته

تمامی اثرهای اصلی تنش خشکی، ژنوتیپ و محلول‌پاشی و اثرهای دوگانه و سه‌گانهٔ تیمارهای مذکور برای صفت تعداد غلاف در بوته معنادار شد. براساس نتایج، برش‌دهی تعداد غلاف در بوته برحسب ژنوتیپ در رقم 'اختر' مشاهده می‌شود که محلول‌پاشی با دو غلظت ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار در شرایط بدون تنش سبب افزایش ۱۶/۸ و ۲۹/۵ درصدی تعداد غلاف در بوته شد (شکل ۲).

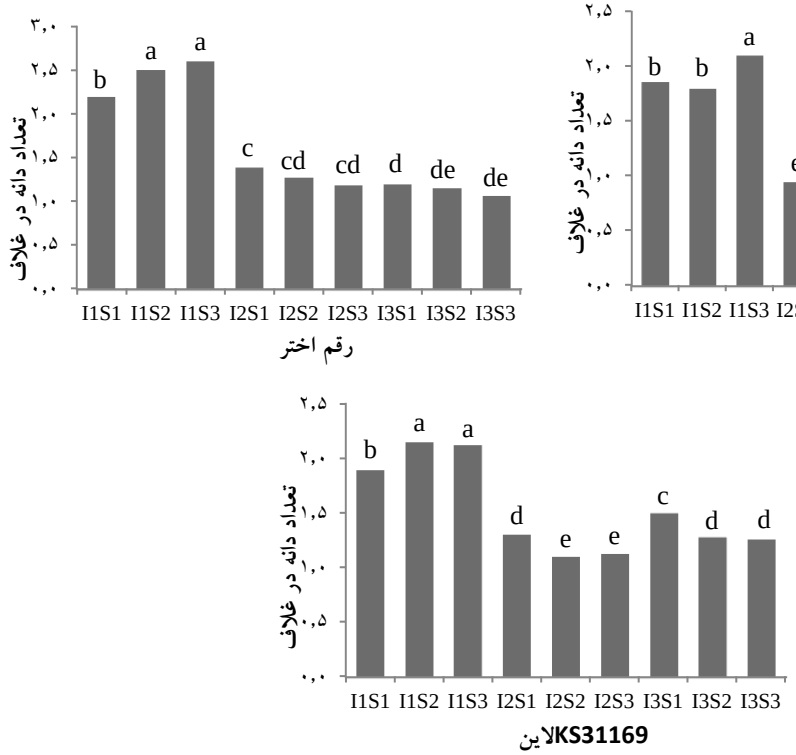


شکل ۲. برهمکنش تنش خشکی، ژنوتیپ و محلول‌پاشی برحسب ژنوتیپ برای تعداد غلاف در بوته در رقم 'اختر'، لاین‌های 'D81083' و 'KS31169'. تیمارها شامل: بدون تنش (I_1)، تنش در مرحلهٔ رویشی (I_2)، تنش در مرحلهٔ زایشی (I_3)، رقم 'اختر' (V_1)، لاین 'D81083' (V_2)، لاین 'KS31169' (V_3)، بدون محلول‌پاشی (S_1)، محلول‌پاشی با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار (S_2) و محلول‌پاشی با غلظت ۱ میلی‌مولار (S_3)

تنش رویشی و زایشی به‌ترتیب ۵/۶ و ۵/۵۳ تعداد غلاف در بوته را کاهش داد. در رقم 'اختر' محلول‌پاشی در شرایط تنش رویشی و زایشی با هر دو غلظت اسید سالیسیلیک سبب افزایش تعداد غلاف در بوته شد. در لاین 'D81083' نیز تنش رویشی و زایشی تعداد غلاف در بوته را به‌ترتیب ۲۶ و ۳۰/۵ درصد کاهش داد؛ با این‌حال غلظت‌های ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در هر دو تنش رویشی و زایشی موجب افزایش معنادار صفت تعداد غلاف در بوته این لاین شد (شکل ۲). در بررسی لاین 'KS31169' نیز محلول‌پاشی سبب افزایش تعداد غلاف در بوته در شرایط تنش رویشی و عدم تنش شد (شکل ۲). تنش رطوبتی لوبیا در مراحل مختلف رشد موجب کاهش تعداد غلاف در بوته شد [۵]. تعداد غلاف در بوته، حساس‌ترین و مهم‌ترین صفت در تعیین عملکرد لوبیا دانسته و بیشترین همبستگی این صفت با عملکرد دانه گزارش شد [۱۴]. محلول‌پاشی لوبیا با اسید سالیسیلیک موجب افزایش ۴۸/۸ درصدی تعداد غلاف در بوته شد [۱۳]. در بین سه ژنوتیپ، کمترین کاهش تعداد غلاف در بوته در شرایط تنش‌زا را لاین 'D81083' و بیشترین کاهش را لاین 'KS31169' نشان داد.

