به‌زراعی کشاورزی
دوره ۲۰ ■ شماره ۳ ■ پاییز ۱۳۹۷
صفحه‌های ۶۰۸-۵۹۵

اثر اپی‌براسینولید بر رشد و عملکرد دانه لوبیا در شرایط آبیاری مطلوب و اعمال تنش خشکی

مهسا محمدی[۱]، افشین توکلی[۲*]، مجید پوریوسف[۲]، احسان محسنی فرد[۳]

۱. دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
۲. دانشیار،گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
۳. استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۱۰/۲۷ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۳/۰۵

چکیده

به‌منظور بررسی امکان افزایش عملکرد دانه لوبیا با کاربرد براسینواستروئید، پژوهشی به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۴ اجرا شد. در این پژوهش، سطوح آبیاری شامل آبیاری مطلوب و اعمال تنش خشکی در کرت‌های اصلی قرار گرفت و ارقام لوبیا شامل رقم کوشا و ژنوتیپ COS16 و چهار سطح براسینواستروئید شامل عدم مصرف (شاهد)، دو، چهار و شش میکرومولار به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. در مرحله گل دهی، تنش خشکی اعمال شد و هم‌زمان با اعمال تنش خشکی، بوته‌های لوبیا با براسینواستروئید (اپی‌براسینولید) محلول‌پاشی شد. نتایج نشان داد که اعمال تنش خشکی باعث کاهش شاخص سطح برگ، اجزای عملکرد، عملکرد دانه، عملکرد زیست‌توده و شاخص برداشت شد و کاربرد اپی براسینولید باعث به حداقل رساندن اثرات منفی تنش خشکی و افزایش در صفات فوق گردید. بالاترین عملکرد دانه با کاربرد غلظت دو میکرومولار اپی‌براسینولید با میانگین ۲۰۶۸/۲ کیلوگرم بر هکتار به‌دست آمد. در بین ارقام مورد مطالعه نیز، رقم کوشا در شرایط آبیاری مطلوب با میانگین ۳۰۲۵/۴۵ کیلوگرم بر هکتار، عملکرد دانه بیشتری نسبت به ژنوتیپ COS16 نشان داد. بنابراین، کاربرد اپی‌براسینولید را به‌عنوان راه‌کاری جهت افزایش مقاومت به تنش خشکی و افزایش عملکرد دانه لوبیا در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی می‌توان پیشنهاد نمود.

کلیدواژه‌ها: اجزای عملکرد، شاخص برداشت، شاخص سطح برگ، عملکرد زیست‌توده، وزن دانه.

* نویسنده مسئول
Email: tavakoli@znu.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

۱. مقدمه

لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) با داشتن پروتئین، فیبر و مواد کانی بالا به‌عنوان یک غذای کامل مطرح است (Pfeiffer & McClafferty, 2007). در ایران، انواع لوبیا با تولید حدود ۱۹۹ هزار تن، رتبه دوم را پس از نخود به‌خود اختصاص داده است (FAO, 2014). حدود ٦۰ درصد تولید لوبیا در کشورهای در حال توسعه در شرایط تنش خشکی انجام می‌گیرد (Singh, 2006). تنش خشکی باعث کاهش عملکرد زیست‌توده، عملکرد دانه، شاخص برداشت و وزن دانه لوبیا می‌شود (Munoz-Perea *et al*., 2006). همچنین، خشکی سبب کاهش در اندازه برگ‌ها، وزن خشک اندام هوایی، شاخص سطح برگ، تعداد برگچه، متوسط سطح برگ و فشار تورژسانس در بافت‌های گیاهی می‌گردد (Hu *et al*., 2013).

در مطالعه‌ای با بررسی تأثیر تنش خشکی در دو فصل زراعی بر سه ژنوتیپ لوبیا چشم‌بلبلی در مراحل رویشی و زایشی گزارش شد که حساس‌ترین مرحله به تنش خشکی، مرحله زایشی (گل‌دهی) بود که سبب کاهش ۵۰ درصدی عملکرد شد و عملکرد نهایی دانه با تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن دانه همبستگی نزدیکی داشت و کاهش عملکرد دانه تحت تنش خشکی به کاهش تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن دانه نسبت داده شد (Ahmed & Suliman, 2010). همچنین، با بررسی اثر تنش خشکی بر ۲۰ ژنوتیپ لوبیا چشم‌بلبلی در مرحله زایشی بیان شد که تنش خشکی سبب کاهش تعداد غلاف در بوته و عملکرد دانه به‌ترتیب به میزان ۱۷۵ و ٦۰ درصد شده است (Bastos *et al*., 2011).

براسینواستروئیدها، گروهی از هورمون‌های استروئیدی هستند که نقشی محوری در بسیاری از پدیده‌های نموی ایفا می‌کنند که از آن جمله می‌توان به تقسیم و طویل شدن سلولی در ساقه و ریشه، اندام‌زایی نوری، نمو تولیدمثلی، رشد لوله‌های گرده، فعال‌سازی آنزیم‌ها، بیوسنتز اتیلن، پیری برگ، تنظیم بیان ژن و پاسخ به تنش‌ها اشاره کرد (Talaat & Shawky, 2012). اطلاعاتی مبنی بر مکانیزمی که براسینواستروئیدها باعث تحمل به تنش می‌شوند، وجود ندارد. به‌طورکلی پیشنهاد شده است که براسینواستروئیدها پاسخ به تنش را با یک توالی پیچیده از واکنش‌های بیوشیمیایی، مانند فعال‌سازی یا غیرفعال‌سازی واکنش‌های آنزیمی کلیدی، القای سنتز پروتئین‌ها و تولید ترکیبات شیمیایی دفاعی مختلف تنظیم می‌کنند (Bajguz & Hayat, 2009). همچنین، گزارش شده است که براسینواستروئیدها از طریق تغییر در متابولیسم گیاه و حفاظت گیاه در برابر تنش‌های محیطی، منجر به افزایش عملکرد گیاهان زراعی می‌شوند (Talaat & Shawky, 2013).

در برخی مطالعات مشخص شده است که براسینواستروئیدها مقاومت گیاه در برابر تنش و آسیب‌های گیاهی را افزایش می‌دهند و موجب افزایش سازگاری گیاهان در برابر شرایط نامساعد محیطی می‌شوند. برای مثال، با بررسی کاربرد خارجی اپی‌براسینولید و هموبراسینولید با غلظت‌های یک و پنج میکرومولار قبل از اعمال تنش خشکی و در مرحله گل دهی در لوبیا، مشخص شد که کاربرد این هورمون‌ها باعث بهبود اثرات منفی تنش در ریشه‌ها گردید و به‌طورکلی محققان دریافتند که هم در گیاهان تنش دیده و هم در گیاهان با آبیاری مطلوب با کاربرد پنج میکرومولار براسینواستروئید عملکرد غلاف لوبیا افزایش یافت (Upreti & Murti, 2004). در مطالعه دیگری با کاربرد براسینولید بر سویا گزارش شد که کاربرد براسینولید باعث به حداقل رساندن کاهش عملکرد ناشی از تنش خشکی می‌شود. بنابراین، می‌توان از این هورمون جهت افزایش مقاومت به تنش خشکی استفاده نمود (Zhang *et al*., 2008). مطالعات نشان داده است که کاربرد خارجی

Archive of SID
www.SID.ir

براسینولید با تأثیر بر محتوای پروتئین‌ها، فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز، تولید اتیلن، ذخیره پلی‌آمین‌ها و محتوای نسبی آب، باعث افزایش تحمل گیاه به خشکی می‌شود (Anjum *et al*., 2011; Arteca & Arteca, 2008; Behnamnia *et al*., 2009; Talaat & Shawky, 2016; Yuan *et al*., 2010). با توجه به اهمیت براسینواستروئیدها در افزایش تحمل به تنش‌های محیطی، هدف از انجام این پژوهش بررسی امکان افزایش رشد و عملکرد دانه لوبیا با کاربرد براسینواستروئید در دو شرایط آبیاری مطلوب و اعمال تنش خشکی بود.

۲. مواد و روش‌ها

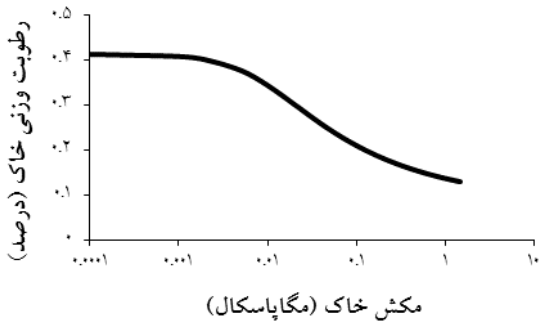
این آزمایش به‌منظور بررسی امکان افزایش عملکرد دانه لوبیا با کاربرد براسینواستروئید در دو شرایط آبیاری مطلوب و اعمال تنش خشکی، در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹٤ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان واقع در عرض جغرافیایی ۳٦ درجه و ٤۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ٤۸ درجه و ۲٤ دقیقه غربی و ارتفاع ۱۵۹٤ متر از سطح دریا اجرا شد. شرایط آب‌وهوایی این منطقه سرد و خشک می‌باشد. آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد که در آن سطوح آبیاری (در دو سطح آبیاری مطلوب و اعمال تنش خشکی) در کرت‌های اصلی قرار گرفت و ارقام لوبیا (شامل رقم کوشا با تیپ رشد ایستاده و رشد نامحدود و ژنوتیپ COS16 با تیپ رشد ایستاده و رشد محدود) و سطوح مختلف براسینواستروئید (در چهار سطح صفر، دو، چهار و شش میکرومولار) به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند.

به‌منظور آماده‌سازی زمین، در پاییز سال ۱۳۹٤ عملیات شخم عمیق و در فصل بهار جهت یکنواخت شدن وضعیت خاک مزرعه، دیسک‌زنی و ماله‌کشی انجام شد. هر کرت شامل چهار ردیف به طول سه متر بود. کاشت به صورت مسطح، فاصله ردیف‌های کاشت ۵۰ سانتی‌متر، فاصله بوته‌ها روی ردیف‌ها پنج سانتی‌متر و تراکم ٤۰ بوته در مترمربع بود. کشت در اردیبهشت‌ماه سال ۱۳۹۵ صورت گرفت. سیستم آبیاری به‌صورت قطره‌ای بود و اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت انجام شد و آبیاری‌های بعدی تا زمان گلدهی بر اساس شرایط محیطی هفته‌ای یک‌بار صورت گرفت. در مراحل مختلف رشد گیاه، علف‌های هرز از طریق وجین دستی کنترل شدند. در طول دوره رشد گیاه، آفت یا بیماری که جهت کنترل آن نیاز به سمپاشی باشد، مشاهده نگردید. در مرحله گلدهی (به‌گل‌رفتن ۵۰ درصد واحدهای آزمایشی)، تنش خشکی اعمال شد و همزمان با اعمال تنش خشکی، بوته‌های لوبیا با براسینواستروئید (اپی‌براسینولید) با غلظت‌های ذکرشده محلول‌پاشی شد. جهت اطمینان از جذب کافی هورمون توسط گیاه عمل محلول‌پاشی سه بار و به فاصله هر چهار روز یک‌بار روی کل بوته انجام گردید.

برای اعمال تنش خشکی، در مرحله گل‌دهی آبیاری قطع و تا رسیدن پتانسیل آب خاک به ۱/۵- مگاپاسکال ادامه یافت (Contour-Ansel *et al*., 2010) و سپس آبیاری مجدد انجام شد. برای تعیین درصدی از رطوبت خاک که در آن پتانسیل آب خاک به ۱/۵- مگاپاسکال می‌رسید از منحنی رطوبتی خاک استفاده شد (شکل ۱). برای این منظور، بعد از قطع آبیاری هر دو روز یکبار نمونه‌برداری از خاک صورت گرفت و درصد رطوبت وزنی خاک تعیین شد و آبیاری تیمار تنش وقتی صورت گرفت که درصد رطوبت خاک به ۱۲ درصد (نقطه پژمردگی دائم) رسید. برای ترسیم منحنی رطوبتی خاک، نمونه‌برداری صورت گرفت و پتانسیل آب خاک در رطوبت‌های مختلف در آزمایشگاه خاکشناسی دانشکده

Archive of SID
www.SID.ir

کشاورزی دانشگاه زنجان تعیین شد. سپس منحنی رطوبتی که ارتباط بین درصد رطوبت وزنی و مکش خاک را نشان می‌داد، ترسیم شد (شکل ۱). همچنین، تیمار شاهد به‌طور تقریبی هر هفته یک‌بار آبیاری شد، به‌گونه‌ای که رطوبت خاک در محدوده رطوبت سهل‌الوصول (۱۸ تا ۲۲ درصد رطوبت وزنی) حفظ شود. درصد وزنی رطوبت خاک مزرعه آزمایش در ظرفیت زراعی ۳۳ درصد، و در نقطه پژمردگی دائم ۱۲ درصد، تعیین شد (شکل ۱) و ازآنجایی‌که کمبود مجاز مدیریتی (MAD) لوبیا ۰/٤ است (Rezaei & Jabbari, 2015)، مقدار رطوبت قابل دسترس ۱۸ تا ۲۲ درصد وزنی تعیین شد.



شکل ۱. منحنی رطوبتی خاک محل انجام پژوهش

برای اندازه‌گیری شاخص سطح برگ در دو مرحله (اوج تنش خشکی و یک هفته پس از آبیاری مجدد) از هر واحد آزمایشی پنج بوته به‌طور تصادفی برداشت شد و برگ‌های بوته‌ها جدا گردید و سطح برگ آن‌ها توسط دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (Delta T Device LTD, England) اندازه‌گیری شد و شاخص سطح برگ از تقسیم میزان سطح برگ به مساحت زمین محاسبه گردید (Li *et al*., 2015).

در پایان فصل رشد و پس از رسیدگی کامل مزرعه، ۱۰ بوته به‌طور تصادفی برداشت و ارتفاع بوته و تعداد ساقه‌های فرعی آن‌ها ثبت شد. همچنین، روی این ۱۰ بوته اجزای عملکرد شامل تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن ۱۰۰ دانه اندازه‌گیری شد. به‌علاوه، مساحت دو مترمربع از سطح مزرعه برداشت و عملکرد دانه و زیست‌توده گیاه اندازه‌گیری شد و سپس شاخص برداشت از تقسیم عملکرد دانه به عملکرد زیست‌توده محاسبه گردید (Anjum *et al*., 2011).

پس از انجام اندازه‌گیری‌ها، تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (9.1) انجام شد. مقایسه میانگین با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال پنج درصد انجام گردید و جهت رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel (2013) استفاده گردید.