۳.۳. تعداد دانه در غلاف

اثرهای اصلی تنش خشکی و برهمکنش تنش × ژنوتیپ و تنش × محلول‌پاشی در سطح ۱ درصد و اثر متقابل تنش × ژنوتیپ × محلول‌پاشی برای تعداد دانه در غلاف در سطح ۵ درصد معنادار بود. در رقم 'اختر' تنش رویشی و زایشی تعداد دانه در غلاف را به‌طور معناداری کاهش داد (شکل ۳).

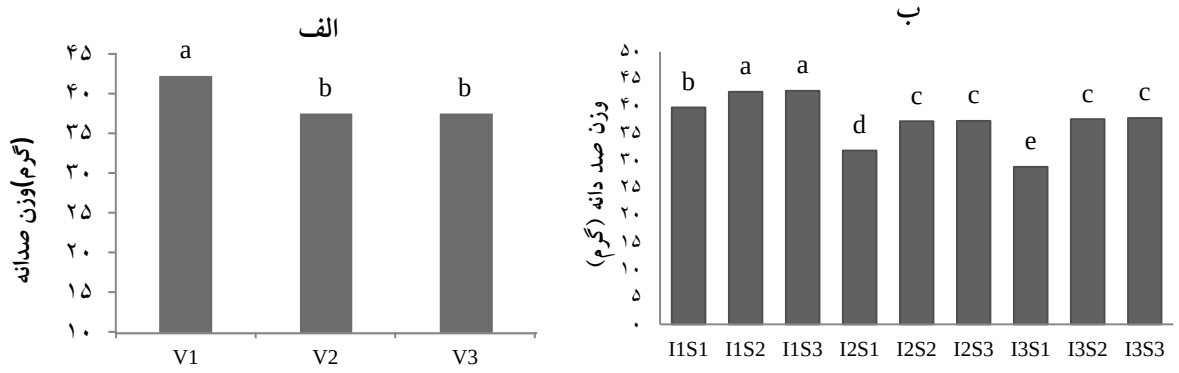


شکل ۳. برهمکنش تنش خشکی، ژنوتیپ و محلول‌پاشی برحسب ژنوتیپ برای تعداد دانه در غلاف در رقم 'اختر'، لاین 'D81083' و لاین 'KS31169'. تیمارها شامل: بدون تنش (I_1)، تنش در مرحلهٔ رویشی (I_2)، تنش در مرحلهٔ زایشی (I_3)، رقم 'اختر' (V_1)، لاین 'D81083' (V_2)، لاین 'KS31169' (V_3)، بدون محلول‌پاشی (S_1)، محلول‌پاشی با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار (S_2) و محلول‌پاشی با غلظت ۱ میلی‌مولار (S_3)

در این رقم، محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک در شرایط تنش اثر معناداری بر این صفت نداشت، ولی در شرایط عدم تنش موجب افزایش معنادار تعداد دانه در غلاف شد. در لاین 'D81083' نیز تنش رویشی و زایشی در این لاین سبب کاهش معنادار تعداد دانه در غلاف شد، ولی در شرایط تنش زایشی اثری بر این صفت نداشت (شکل۳). در لاین 'KS31169' ملاحظه می‌شود که مصرف برگی اسید سالیسیلیک در شرایط تنش رویشی و زایشی موجب افزایش تعداد دانه در غلاف این لاین نشده است (شکل ۳). به‌طور کلی، اعمال تنش خشکی در ژنوتیپ‌های مورد بررسی موجب کاهش تعداد دانه در غلاف شد. کاهش تعداد دانه در غلاف در اثر تنش خشکی در گیاه لوبیا در آزمایشی دیگر گزارش شد [۳]. از سوی دیگر، در ژنوتیپ‌های 'اختر' در شرایط عدم تنش و 'D81083' در شرایط تنش رویشی و عدم تنش مصرف برگی اسید سالیسیلیک در شرایط موجب بهبود تعداد دانه در غلاف شد. محلول‌پاشی سویا با اسید سالیسیلیک (۵۰ppm) سبب افزایش تعداد دانه در غلاف شد که با نتیجهٔ تحقیق حاضر مطابقت دارد [۲۹].