۳. نتایج و بحث

۳. ۱. ارتفاع بوته و تعداد ساقه‌های فرعی

نتایج تجزیه واریانس صفات ارتفاع بوته و تعداد ساقه‌های فرعی نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار بین ارقام بود (جدول ۱). تیپ رشد رقم کوشا، رشد نامحدود و ژنوتیپ COS16، رشد محدود می‌باشد. بنابراین، ارتفاع بوته و تعداد ساقه‌های فرعی رقم کوشا (به‌ترتیب با میانگین‌های ۵۳/۳۵ سانتی‌متر و ٦/۵۹ عدد) نسبت به ژنوتیپ COS16 (به‌ترتیب با میانگین‌های ۳۹/٦۵ سانتی‌متر و ٤/۸۸ عدد) بالاتر بود (جدول ۲). اعمال تنش خشکی و هورمون‌پاشی در مرحله گل‌دهی گیاه انجام شد و از آن‌جایی‌که در مرحله رشد زایشی، بیشتر مواد فتوسنتزی به اندام‌های زایشی گیاه اختصاص می‌یابد. بدین ترتیب، اعمال تیمارها بر صفات ارتفاع بوته و تعداد ساقه‌های فرعی، تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول‌های ۱ و ۲). در پژوهش دیگری نیز گزارش شده است که تنش رویشی موجب کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته و تعداد ساقه‌های فرعی ژنوتیپ‌های لوبیا شد، ولی تنش زایشی اثر معنی‌داری بر این صفات نداشت (Sepehri *et al*., 2015) که همسو با یافته‌های پژوهش حاضر می‌باشد.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۱. تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک و عملکرد دانه لوبیا با اعمال غلظت‌های مختلف اپی‌براسینولید در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات									
		ارتفاع بوته	تعداد ساقه‌های فرعی	شاخص سطح برگ مرحله اول †	شاخص سطح برگ مرحله دوم ††	تعداد غلاف در بوته	تعداد دانه در غلاف	وزن ۱۰۰ دانه	عملکرد دانه	عملکرد زیست‌توده	شاخص برداشت
تکرار	۲	۲۶/۰۰^{ns}	۴/۵۲^{ns}	۰/۰۷^{ns}	۰/۱۳^{ns}	۰/۳۹^{ns}	۰/۱۹^{ns}	۱۷/۱۹^{ns}	۳۸۴۲۸۶/۷۷^{ns}	۹۳۵۸۷/۳۴^{ns}	۱۰۵/۵۴^{ns}
آبیاری	۱	۲۱/۰۷^{ns}	۳/۳۱^{ns}	۱۵/۴۷**	۰/۷۱^{ns}	۶۰/۷۵*	۶/۷۵*	۲۵۸/۹۵*	۲۹۲۲۴۶۴۱/۰۵*	۳۸۷۷۴۵۹۱/۵۴*	۳۹۵۲/۷۰*
خطای اصلی	۲	۱۳۷/۳۲	۲/۸۷	۰/۰۶	۰/۴۴	۱/۱۰	۰/۱۵	۱۳/۰۸	۵۲۲۹۲۹/۰۰	۲۰۶۴۹۰۹/۲۳	۵۷/۸۸
ارقام	۱	۲۲۴۹/۵۴**	۳۵/۰۲**	۱/۰۴*	۰/۷۹**	۴/۵۶**	۳/۲۷**	۴۳۰/۹۵**	۲۸۱۰۸۴۹/۷۶**	۲۸۶۷۵۹۴/۱۰*	۳۴۲/۹۵*
هورمون	۳	۳۰/۲۵^{ns}	۰/۵۰^{ns}	۰/۹۸**	۰/۴۴*	۱/۹۵*	۰/۸۳*	۲۱/۲۲*	۱۱۱۱۸۴۸/۹۱**	۲۳۸۴۸۰۶/۷۴*	۴۰۴/۱۳**
اثر متقابل آبیاری × ارقام	۱	۱۸/۷۵^{ns}	۰/۸۰^{ns}	۲/۶۱**	۰/۰۱^{ns}	۰/۱۶^{ns}	۰/۰۳^{ns}	۰/۱۳^{ns}	۸۵۴۸۸۰/۴۲*	۸۲۹۶۵۹/۸۴^{ns}	۱/۷۹^{ns}
اثر متقابل آبیاری × هورمون	۳	۳۲/۱۴^{ns}	۱/۳۰^{ns}	۰/۰۴^{ns}	۰/۰۴^{ns}	۱/۳۱^{ns}	۰/۴۲^{ns}	۲/۵۵^{ns}	۱۰۳۹۵۵/۵۰^{ns}	۷۱۲۶۴۷/۲۹^{ns}	۱۴/۹۹^{ns}
اثر متقابل ارقام × هورمون	۳	۱۸/۶۵^{ns}	۰/۴۹^{ns}	۰/۰۶^{ns}	۰/۰۶^{ns}	۰/۳۴^{ns}	۰/۲۱^{ns}	۳/۳۱^{ns}	۱۱۲۵۹۱/۷۲^{ns}	۳۸۲۰۱۲/۰۰^{ns}	۵/۵۷^{ns}
اثر متقابل آبیاری × ارقام × هورمون	۳	۱/۶۰^{ns}	۰/۴۵^{ns}	۰/۲۳^{ns}	۰/۰۳^{ns}	۱/۱۶^{ns}	۰/۱۱^{ns}	۱۱/۳۴^{ns}	۴۳۰۸۰/۵۹^{ns}	۲۹۶۵۱۸/۴۵^{ns}	۴۱/۱۰^{ns}
خطای کل	۲۸	۱۸/۷۷	۰/۶۰	۰/۲۰	۰/۱۰	۰/۵۷	۰/۲۳	۷/۱۰	۱۳۹۱۵۱/۲۵	۶۱۲۶۱۹/۸۳	۵۵/۲۸
ضریب تغییرات (٪)		۹/۳۲	۱۳/۵۰	۲۴/۷۵	۲۴/۶۸	۱۵/۶۰	۱۴/۲۳	۹/۸۵	۱۹/۹۵	۱۸/۳۸	۱۷/۶۴

ns، * و **: نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار، وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد است.

† اوج تنش خشکی و †† یک هفته پس از آبیاری مجدد.

جدول ۲. مقایسات میانگین صفات مورفولوژیک و عملکرد دانه لوبیا با اعمال غلظت‌های مختلف اپی‌براسینولید در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی

	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	تعداد ساقه‌های فرعی	شاخص سطح برگ مرحله اول †	شاخص سطح برگ مرحله دوم ††	تعداد غلاف در بوته	تعداد دانه در غلاف	وزن ۱۰۰ دانه (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار)	عملکرد زیست‌توده (کیلوگرم بر هکتار)	شاخص برداشت (درصد)
				سطوح آبیاری						
آبیاری مطلوب	۴۷/۱۶a	۵/۴۸a	۲/۳۶a	۱/۳۹a	۵/۹۶a	۳/۷۷a	۲۹/۳۷a	۲۶۵۰/۰a	۵۱۵۷/۲a	۵۱/۲۲a
تنش خشکی	۴۵/۸۴a	۶/۰۰a	۱/۲۲b	۱/۱۵a	۳/۷۱b	۳/۰۲b	۲۴/۷۳b	۱۰۸۹/۴b	۳۳۵۹/۷b	۳۳/۰۷b
				ارقام						
COS16	۳۹/۶۵b	۴/۸۸b	۱/۹۴a	۱/۴۰a	۵/۱۴a	۳/۱۳b	۲۴/۰۵b	۱۶۲۷/۷b	۴۰۱۴/۰b	۳۹/۴۷b
کوشا	۵۳/۳۵a	۶/۵۹a	۱/۶۴b	۱/۱۴b	۴/۵۳b	۳/۶۵a	۳۰/۰۵a	۲۱۱۱/۷a	۴۵۰۲/۹a	۴۴/۸۲a
				غلظت‌های مختلف اپی‌براسینولید (میکرومولار)						
۰	۴۷/۵۱a	۵/۶۴a	۱/۳۹b	۱/۰۲b	۴/۲۶b	۳/۰۰b	۲۵/۲۱b	۱۴۱۵/۹b	۳۸۰۲/۵b	۳۴/۸۷c
۲	۴۵/۰۱a	۵/۷۵a	۲/۰۶a	۱/۴۸a	۴/۸۷ab	۳/۵۸a	۲۸/۳۸a	۲۰۶۸/۲a	۴۳۵۹/۲ab	۴۴/۹۹ab
۴	۴۵/۲۹a	۵/۵۴a	۱/۸۸a	۱/۳۳a	۵/۰۳a	۳/۵۲a	۲۷/۳۶ab	۲۰۰۱/۷a	۴۰۳۹/۱b	۴۸/۲۵a
۶	۴۸/۱۹a	۶/۰۲a	۱/۸۳a	۱/۲۵ab	۵/۱۸a	۳/۴۷a	۲۷/۲۶ab	۱۹۹۳/۰a	۴۸۳۳/۰a	۴۰/۴۹bc

میانگین‌های با حروف مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر ندارند.

† اوج تنش خشکی و †† یک هفته پس از آبیاری مجدد.

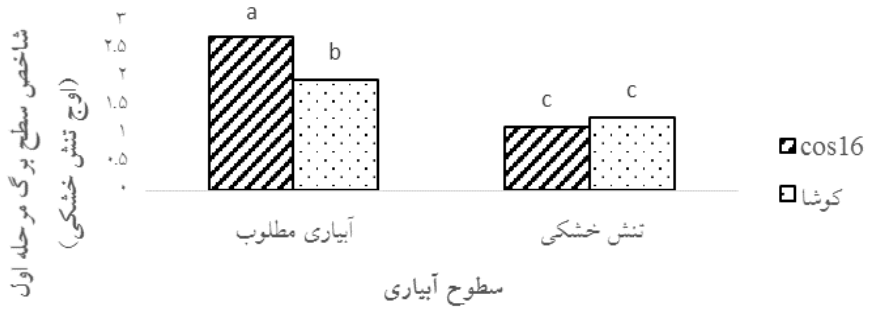
Archive of SID
www.SID.ir

۳. ۲. شاخص سطح برگ

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که اثر سطوح آبیاری، ارقام، هورمون‌پاشی و اثر متقابل سطوح آبیاری و ارقام بر شاخص سطح برگ مرحله اول (اوج تنش خشکی) معنی‌دار بود (جدول ۱). ژنوتیپ COS16 در شرایط آبیاری مطلوب (با میانگین ۲/۷٤) بالاترین شاخص سطح برگ و ژنوتیپ COS16 در شرایط اعمال تنش خشکی (با میانگین ۱/۱٤) پایین‌ترین شاخص سطح برگ را داشتند (شکل ۲). اعمال تنش خشکی در رقم کوشا باعث کاهش ۳۳/۸٤ درصدی و در ژنوتیپ COS16 باعث کاهش ۵۸/۳۹ درصدی در شاخص سطح برگ شد (شکل۲). به‌نظر می‌رسد کمبود آب منجر به کاهش پتانسیل آب برگ، کاهش رشد برگ و در نتیجه کاهش سطح برگ می‌گردد. در آزمایشی گزارش شده است که تنش خشکی باعث کاهش سطح برگ لوبیا قرمز نسبت به شرایط شاهد شده است (Emam *et al.*, 2010). در بسیاری از گونه‌های گیاهی اصولاً تنش خشکی، میزان رشد و سطح برگ گیاهان را کاهش می‌دهد (Hu *et al.*, 2013).

نتایج نشان داد که کاربرد اپی‌براسینولید باعث افزایش شاخص سطح برگ نسبت به عدم کاربرد این هورمون شد (جدول ۲). بالاترین شاخص سطح برگ با کاربرد دو میکرومولار اپی‌براسینولید حاصل شد به‌طوری‌که کاربرد این غلظت، شاخص سطح برگ را به میزان ٤۸/۲۰ درصد نسبت به عدم کاربرد هورمون افزایش داد (جدول ۲). افزایش سطح برگ با کاربرد اپی‌براسینولید با توانایی گیاه در جذب بیشتر نور و در نتیجه بهبود کارایی فتوسنتز در ارتباط است. این امر نشان‌دهنده اثر مثبت اپی‌براسینولید بر تقسیم سلولی و در نتیجه اندازه برگ، سطح برگ و تعداد روزنه‌ها است (Yu *et al.*, 2004). افزایش شاخص سطح برگ در اثر کاربرد اپی‌براسینولید ممکن است به فعالیت بافت‌های مریستمی گیاه و افزایش تعداد و اندازه سلول‌ها نسبت داده شود که در نهایت سطح فتوسنتزکننده را افزایش می‌دهد (Prakash *et al.*, 2008). گزارش شده است که تنش خشکی موجب کاهش سطح برگ بوته‌های ذرت شد، ولی کاربرد براسینولید باعث بهبود سطح برگ در هر دو شرایط تنش و عدم تنش خشکی گردید (Anjum *et al.*, 2011).

نتایج تجزیه واریانس شاخص سطح برگ مرحله دوم (یک هفته پس از آبیاری مجدد) نیز بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار بین ارقام و هورمون‌پاشی بود (جدول ۱). ژنوتیپ COS16 نسبت به رقم کوشا، شاخص سطح برگ بالاتری داشت (جدول ۲).



شکل ۲. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح آبیاری و ارقام بر شاخص سطح برگ مرحله اول (اوج تنش خشکی)
میانگین‌های با حروف مشابه مطابق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری ندارند.

Archive of SID
www.SID.ir

همچنین، کاربرد اپی‌براسینولید باعث افزایش شاخص سطح برگ نسبت به عدم کاربرد این هورمون شد و بالاترین شاخص سطح برگ با کاربرد دو میکرومولار اپی‌براسینولید حاصل شد، به‌طوری‌که کاربرد این غلظت، شاخص سطح برگ را به میزان ٤٥/١٠ درصد نسبت به عدم کاربرد هورمون افزایش داد (جدول۲). عدم تفاوت معنی‌دار شاخص سطح برگ در این مرحله بین تیمارهای آبیاری مطلوب و اعمال تنش خشکی می‌تواند نشان‌دهنده بهبود گیاه در این مقطع زمانی باشد. در گیاهانی که پس از آبیاری مجدد، بهبود صورت می‌گیرد، احتمالاً این بهبود (برگشت‌پذیری) مربوط به تحمل گیاه و یا عدم تولید مواد خسارت‌زا در حد توقف کارکردهای فتوسنتزی است. ولی، محققان تعریف واضحی برای درجه برگشت‌پذیری فتوسنتز و عوامل مربوط به فتوسنتز ارائه نداده‌اند (Miyashita *et al*., 2005). برگشت‌پذیری شاخص سطح برگ در این آزمایش نشان‌دهنده این مسأله است که احتمالاً تخریب مراکز فتوسنتزی در این گیاه با اعمال تنش خشکی ناچیز بوده است.

۳. ۳. تعداد غلاف در بوته

اثر سطوح آبیاری، ارقام و هورمون‌پاشی بر تعداد غلاف در بوته معنی‌دار بود (جدول ۱). اعمال تنش خشکی باعث کاهش ۳۷/۷۵ درصد در تعداد غلاف در بوته نسبت به آبیاری مطلوب شد (جدول ۲). بیشترین آسیب ناشی از تنش خشکی مربوط به کاهش تعداد غلاف در بوته نسبت به سایر اجزای عملکرد بود (جدول ۲). بنابراین، به‌نظر می‌رسد که تعداد غلاف در بوته حساس‌ترین جزء عملکرد به تنش خشکی باشد. کاهش تعداد غلاف در بوته لوبیا بر اثر تنش خشکی در پژوهش‌های دیگری نیز گزارش شده است (Ahmed & Suliman, 2010; Bastos *et al*., 2011; Upreti & Murti, 2004). که مطابق با نتایج این تحقیق می‌باشد. در هنگام اعمال تنش خشکی در مرحله گل‌دهی، تعداد زیادی از گل‌ها که توانایی بالقوه تبدیل شدن به غلاف را دارند از بین رفته و تعداد غلاف در بوته کاهش می‌یابد. محققین دیگری نیز کاهش تعداد غلاف در بوته تحت تنش خشکی را ناشی از ریزش اندام‌های زایشی مثل گل‌ها و غلاف‌ها دانسته‌اند (Omidi & Sepehri, 2014).