۳. ۴. وزن صددانه

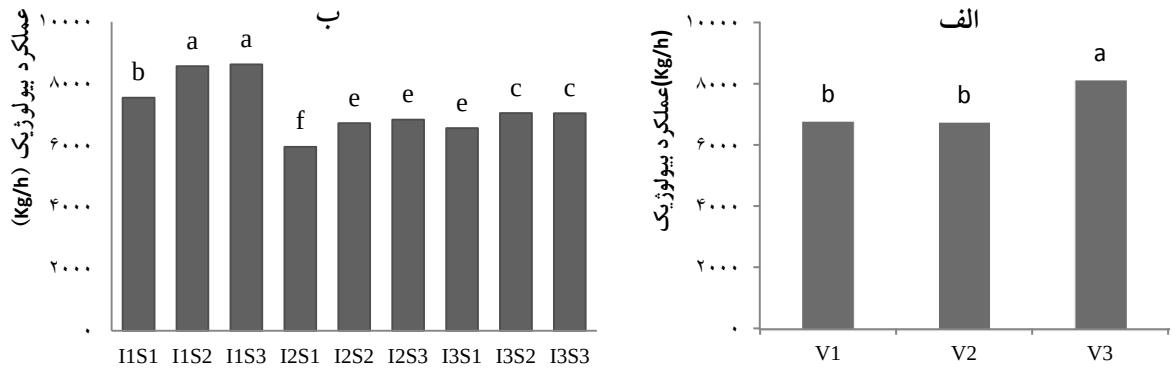
براساس نتایج تجزیهٔ آماری داده‌های آزمایش، اثرهای اصلی تنش خشکی، ژنوتیپ و محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک و برهمکنش تنش و محلول‌پاشی در سطح ۱ درصد معنادار شد. در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی، بیشترین وزن صددانه را ژنوتیپ 'اختر' با میانگین ۴۳/۶ داشت و ژنوتیپ‌های 'KS31169' و 'D81083' کمترین مقدار را داشتند (شکل ۴). با توجه به برهمکنش تنش و محلول‌پاشی، بیشترین وزن صددانه در تیمار بدون تنش و محلول‌پاشی با هر دو غلظت ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار و کمترین وزن صددانه نیز در تیمار تنش زایشی و بدون محلول‌پاشی حاصل شد (شکل ۴). محلول‌پاشی با هر دو غلظت اسید سالیسیلیک سبب افزایش معنادار این صفت در تنش رویشی و زایشی نسبت به تیمار شاهد شد (شکل ۴). تنش در مراحل مختلف رشدی لوبیا سبب کاهش وزن صددانه می‌شود [۸]. همچنین تنش رطوبتی موجب کاهش ۱۰ و ۱۸ درصدی وزن صددانهٔ لوبیا شد [۵ ، ۳]. همچنین نتایج تحقیق دیگری در خصوص افزایش صفت وزن صددانه با مصرف اسید سالیسیلیک با یافته‌های دیگر محققان مطابقت دارد [۱۸ ، ۶]. تنش خشکی گندم سبب کاهش معنادار وزن دانه و محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک سبب افزایش این صفت شد [۳۲].



شکل ۴. مقایسهٔ میانگِین اثرهای اصلی ژنوتیپ (الف) و اثرهای متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی برای صفت وزن صددانه (ب). تیمارها شامل بدون تنش (I_1)، تنش در مرحلهٔ رویشی (I_2)، تنش در مرحلهٔ زایشی (I_3)، رقم 'اختر' (V_1)، لاین 'D81083' (V_2)، لاین 'KS31169' (V_3)، بدون محلول‌پاشی (S_1)، محلول‌پاشی با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار (S_2) و محلول‌پاشی با غلظت ۱ میلی‌مولار (S_3)

۳. ۵. عملکرد بیولوژیکی

در مورد عملکرد بیولوژیکی افزون بر اثرهای اصلی تنش خشکی، ژنوتیپ و محلول‌پاشی اثر متقابل تنش و محلول پاشی بر این صفت معنادار بود. در بین سه ژنوتیپ، لاین 'KS31169' بیشترین عملکرد بیولوژیکی را با میانگین ۸۱۰۹/۶ داشت و دو ژنوتیپ 'اختر' و 'D81083' به‌ترتیب با عملکرد ۶۷۷۱/۱ و ۶۷۴۲ کیلوگرم در هکتار در یک گروه آماری و در مرتبهٔ دوم قرار گرفتند (شکل ۵). درخصوص اثر متقابل تنش و محلول‌پاشی، بیشترین عملکرد بیولوژیکی مربوط به تیمار بدون تنش و محلول پاشی با هر دو غلظت ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و کمترین میانگین مربوط به تیمار تنش رویشی و بدون محلول‌پاشی بود (شکل ۵). مصرف اسید سالیسیلیک سبب افزایش معنادار عملکرد بیولوژیکی در هر سه شرایط آبی شد (شکل ۵). در شرایط بدون تنش، تنش رویشی و تنش زایشی محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک، عملکرد بیولوژیکی را به‌ترتیب ۱۲/۵، ۱۲/۸ و ۷/۵ درصد افزایش داد (شکل ۵). افزایش وزن تر و خشک در اثر محلول‌پاشی برگ‌ها با غلظت ۰/۱ نانومولار اسید سالیسیلیک در گیاه بنفشهٔ آفریقایی و افزایش مادهٔ خشک در گیاه خردل هندی به‌دنبال محلول‌پاشی برگ‌ها با غلظت ۰/۰۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک، حاکی از آن است که این ماده بر افزایش مادهٔ خشک در این گیاه تأثیرگذار بوده است و افزایش وزن خشک را به افزایش ایجادشده در میزان فتوسنتز خالص، بازده کربوکسیلاسیون روبیسکو و فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی نسبت داده‌اند [۲۲ ، ۱۷]. افزایش مادهٔ خشک گیاهان گندم تحت تنش خشکی احتمالاً با ایجاد پاسخ‌های ضداکسیدانی که گیاه را از آسیب محافظت می‌کند، ارتباط دارد [۳۰]. محلول‌پاشی جوانه‌های برنج با غلظت ۱۰۰ppm اسید سالیسیلیک سبب افزایش عملکرد بیولوژیکی شد [۲۱].