ژنوتیپ COS16 نسبت به رقم کوشا تعداد غلاف در بوته بیشتری داشت (جدول ۲). همچنین، کاربرد اپی‌براسینولید باعث افزایش تعداد غلاف در بوته نسبت به عدم کاربرد این هورمون شد (جدول ۲). بالاترین تعداد غلاف در بوته با کاربرد شش میکرومولار اپی‌براسینولید حاصل شد که با تعداد غلاف در بوته با کاربرد غلظت‌های چهار و دو میکرومولار از این هورمون تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۲). ازآنجایی‌که در لوبیا تعداد غلاف در بوته حساس‌ترین جزء عملکرد در شرایط تنش خشکی بوده و مهم‌ترین عامل محدودکننده عملکرد دانه است (Sadeghipour *et al*., 2005)، از این‌رو حفظ تعداد غلاف در بوته در چنین شرایطی به بهبود عملکرد کمک می‌کند. به‌نظر می‌رسد کاربرد اپی‌براسینولید با افزایش تحمل گیاه به تنش خشکی (Anjum *et al*., 2011; Upreti & Murti, 2004; Zhang *et al*., 2008)، سبب حفظ گل‌های بارور در روی ساقه اصلی و در نتیجه افزایش تعداد غلاف در بوته در هر دو شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی شده است.

۳. ٤. تعداد دانه در غلاف

نتایج آزمایش نشان داد که اثر سطوح آبیاری، ارقام و هورمون‌پاشی بر تعداد دانه در غلاف معنی‌دار بود (جدول۱). اعمال تنش خشکی باعث کاهش ۱۹/۸۹ درصد در تعداد دانه در غلاف نسبت به آبیاری مطلوب شد (جدول ۲). ازآنجایی‌که گیاهان دارای سازوکارهایی هستند که اندازه مخزن را بر اساس مقدار اسیمیلات‌های

Archive of SID
www.SID.ir

موجود تنظیم می‌کنند بنابراین، در شرایط تنش خشکی که کمبود آب موجب بسته شدن روزنه‌ها، کاهش فتوسنتز و در نهایت کاهش اسیمیلات‌ها می‌شود، گیاه با ریزش گل‌ها و غلاف‌های خود اندازه مخزن را کاهش می‌دهد و این امر سبب کاهش تعداد غلاف در بوته و به دنبال آن کاهش تعداد دانه در غلاف می‌شود (Omidi & Sepehri, 2014). کاهش تعداد دانه در غلاف لوبیا بر اثر تنش خشکی در پژوهش دیگری نیز گزارش شده است (Ahmed & Suliman, 2010) که مؤید نتایج این تحقیق می‌باشد.

رقم کوشا نسبت به ژنوتیپ COS16 تعداد دانه در غلاف بالاتری داشت (جدول ۲). همچنین، کاربرد اپی‌براسینولید باعث افزایش تعداد دانه در غلاف نسبت به عدم کاربرد این هورمون شد (جدول ۲). بالاترین تعداد دانه در غلاف با کاربرد دو میکرومولار اپی‌براسینولید حاصل شد به‌طوری‌که کاربرد این غلظت، تعداد دانه در غلاف را به‌میزان ۱۹/۳۳ درصد نسبت به عدم کاربرد هورمون افزایش داد (جدول ۲). کاربرد اپی‌براسینولید احتمالاً با کمک به حفظ گل‌ها و جنین‌های تازه تشکیل شده سبب افزایش تعداد دانه در غلاف در هر دو شرایط تنش و عدم تنش خشکی گردیده است.

۳. ۵. وزن ۱۰۰ دانه

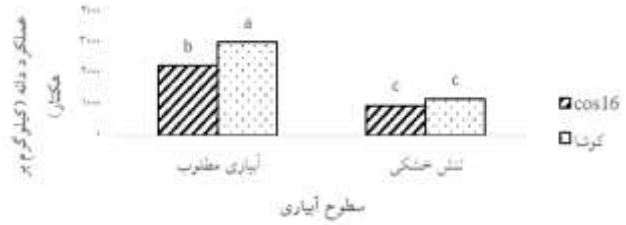
اثر سطوح آبیاری، ارقام و هورمون‌پاشی بر وزن ۱۰۰ دانه معنی‌دار بود (جدول ۱). اعمال تنش خشکی باعث کاهش ۱۵/۸۰ درصد در وزن ۱۰۰ دانه نسبت به آبیاری مطلوب شد (جدول ۲). تنش خشکی باعث کاهش تولید و انتقال اسیمیلات‌ها به دانه شد و از طرف دیگر، کاهش طول دوره رشد سبب پر نشدن کامل دانه‌ها و تولید دانه‌های کوچک‌تر در شرایط تنش خشکی می‌شود و وزن دانه‌ها کاهش می‌یابد. گزارش شده است که کاهش وزن دانه در شرایط تنش خشکی به‌دلیل کوتاهی دوره مؤثر پر شدن دانه و اختلال در ساخت و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها اتفاق می‌افتد (Omidi & Sepehri, 2014). کاهش وزن دانه لوبیا بر اثر تنش خشکی در پژوهش‌های دیگری نیز گزارش شده است (Ahmed & Suliman, 2010; Munoz-Perea *et al*., 2006) که مطابق با نتایج این تحقیق می‌باشد.

رقم کوشا نسبت به ژنوتیپ COS16 وزن ۱۰۰ دانه بالاتری داشت (جدول ۲). همچنین، کاربرد اپی‌براسینولید باعث افزایش وزن ۱۰۰ دانه نسبت به عدم کاربرد این هورمون شد (جدول ۲). بالاترین وزن ۱۰۰ دانه با کاربرد دو میکرومولار اپی‌براسینولید حاصل شد به‌طوری‌که کاربرد این غلظت، وزن ۱۰۰ دانه را به میزان ۱۲/۵۷ درصد نسبت به عدم کاربرد هورمون افزایش داد (جدول۲). کاربرد اپی‌براسینولید ممکن است با طولانی کردن دوره مؤثر پر شدن دانه سبب افزایش وزن دانه‌ها در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی شده باشد. افزایش وزن ۱۰۰ دانه با کاربرد براسینواستروئید در پژوهش دیگری روی نخود نیز گزارش شده است و محققین این افزایش را ناشی از افزایش فعالیت نیتروژناز، افزایش سرعت فتوسنتز، تسهیل انتقال مواد فتوسنتزی به مخازن و ذخیره بیشتر ماده خشک تولیدی دانستند (Ali *et al*., 2007).

۳. ٦. عملکرد دانه

اثر سطوح آبیاری، ارقام، هورمون‌پاشی و اثر متقابل سطوح آبیاری و ارقام بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۱). رقم کوشا در شرایط آبیاری مطلوب (با میانگین ۳۰۲۵/٤٥ کیلوگرم بر هکتار) بالاترین عملکرد دانه و ژنوتیپ COS16 در شرایط اعمال تنش خشکی (با میانگین ۹۸۰/۸۹ کیلوگرم بر هکتار) پایین‌ترین عملکرد دانه را داشتند (شکل ۳). اعمال تنش خشکی در رقم کوشا باعث کاهش ٦۰/٤۰ درصدی و در ژنوتیپ COS16 باعث کاهش ٥٦/۸۸ درصدی در عملکرد دانه شد (شکل ۳).

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۳. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح آبیاری و ارقام بر عملکرد دانه

میانگین‌های با حروف مشابه مطابق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری ندارند.

تنش خشکی از طریق کاهش سطح برگ‌ها و اختلال در روند جذب و انتقال عناصر غذایی، عرضه مواد پرورده را کاهش داده و موجب تغییر و کاهش در اجزای عملکرد و عملکرد دانه می‌گردد. همچنین، کاهش تولید مواد فتوسنتزی و کاهش لقاح گل‌ها در شرایط خشکی، کاهش تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن دانه‌ها را در پی خواهد داشت و به‌دنبال کاهش این اجزاء، عملکرد دانه نیز کاهش خواهد یافت. نتایج تحقیقات سایر آزمایش‌ها نیز حاکی از کاهش عملکرد دانه لوبیا بر اثر تنش خشکی است (Ahmed & Suliman, 2010; Bastos *et al*., 2011; Munoz-Perea *et al*., 2006; Padilla-Ramirez *et al*., 2005). در پژوهشی دیگر نیز تنش خشکی باعث کاهش عملکرد دانه لوبیا شد و محققین این کاهش را به‌دلیل کاهش گره‌زایی ریشه‌ها در شرایط تنش خشکی دانستند (Upreti & Murti, 2004). همبستگی عملکرد دانه با صفات تعداد غلاف در بوته ($r=۰/۷۹^{**}$)، تعداد دانه در غلاف ($r=۰/۷۸^{**}$) و وزن ۱۰۰ دانه ($r=۰/٦٦^{**}$) مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۳). همچنین، ضریب همبستگی عملکرد دانه با عملکرد زیست‌توده ($r=۰/۸۵^{**}$) نیز مثبت و معنی‌دار بود که نشان می‌دهد با افزایش زیست‌توده، عملکرد دانه افزایش داشته است (جدول ۳). با توجه به این‌که دانه حاصل فعالیت فتوسنتزی اندام‌هایی نظیر شاخ و برگ است، همبستگی قوی این دو صفت نشان می‌دهد که برای داشتن عملکرد زیاد به گیاهانی با رشد سبزینه‌ای خوب و قدرت رویشی مناسب احتیاج است (Sabokdast & Khyalparast, 2008). بنابراین، بالا بودن عملکرد دانه در رقم کوشا نسبت به ژنوتیپ COS16 را می‌توان به بالا بودن اجزای عملکرد و نیز بالا بودن عملکرد زیست‌توده در این رقم نسبت داد.

کاربرد اپی‌براسینولید باعث افزایش عملکرد دانه نسبت به عدم کاربرد این هورمون شد (جدول ۲). بالاترین عملکرد دانه با کاربرد دو میکرومولار اپی‌براسینولید (با میانگین ۲۰٦۸/۲ کیلوگرم بر هکتار) حاصل شد. به‌طوری‌که کاربرد این غلظت، عملکرد دانه را به میزان ٤٦/۰۷ درصد نسبت به عدم کاربرد هورمون افزایش داد (جدول۲). کاربرد اپی‌براسینولید با افزایش تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن ۱۰۰دانه، باعث افزایش عملکرد دانه شده است. محلول‌پاشی با براسینولید موجب افزایش عملکرد دانه ماش (Sengupta *et al*., 2009)، سویا (Zhang *et al*., 2008)، آفتاب‌گردان (Bera *et al*., 2014) و ذرت (Anjum *et al*., 2011) نیز شده است. در مطالعه‌ای، کاربرد براسینولید باعث افزایش عملکرد دانه لوبیا در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی شد و محققین این افزایش را به‌دلیل تأثیر مثبت براسینولید بر محتوای سایتوکینین و فعالیت نیتروژناز در ریشه‌ها دانستند (Upreti & Murti, 2004). افزایش عملکرد دانه با کاربرد براسینولید ممکن است به‌دلیل راندمان فتوشیمیایی بالاتر از نظر جذب دی‌اکسیدکربن باشد که به افزایش تجمع رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی به‌ویژه

Archive of SID
www.SID.ir

کلروفیل و محتوای بیشتر پروتئین‌های محلول نسبت داده می‌شود (Bera *et al*., 2014).

۳. ۷. عملکرد زیست‌توده

اثر سطوح آبیاری، ارقام و هورمون‌پاشی بر عملکرد زیست‌توده معنی‌دار بود (جدول ۱). اعمال تنش خشکی باعث کاهش ۳٤/۸۵ درصد در عملکرد زیست‌توده نسبت به آبیاری مطلوب شد (جدول ۲). کمبود آب باعث کاهش توانایی گیاه در جذب عناصر غذایی، ساخت و انتقال مواد پرورده می‌شود و این امر تجمع ماده خشک در گیاه و در نتیجه عملکرد زیست‌توده را کاهش می‌دهد. کاهش عملکرد زیست‌توده لوبیا بر اثر تنش خشکی در پژوهش دیگری نیز گزارش شده است (Munoz-Perea *et al*., 2006).

رقم کوشا نسبت به ژنوتیپ COS16 عملکرد زیست‌توده بالاتری داشت (جدول ۲). بالاتر بودن عملکرد زیست‌توده رقم کوشا نسبت به ژنوتیپ COS16 را می‌توان به بالا بودن ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی، اجزای عملکرد و عملکرد این رقم نسبت داد. وجود همبستگی مثبت عملکرد زیست‌توده با عملکرد دانه ($r=۰/۸۵^{**}$)، تعداد غلاف در بوته ($r=۰/۷٤^{**}$)، تعداد دانه در غلاف ($r=۰/٦۵^{**}$)، وزن ۱۰۰ دانه ($r=۰/٤۸^{**}$)، ارتفاع بوته ($r=۰/۳۵^{*}$) و تعداد ساقه‌های فرعی ($r=۰/۲۱$) نیز مؤید این نتیجه می‌باشد (جدول ۳). همچنین، کاربرد اپی‌براسینولید باعث افزایش عملکرد زیست‌توده در مقایسه با عدم کاربرد این هورمون شد (جدول ۲).

بالاترین عملکرد زیست‌توده با کاربرد شش میکرومولار اپی‌براسینولید حاصل شد که با کاربرد غلظت دو میکرومولار از این هورمون تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۲). بالا بودن ماده خشک تولیدی با کاربرد اپی‌براسینولید می‌تواند به‌دلیل گسترش بیشتر سطح برگ باشد، که با ایجاد منبع فیزیولوژیک کارآمد برای استفاده هرچه بیشتر از نور دریافتی باعث افزایش تولید ماده خشک بیشتر شده است. گزارش شده است که کاربرد براسینولید در سویا از طریق افزایش پتانسیل آب برگ، محتوای کلروفیل و فتوسنتز باعث افزایش سطح برگ، اجزای وابسته به عملکرد، ماده خشک و در نتیجه افزایش عملکرد زیست‌توده می‌گردد (Zhang *et al*., 2008).