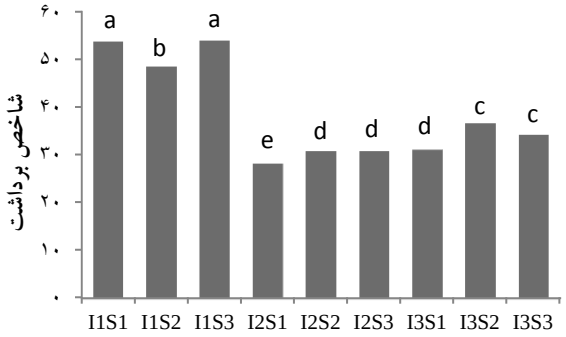


شکل ۵. مقایسهٔ میانگین اثر اصلی ژنوتیپ (الف) و اثرهای متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی بر عملکرد بیولوژیک (ب). تیمارها شامل: بدون تنش (I_1)، تنش در مرحلهٔ رویشی (I_2)، تنش در مرحلهٔ زایشی (I_3)، رقم 'اختر' (V_1)، لاین 'D81083' (V_2)، لاین 'KS31169' (V_3)، بدون محلول‌پاشی (S_1)، محلول‌پاشی با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار (S_2) و محلول‌پاشی با غلظت ۱ میلی‌مولار (S_3)

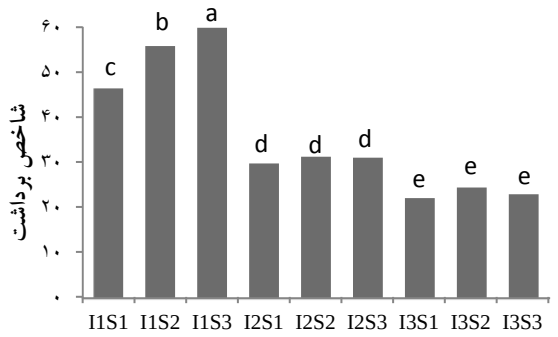
۶.۳. شاخص برداشت

اثر اصلی تنش خشکی، ژنوتیپ و محلول‌پاشی و اثر متقابل تنش خشکی × ژنوتیپ، تنش خشکی × محلول پاشی و اثر متقابل سه‌گانهٔ آبیاری × ژنوتیپ × محلول‌پاشی برای شاخص برداشت در سطح ۱ درصد معنادار بود. در رقم 'اختر' اعمال هر دو تنش رویشی و زایشی سبب کاهش

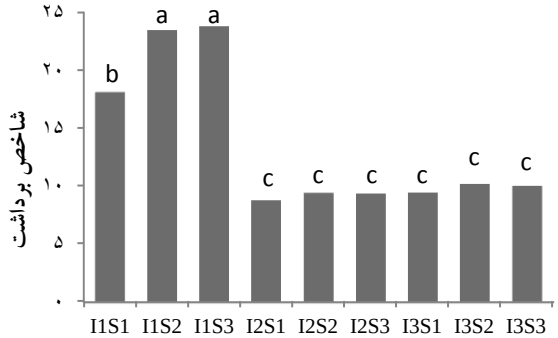
معنادار شاخص برداشت شد (شکل ۶). محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک در تنش رویشی و زایشی اثری بر این صفت نداشت. در شرایط بدون تنش، محلول‌پاشی با دو غلظت ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک به‌ترتیب افزایش ۱۸/۳ و ۲۱/۸ درصدی شاخص برداشت را سبب شد (شکل ۶). در لاین 'D81083' محلول‌پاشی با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در تنش رویشی و زایشی به‌ترتیب ۵ و ۱۴ درصد شاخص برداشت را بهبود بخشید (شکل ۶). محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک در لاین 'KS31169'، تنها در شرایط بدون تنش مفید بود و سبب افزایش ۲۴/۵ درصدی شاخص برداشت در این تیمار شد، اما در شرایط تنش رویشی و زایشی، محلول‌پاشی اثری بر این شاخص نداشت. دربارهٔ شاخص برداشت تحت تأثیر تنش رطوبتی گزارش‌های متضادی وجود دارد. تنش رطوبتی سویا تأثیری بر شاخص برداشت نداشت [۶]، اما کاهش شاخص برداشت لوبیا تحت تأثیر تنش رطوبتی توسط برخی محققان تأیید شد [۶]. تأثیر مصرف اسید سالیسیلیک در شرایط بدون تنش بیشتر از شرایط تنش‌زاست. از اثر اسید سالیسیلیک بر شاخص برداشت اطلاعات مفیدی در دسترس نیست. مصرف اسید سالیسیلیک در گیاه ذرت و سویا با افزایش رشد و عملکرد به‌خصوص عملکرد زایشی و عملکرد دانه موجب افزایش معنادار شاخص برداشت شد که با نتایج تحقیق حاضر در تیمار بدون تنش مشابه است [۲۹ ، ۱۱].



D81083لاین



رقم اختر

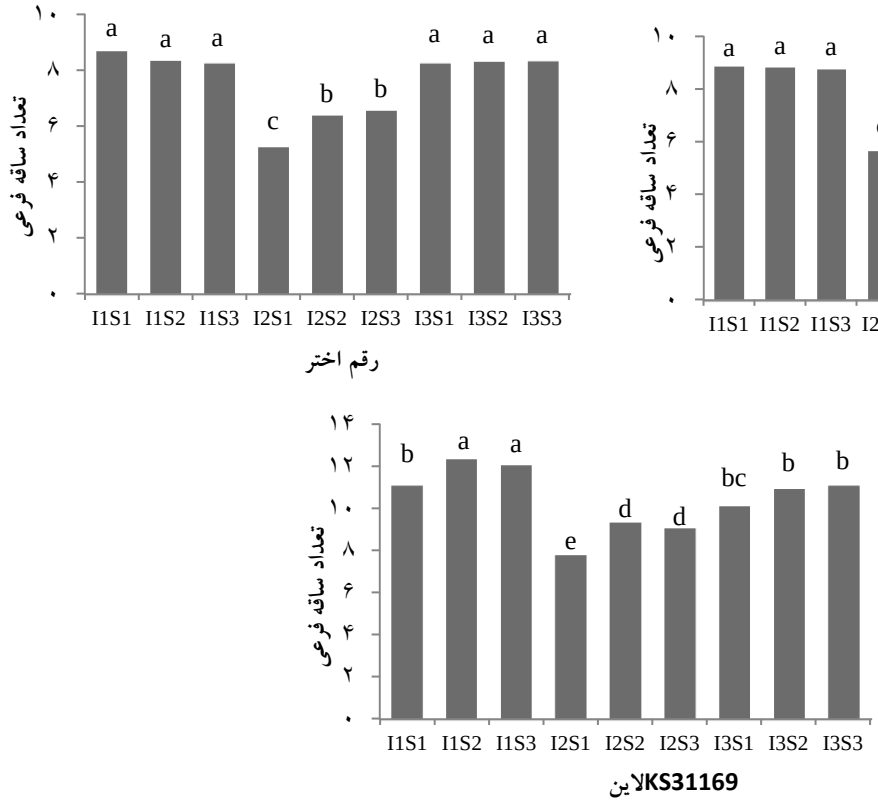


KS31169لاین

شکل ۶. برهمکنش تنش خشکی، ژنوتیپ و محلول‌پاشی برحسب ژنوتیپ برای شاخص برداشت در رقم 'اختر'، لاین 'D81083' و لاین 'KS31169'. تیمارها شامل: بدون تنش (I_1)، تنش در مرحلهٔ رویشی (I_2)، تنش در مرحلهٔ زایشی (I_3)، رقم 'اختر' (V_1)، لاین 'D81083' (V_2)، لاین 'KS31169' (V_3)، بدون محلول‌پاشی (S_1)، محلول‌پاشی با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار (S_2) و محلول‌پاشی با غلظت ۱ میلی‌مولار (S_3)