جدول ۳. همبستگی صفات مورفولوژیک و عملکرد دانه لوبیا با اعمال غلظت‌های مختلف اپی‌براسینولید در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی

	ارتفاع بوته	تعداد ساقه‌های فرعی	شاخص سطح برگ مرحله اول†	شاخص سطح برگ مرحله دوم††	تعداد غلاف در بوته	تعداد دانه در غلاف	وزن ۱۰۰ دانه	عملکرد دانه	عملکرد زیست‌توده
تعداد ساقه‌های فرعی	۰/۷٤**								
شاخص سطح برگ مرحله اول†	−۰/۰۸^{ns}	−۰/۲۸^{ns}							
شاخص سطح برگ مرحله دوم††	−۰/۲۱^{ns}	−۰/۱٤^{ns}	۰/٤٤**						
تعداد غلاف در بوته	−۰/۰۵^{ns}	−۰/۱٤^{ns}	۰/۷۰**	۰/٤۰**					
تعداد دانه در غلاف	۰/۳۷**	۰/۱٦^{ns}	۰/٤۵**	۰/۲۳^{ns}	۰/٤۱**				
وزن ۱۰۰ دانه	۰/٤۹**	۰/۳۳*	۰/۳۵*	−۰/۰۲^{ns}	۰/۲۱^{ns}	۰/۵۳**			
عملکرد دانه	۰/۳۱*	۰/۱۲^{ns}	۰/٦٦**	۰/۲۹*	۰/۷۹**	۰/۷۸**	۰/٦٦**		
عملکرد زیست‌توده	۰/۳۵*	۰/۲۱^{ns}	۰/۵۰**	۰/۲٤^{ns}	۰/۷٤**	۰/٦۵**	۰/٤۸**	۰/۸۵**	
شاخص برداشت	۰/۱۵^{ns}	−۰/۰٤^{ns}	۰/٦۹**	۰/۲۷^{ns}	۰/٦٦**	۰/٦۹**	۰/٦٦**	۰/۸٤**	۰/٤۸**

ns، * و **: نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار و وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد است.
† اوج تنش خشکی و †† یک هفته پس از آبیاری مجدد.

Archive of SID
www.SID.ir

۳. ۸. شاخص برداشت

اثر سطوح آبیاری، ارقام و هورمون‌پاشی بر شاخص برداشت معنی‌دار بود (جدول ۱). اعمال تنش خشکی باعث کاهش ۳۵/٤٤ درصد در شاخص برداشت نسبت به آبیاری مطلوب شد (جدول ۲). کاهش شاخص برداشت لوبیا بر اثر تنش خشکی در پژوهش دیگری نیز گزارش شده است (Munoz-Perea *et al*., 2006) که همسو با نتایج پژوهش حاضر می‌باشد. در شرایط آبیاری مطلوب بالا بودن قدرت منبع و مخزن منجر به افزایش شاخص برداشت شد که ناشی از تشکیل تعداد زیادتر دانه در بوته بود که موجب اختصاص بیشتر مواد فتوسنتزی به دانه شد و در نتیجه شاخص برداشت افزایش یافت. در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط آبیاری مطلوب عملکرد دانه و عملکرد زیست‌توده هر دو به‌شدت کاهش یافت ولی نسبت کاهش در عملکرد دانه بیش از عملکرد زیست‌توده بود که باعث تفاوت معنی‌دار شاخص برداشت با شرایط آبیاری مطلوب شد.

رقم کوشا نسبت به ژنوتیپ COS16 شاخص برداشت بالاتری داشت (جدول ۲). بالا بودن شاخص برداشت در رقم کوشا می‌تواند به‌دلیل بالا بودن عملکرد دانه و زیست‌توده این رقم نسبت به ژنوتیپ COS16 باشد. همبستگی مثبت و معنی‌دار شاخص برداشت با صفات عملکرد دانه ($r=۰/۸٤^{**}$) و عملکرد زیست‌توده ($r=۰/٤۸^{**}$) نیز مؤید نتایج این آزمایش می‌باشد (جدول ۳). همچنین، کاربرد اپی‌براسینولید باعث افزایش شاخص برداشت نسبت به عدم کاربرد این هورمون شد (جدول ۲). بالاترین شاخص برداشت با کاربرد چهار میکرومولار اپی‌براسینولید حاصل شد که با کاربرد غلظت دو میکرومولار از این هورمون تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۲). افزایش شاخص برداشت با کاربرد اپی‌براسینولید را می‌توان به افزایش عملکرد دانه و زیست‌توده این گیاه در هر دو شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی نسبت داد.

٤. نتیجه‌گیری کلی

تنش خشکی باعث کاهش شاخص سطح برگ، اجزای عملکرد، عملکرد دانه، عملکرد زیست‌توده و شاخص برداشت شد. در هر دو رقم مورد بررسی و در هر دو شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی کاربرد اپی‌براسینولید باعث حصول عملکرد دانه بالاتری در مقایسه با عدم کاربرد این هورمون شد. کاربرد پایین‌ترین غلظت اپی‌براسینولید (دو میکرومولار) باعث بیشترین افزایش در شاخص سطح برگ، اجزای عملکرد و عملکرد دانه شد. بنابراین، کاربرد اپی‌براسینولید را به‌عنوان روشی نوین و اقتصادی جهت بهبود رشد و عملکرد لوبیا هم در شرایط آبیاری مطلوب و هم در شرایط تنش خشکی می‌توان گزارش نمود، ضمن این‌که دستیابی به اطلاعاتی جامع در زمینه تأثیرات مثبت اپی‌براسینولید نیازمند مطالعه این هورمون در شرایط مختلف آب‌وهوایی نیز می‌باشد.

منابع

1. Ahmed, F.E. & Suliman, A.S.H. (2010). Effect of water stress applied at different stages of growth on seed yield and water use efficiency of cowpea. *Agriculture and Biology Journal of North America*, *1*(4), 534-540.
2. Ali, B., Hayat, S. & Ahmad, A. (2007). 28-Homobrassinolide ameliorates the saline stress in chickpea (*Cicer arietinum* L). *Environmental and Experimental Botany*, *59*(2), 217-223. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.12.002
3. Anjum, S.A., Wang, L.C., Farooq, M., Hussain, M., Xue, L.L. & Zou, C.M. (2011). Brassinolide application improves the drought tolerance in maize through modulation of enzymatic antioxidants and leaf gas exchange. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *197*(3), 177-185. https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2010.00459.x