۳. ۷. تعداد ساقهٔ فرعی

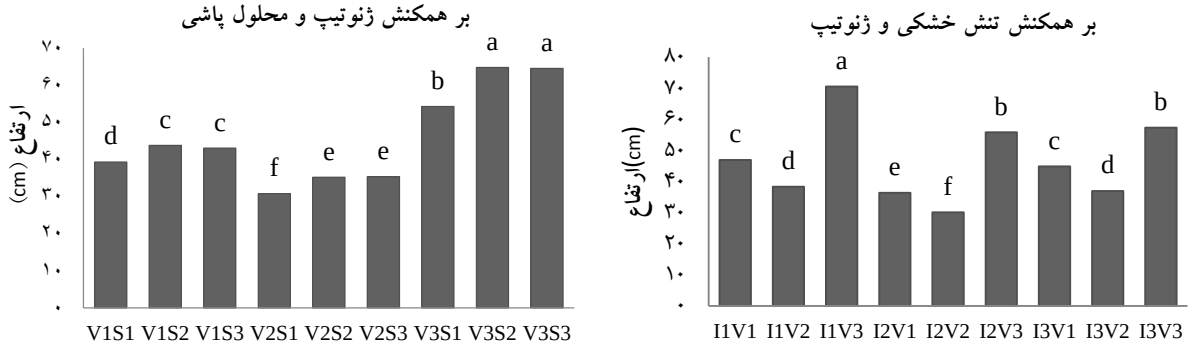
افزون‌بر تأثیرات تنش خشکی، ژنوتیپ و محلول‌پاشی، برهمکنش‌های دوگانه و سه‌گانهٔ عوامل مورد بررسی بر تعداد ساقه‌های فرعی در سطح ۱ درصد معنادار شد. درخصوص تأثیرات متقابل سه‌گانه برش‌دهی براساس ژنوتیپ انجام گرفت. تنش رویشی موجب کاهش معنادار تعداد ساقه‌های فرعی در ژنوتیپ‌های مورد بررسی شد، ولی تنش زایشی اثر معناداری نداشت (شکل ۷). مصرف برگی اسید سالیسیلیک در شرایط تنش رویشی به‌ترتیب ۲۰/۶ و ۱۰/۲ درصد تعداد ساقه فرعی را در ژنوتیپ‌های 'اختر' و 'D81083' افزایش داد؛ درحالی که در شرایط عدم تنش، محلول‌پاشی اثری بر این صفت نداشت (شکل ۷)، اما در لاین 'KS31169' تنش رویشی و زایشی سبب کاهش ۲۹/۷ و ۸/۷۳ درصدی تعداد ساقه شد. مصرف اسید سالیسیلیک در تنش‌های مذکور تعداد ساقهٔ فرعی را به‌ترتیب ۱۵/۱ و ۷/۸ درصد بهبود بخشید (شکل ۷). افزایش تعداد ساقهٔ فرعی با مصرف اسید سالیسیلیک را بسیاری از محققان گزارش کردند [۲۲ ، ۶]. مصرف اثر اسید سالیسیلیک موجب افزایش تعداد انشعابات در گیاهان *Clitoria teranata* و *Carthamus tinctorius* شد که دلیل این بهبود را می‌توان بهبود شرایط و بازده فتوسنتزی و بهبود تقسیم سلولی در اثر مصرف این ترکیب دانست [۲۲ ، ۱].



شکل ۷. برهمکنش تنش خشکی، ژنوتیپ و محلول‌پاشی برحسب ژنوتیپ برای تعداد ساقهٔ فرعی در رقم در رقم 'اختر'، لاین‌های 'D81083' و 'KS31169'. تیمارها شامل: بدون تنش (I_1)، تنش در مرحلهٔ رویشی (I_2)، تنش در مرحلهٔ زایشی (I_3)، رقم 'اختر' (V_1)، لاین 'D81083' (V_2)، لاین 'KS31169' (V_3)، بدون محلول‌پاشی (S_1)، محلول‌پاشی با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار (S_2) و محلول‌پاشی با غلظت ۱ میلی‌مولار (S_3)

۳. ۸. ارتفاع

براساس نتایج تجزیهٔ واریانس تأثیرات تنش خشکی، ژنوتیپ و محلول‌پاشی و برهمکنش تنش خشکی × ژنوتیپ و ژنوتیپ × محلول‌پاشی بر صفت ارتفاع در سطح احتمال ۱ درصد معنادار بود. بیشترین ارتفاع را لاین 'KS31169' در شرایط بدون تنش داشت (شکل ۸). تنش رویشی ارتفاع هر سه ژنوتیپ را کاهش داد و کمترین ارتفاع در لاین 'D81083' مشاهده شد (شکل ۸). تنش زایشی سبب کاهش معنادار ارتفاع لاین 'KS31169' شد، ولی بر دو ژنوتیپ دیگر اثر معناداری نداشت (شکل ۸). ازآنجا که لاین 'KS31169' نوعی ژنوتیپ نیمه‌رونده است، تنش زایشی سبب کاهش ارتفاع آن شد. با توجه به نتایج اثر متقابل ژنوتیپ و محلول‌پاشی، بیشترین ارتفاع در لاین 'KS31169' و با غلظت‌های ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و کمترین ارتفاع در لاین 'D81083' و در شرایط عدم محلول‌پاشی حاصل شد. مصرف اسید سالیسیلیک سبب افزایش معنادار ارتفاع هر سه ژنوتیپ شد، ولی غلظت‌های به‌کاررفتهٔ اسید سالیسیلیک اختلاف معناداری با یکدیگر نداشتند. نتایج حاصل با گزارش دیگر تحقیقات مبنی بر افزایش ارتفاع گیاهان با مصرف اسید سالیسیلیک در گیاهان لوبیا، گندم و گوجه‌فرنگی در شرایط تنش و غیرتنش مشابه است. دلیل این بهبود را می‌توان به اثر مثبت اسید سالیسیلیک در افزایش تقسیم سلولی در مریستم انتهایی ساقه و ریشه نسبت داد [۳۲ ، ۱۳]. مصرف اسید سالیسیلیک ارتفاع گیاهچهٔ گندم را نسبت به تیمار شاهد در تنش شوری افزایش داد [۲۸]. اثر مثبت اسید سالیسیلیک بر فتوسنتز و رشد گیاه، تحت شرایط تنش و کاهش آسیب ناشی از شوری و خشکی و تسریع در رشد مجدد پس از رفع تنش نیز در گیاهان گندم تیمارشده با اسید سالیسیلیک گزارش شد [۲۶].



شکل ۸ برهمکنش تنش خشکی و ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ و محلول‌پاشی برای ارتفاع گیاه لوبیا قرمز. تیمارها شامل بدون تنش (I_1)، تنش در مرحلهٔ رویشی (I_2)، تنش در مرحلهٔ زایشی (I_3)، رقم 'اختر' (V_1)، لاین 'D81083' (V_2)، لاین 'KS31169' (V_3)، بدون محلول‌پاشی (S_1)، محلول‌پاشی با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار (S_2) و محلول‌پاشی با غلظت ۱ میلی‌مولار (S_3)

۴. نتیجه‌گیری

براساس نتایج تحقیق حاضر، تنش خشکی در مرحلهٔ رویشی و زایشی سبب کاهش عملکرد و اجزای آن در لوبیا قرمز می‌شود. به‌خصوص تنش در مرحلهٔ زایشی سبب کاهش عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه و شاخص

برداشت شد. در بین سه ژنوتیپ مورد آزمایش، لاین 'D81083' کمترین کاهش عملکرد را در شرایط تنش رویشی داشت. در بین سه واریته لاین 'D81083' و 'اختر' دارای عملکرد و شاخص برداشت بیشتری نسبت به لاین 'KS31169' بودند. شایان ذکر است که محلول‌پاشی با غلظت‌های ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک سبب افزایش عملکرد و بهبود صفات مورد بررسی در شرایط بدون تنش و تنش‌زا شد. تأثیر مثبت این ترکیب در تنش رویشی نسبت به تنش زایشی مشهودتر بود. بر همین اساس، محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در شرایط تنش خشکی به‌منظور تعدیل اثرهای منفی آن به‌خصوص در مراحل رویشی رشد گیاه توصیه می‌شود.

منابع

۱. ابراهیم‌زاده سروستانی ل (۱۳۸۵) بررسی اثر برخی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی بر شاخص‌های فیزیولوژیک رشد، اجزای عملکرد، عملکرد دانه و روغن و پروتئین در گلرنگ. دانشگاه شهید باهنر کرمان، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد.

۲. آقاعلیخانی م، طهماسبی سروستانی ز و غفاری خلیق حسین (۱۳۸۱) تأثیر تنش کم‌آبی بر عملکرد و اجزای عملکرد سه ژنوتیپ لوبیا قرمز. چکیدهٔ مقالات هفتمین کنگرهٔ علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران - کرج. مؤسسهٔ تحقیقات اصلاح و تهیهٔ نهال و بذر. شهریور ۱۳۸۱: ۵۴۱.

۳. امیر مردفر ر، قاسمی گلعذانی ک، رحیم زاده خویی ف و علیزاده ب (۱۳۸۵) تأثیر محدودیت آب بر عملکرد و اجزای عملکرد سه ژنوتیپ لوبیا. نهمین کنگرهٔ زراعت و اصلاح نباتات ایران. دانشگاه تهران. پردیس ابوریحان. ۲۸۹ ص.

۴. بهتری ب، دباغ محمدی نسب ع، قاسمی گلعذانی ک، زهتاب سلماسی س و تورچی م (۱۳۸۵) اثر تنش خشکی بر روی رشد و ویژگی‌های مورفولوژیکی گیاه سویا. چکیدهٔ مقالات نهمین کنگرهٔ علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. دانشگاه تهران. پردیس ابوریحان. ۳۱۰ ص.

۵. بیات ع ا (۱۳۸۷) بررسی اثرات تنش رطوبتی بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام جدید لوبیا چیتی در شهرستان خمین. دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا همدان. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد.

۶. صفاری غ (۱۳۸۸) اثر دو تنظیم‌کنندهٔ رشد اسید سالیسیلیک و اسید ژاسمونیک بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزای دانه‌ای. پردیس ابوریحان دانشگاه تهران. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد.

۷. کوچکی ع و بنایان اول م (۱۳۷۳) زراعت حبوبات. چاپ اول. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۲۳۶ ص.

۸. محلوجی م، موسوی س و کریمی م (۱۳۷۹) اثر تنش رطوبتی و تاریخ کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا چیتی. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۴(۱): ۶۷-۵۷.