Archive of SID

www.SID.ir

4. Arteca, R.N. & Arteca, J.M. (2008). Effects of brassinosteroid, auxin, and cytokinin on ethylene production in *Arabidopsis thaliana* plants. *Journal of Experimental Botany*, *59*(11), 3019-3026. https://doi.org/10.1093/jxb/ern159
5. Bajguz, A. & Hayat, S. (2009). Effects of brassinosteroids on the plant responses to environmental stresses. *Plant Physiology and Biochemistry*, *47*(1), 1-8. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2008.10.002
6. Bastos, E.A., Nascimento, S.P., Silva, E.M., Filho, F.R.F. & Gomide, R.L. (2011). Identification of cowpea genotypes for drought tolerance. *Revista Ciencia Agronomica*, *42*(1), 100-107. http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902011000100013
7. Behnamnia, M., Kalantari, K.M. & Ziaie, J. (2009). The effects of brassinosteroid on the induction of biochemical changes in *Lycopersicon esculentum* under drought stress. *Turkish Journal of Botany*, *33*, 417-428. DOI:10.3906/bot-0806-12
8. Bera, A.K., Pramanik, K. & Mandal, B. (2014). Response of biofertilizers and homobrassinolide on growth, yield and oil content of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *African Journal of Agricultural Research*, *9*(48), 3494-3503. https://doi.org/10.5897/AJAR2013.8457
9. Contour-Ansel, D., Torres-Franklin, M.L., Zuily-Fodil, Y. & Cruz de Carvalho, M.H. (2010). An aspartic acid protease from common bean is expressed 'on call' during water stress and early recovery. *Journal of Plant Physiology*, *167*(18), 1606-1612. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2010.06.018
10. Emam, Y., Shekoofa, A., Salehi, F. & Jalali, A.H. (2010). Water stress effects on two common bean cultivars with contrasting growth habits. *Agronomy and Soil Science*, *9*(5), 495-499.
11. FAO, Food and Agriculture Organization. (2014). Crops production report from. http://faostat.fao.org
12. Hu, Y.Y., Zhang, Y.L., Yi, X.P., Zhan, D.X., Luo, H.H., Chow, W.S. & Zhang, W.F. (2013). The relative contribution of non-foliar organs of cotton to yield and related physiological characteristics under water deficit. *Journal of Integrative Agriculture*, *13*(5), 975-989. DOI: 10.1016/S2095-3119(13)60568-7
13. Li, X., Liu, Q., Yang, R., Zhang, H., Zhang, J. & Cai, E. (2015). The design and implementation of the leaf area index sensor. *Sensors*, *15*(3), 6250-6269. DOI:10.3390/s150306250
14. Miyashita, K., Tanakamaru, S., Maitani, T. & Kimura, K. (2005). Recovery responses of photosynthesis, transpiration, and stomatal conductance in kidney bean following drought stress. *Environmental and Experimental Botany*, *53*(2), 205-214. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2004.03.015
15. Munoz-Perea, C.G., Teran, H., Allen, R.G., Wright, J.L., Westermann, D.T. & Singh, S.P. (2006). Selection for drought resistance in dry bean landraces and cultivars. *Crop Science*, *46*(5), 2111-2120. DOI:10.2135/cropsci2006.01.0029
16. Omidi, F. & Sepehri, A. (2014). Effect of Sodium Nitroprusside on growth, yield and components of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under water deficit stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *45*(2), 243-254. DOI: 10.22059/IJFCS.2014.51903 (in Persian)
17. Padilla-Ramirez, J.S., Acosta-Gallegos, J.A., Acosta-Diaz, E., Mayek-Perez, N. & Kelly, J.D. (2005). Partitioning and partitioning rate to seed yield in drought stressed and non-stressed dry bean genotypes. *Annual report of the Bean Improvement Cooperative*, *48*, 153-175.
18. Pfeiffer, W.H. & McClafferty, B. (2007). HarvestPlus: Breeding crops for better nutrition. *Crop Science*, *47*(S3), S88-S105. DOI:10.2135/cropsci2007.09.0020IPBS
19. Prakash, M., Suganthi, S., Gokulakrishnan, J. & Sabesan, T. (2008). Effect of homobrassinolide on growth, physiology and biochemical aspects of sesame. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, *20*(1), 110-112.
20. Rezaei, Z. & Jabbari, F. (2015). Effect of drought stress on photo assimilate allocation of pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science*, *46*(2), 217-226. DOI: 10.22059/IJFCS.2015.54869. (in Persian)
21. Sabokdast, M. & Khyalparast, F. (2008). A study of relationship between grain yield and yield component in common bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Water and Soil Science*, *11*(42), 123-133. (in Persian)
22. Sadeghipour, O., Ghafari Khalige, H. & Monem, R. (2005). Effect of plant density on yield and yield components of determinate and indeterminate cultivars of red beans. *Journal of Agricultural Sciences*, *11*(1), 149-159. (in Persian)
23. Sengupta, K., Mitra, S. & Ray, M. (2009). Effect of brassinolide on growth and yield of summer green gram crop. *Indian Agriculturist*, *53*(3/4), 155-157.

Archive of SID
www.SID.ir

24. Sepehri, A., Abasi, R. & Karami, A. (2015). Effect of drought stress and salicylic acid on yield and yield component of bean genotypes. *Agricultural Crop Management*, *17*(2), 503-516. DOI: 10.22059/JCI.2015.55196. (in Persian)
25. Singh, S.P. (2006). Drought resistant in the race Durango dry bean landraces and cultivars. *Agronomy Journal*, *99*(5), 1219-1225. DOI:10.2134/agronj2006.0301
26. Talaat, N.B. & Shawky, B.T. (2012). 24-Epibrassinolide ameliorates the saline stress and improves the productivity of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Environmental and Experimental Botany*, *82*, 80-88. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.03.009
27. Talaat, N.B. & Shawky, B.T. (2013). 24-Epibrassinolide alleviates salt-induced inhibition of productivity by increasing nutrients and compatible solutes accumulation and enhancing antioxidant system in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Acta Physiologiae Plantarum*, *35*(3), 729-740. https://doi.org/10.1007/s11738-012-1113-9
28. Talaat, N.B. & Shawky, B.T. (2016). Dual application of 24-epibrassinolide and spermine confers drought stress tolerance in maize (*Zea mays* L.) by modulating polyamine and protein metabolism. *Journal of Plant Growth Regulation*, *35*(2), 518-533. https://doi.org/10.1007/s00344-015-9557-y
29. Upreti, K.K. & Murti, G.S.R. (2004). Effects of brassinosteroids on growth, nodulation, phytohormone content and nitrogenase activity in French bean under water stress. *Biologia Plantarum*, *48*(3), 407-411. https://doi.org/10.1023/B:BIOP.0000041094.13342.1b
30. Yuan, G.F., Jia, C.G., Li, Z., Sun, B., Zhang, L.P., Liu, N. & Wang, Q.M. (2010). Effect of brassinosteroids on drought resistance and abscisic acid concentration in tomato under water stress. *Scientia Horticulturae*, *126*(2), 103-108. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.06.014
31. Yu, J.Q., Huang, L.F., Hu, W.H., Zhou, Y.H., Mao, W.H., Ye, S.F. & Nogues, S. (2004). A role for brassinosteroids in the regulation of photosynthesis in *Cucumis sativus*. *Journal of Experimental Botany*, *55*(399), 1135-1143. https://doi.org/10.1093/jxb/erh124
32. Zhang, M., Zhai, Z., Tian, X., Duan, L. & Li, Z. (2008). Brassinolide alleviated the adverse effect of water deficits on photosynthesis and the antioxidant of soybean (*Glycine max* L.). *Plant Growth Regulation*, *56*(3), 257-264. https://doi.org/10.1007/s10725-008-9305-4.

Archive of SID

www.SID.ir

Crops Improvement
(Journal of Agricultural Crops Production)
Vol. 20 ■ No. 3 ■ Autumn 2018

The Effect of Epibrassinolide on Growth and Seed Yield of Bean under Optimal Irrigation and Drought Stress Conditions

Mahsa Mohammadi[1], Afshin Tavakoli[2*], Majid Pouryousef[2], Ehsan Mohseni Fard[3]

1. Ph.D. Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
2. Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

Received: January 17, 2018 Accepted: May 26, 2018

Abstract

In order to evaluate the increment possibility of bean seed yield by application of brassinosteroid, the present study has conducted a split factorial experiment, based on randomized complete block design with three replications. The experiment has been carried out in the research farm of Agriculture Faculty, the University of Zanjan, during cropping seasons of 2016-2017 and the irrigation levels include optimal irrigation with drought stress applied to main plots and bean cultivars (Kusha cultivar and COS16 genotype). Four levels of brassinosteroid, namely no-application (control), two, four, and six µM have been allocated to subplots as factorial. Drought stress has been applied in the flowering stage, wherein the bean plants have been simultaneously sprayed with both brassinosteroid (epibrassinolide) and drought stress. Results show that drought stress decreases leaf area index, yield components, seed yield, biological yield, and harvest index and the application of epibrassinolide minimizes the negative effects of drought stress, increasing the above traits. The highest seed yield belongs to the application of two µM of epibrassinolide with an average of 2068.2 $kg.ha^{-1}$. Also, among the studied cultivars, the Kusha cultivar under optimal irrigation with an average of 3025.45 $kg.ha^{-1}$ shows higher seed yield, compared to COS16 genotype. Therefore, the use of epibrassinolide can be suggested as a solution to increase drought stress resistance and enhance seed yield of bean under optimal irrigation and drought stress conditions.

Keywords: Biological yield, Harvest index, Leaf area index, Seed weight, Yield components.

Corresponding author: tavakoli@znu.ac.ir

www.SID.ir