۹. مظاهری تیرانی م (۱۳۸۵) بررسی اثر متقابل اتیلن و اسید سالیسیلیک بر برخی پارامترهای رشد و بیوشیمایی گیاه کلزا (*Brassica napus*) تحت تنش خشکی. دانشگاه شهید باهنر کرمان، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد.

۱۰. مهرابیان مقدم ن، آروین م ج، خواجویی‌نژاد غ و مقصودی ک (۱۳۹۰) اثر اسید سالیسیلیک بر رشد و عملکرد علوفه و دانهٔ ذرت در شرایط تنش خشکی در مزرعه. به‌زراعی نهال و بذر. ۲-۲۷(۱): ۵۵-۴۱.

11. Abd El-Wahed A, Amin A and Rashad El-Sh M (2006) Physiological effect of some bioregulators on vegetative growth yield and chemical constituents of yellow maize plants. Agricultural Sciences. 2(2): 149-155.

12. Ali Fayez Kh and Ali Bazaid S (2014) Improving drought and salinity tolerance in barley by application of salicylic acid and potassium nitrate. Saudi Society of Agricultural Sciences. 13: 45-55.

13. Amira M, Hegazi D, Amal M and El-Shraiy E (2007) Impact of salicylic acid and paclobutrazol exogenous application on the growth, yield and nodule formation of common bean. Basic and Applied Sciences. 1(4): 834-840.

14. Anld D, Bettis L, Crick JE and Kephart KD (1988) Planting date and temperature effects on germination, emergence and seed yield of chick pea. Agronomy. 88: 909-971.

15. Chaves MM, Maroco JP and Pereira JS (2003) Understanding plant response to drought: from genes to the whole plant. Functional Plant Biology. 30: 239-264.

16. El-Tayeb MA (2005) Response of barley Grains to the interactive effect of salinity and salicylic cid. Plant Growth Regulation. 45: 215-225.

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

18. Ghai N and Setia RC (2002) Effects of paclobutrazol and salicylic acid on chlorophyll content, hill activity and yield components in *Brassica napus* L. (cv. GSI-1). Phytomorphology. Agronomy. 52(1): 83-135.

19. Khodary SEA (2004) Effect of salicylic acid on the growth, photosynthesis and carbohydrate metabolism in salt- stressed maize plants. Intention Agriculture Biology. 6: 5-8.

20. Lawlor DVV and Cornic G (2002) Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. Plant Cell Environment. 25(2): 275-294.

21. Maibangsa S, Thangaraj M and Roy S (2001) Alleviation of low irradiance stress in rice (*Oryza sntiva* L.) by growth regulators. Annals of Plant Physiology. 13(2): 133-142.

22. Mex RM, Couch EV, Campos TH and Saavedra AL (2001) Positive effect of salicylic acid on the flowering of African violet. Scientia Horticulturae. 103: 499-502.

23. Pastenes C, Porter V, Baginsky C, Horton P and Gomzalez J (2004) Paraheliotropism can protect water stressed bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants against photo inhibition. Plant Physiology. 161: 1315-1323.

24. Rajasekaran R, Stiles AM, Struz AV, Blake TJ, Caldwell C and Nowork J (2002) Stand establishment technologies for processing carrots: effects of various temperature regimes on germination and the role of salicylates in promoting germination at low temperatures. Plant Science. 82: 443-450.

25. Rosales-Serena R, Kohashi-Shibata J, Trejo-Lopez A, Ortiza-Cereceres C and Kelly JD (2002) Yield and phonological adjustment in four drought-stressed common bean cultivars. Annual Red Bean Improvement Crop. 45: 198-199.

26. Sakhabutidnova AR, Fatkhutdinova DR, Bezrukova MV and Shakirova FM (2003) Salicylic acid prevents the damage action of stress factors on wheat plants. Plant Physiology. Special Issue. (5): 314-319.

27. Senaratna T, Touchell D, Bunn E and Dixon K (1999) Acetyl salicylic acid and salicylic acid induced multiple stress tolerance in bean and tomato plants. Plant Growth Regulation. 30: 157-161.

28. Shakirova FM, Sakhabutdinova AR, Bezrukova MV, Fatkhutdinova RA and Fatkhutdinova DR (2003) Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. Plant Science. 164: 317-322.

29. Sharma K and Kaur S (2003) Effect of salicylic acid, caffeic acid and light intensity on yield and yield-contributing parameters in soybean (*Ghjcine wax* L.) Merrii. Environment and Ecology. 21(2): 332-335.

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

31. Turkan I, Bor M, Ozdemirm F and Koca H (2005) Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought-tolerant P. actifolus Gray and drought-sensitive *Phaseolus vulgaris* L. subjected to plyethlene glycol mediated water stress. Plant Science. 168: 223-231.

32. Washem M (2006) Influence of exogenously applied salicylic acid on drought tolerance of hexaploid wheat. Botany Department of Bitany University of Agriculture Faisalabad. Ph.D. Dissertation.