

تأثیر پتاسیم و محرک‌های رشد بر خصوصیات رویشی و عملکرد لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.) تحت سطوح مختلف آبیاری

محمد کاظم علیلو^۱، محسن رشدی^{۲*}، ساسان رضادوست^۳، جواد خلیلی محله^۳ و علی نصراله‌زاده^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱/۲۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۴/۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۴/۱۹

چکیده

اجرای تکنیک‌های کم آبیاری به منظور بهره‌وری بیشتر از منابع آب راهکاری علمی به شمار می‌رود. این آزمایش به منظور بررسی تأثیر محرک‌های رشد در شرایط نرمال و محدود آبیاری بر خصوصیات رویشی و عملکرد لوبیا قرمز انجام گرفت. آزمایش به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه‌ای واقع در منطقه پیرموسی شهرستان خوی در سال ۱۴۰۰ اجرا گردید. کرت اصلی شامل آبیاری با فواصل ۸، ۱۱ و ۱۴ روز یک بار و فرعی کاربرد محرک‌های رشد در ۵ سطح شامل مصرف اسید هیومیک، محلول‌پاشی اسید آمینه، محرک ریشه‌زایی، کود مایع پتاسیم ۳۰ درصد و شاهد (عدم مصرف) بود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سطوح آبیاری تأثیر معنی‌داری بر صفات رویشی و عملکرد دانه و پرولین لوبیا قرمز داشت. همچنین، کاربرد محرک‌های رشد نیز به‌طور معنی‌داری صفات ارتفاع بوته، تعداد و ارتفاع اولین شاخه جانبی، عملکرد بیولوژیک و دانه را تحت تأثیر قرار داد. برهمکنش سطوح آبیاری و مواد محرک رشد بر ارتفاع اولین شاخه، عملکرد بیولوژیک و دانه، پرولین و آب نسبی برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. بیشترین عملکرد دانه با آبیاری ۸ روز یک‌بار و کاربرد اسید هیومیک و اسید آمینه به‌ترتیب به میزان ۳۰۷۶/۱ و ۲۹۸۲/۸ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن با میانگین ۱۲۲۰/۹ کیلوگرم در هکتار با آبیاری ۱۴ روز یک‌بار و عدم مصرف به‌دست آمد. نتایج پژوهش نشان داد که تأثیر کاربرد اسید هیومیک در شرایط نرمال آبیاری با بهبود مولفه‌های رویشی و در شرایط کم آبیاری با تعدیل اثرات کمبود آب در لوبیا قرمز توانست در جهت افزایش عملکرد کمی و کیفی آن مؤثر باشد.

واژگان کلیدی: اسید هیومیک، پرولین، عملکرد بیولوژیک، محرک رشد.

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

۲- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد خوی، دانشگاه آزاد اسلامی، خوی، ایران.

۳- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد خوی، دانشگاه آزاد اسلامی، خوی، ایران.

(نگارنده مسئول)

مقدمه

لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) گیاهی یک‌ساله، علفی و خودگشن از تیره Fabaceae است که به‌عنوان یکی از منابع تامین غذای انسان دارای پروتئینی در حد بالا، فسفر، آهن، ویتامین-های B₁ و C و فیبر بوده که فاقد کلسترول است (Wondimu and Tana, 2017). سطح زیر کشت لوبیا در ایران در حدود ۶۸ هزار هکتار می باشد (Anonymus, 2019). بیش از ۶۰ درصد نواحی رشد لوبیا در مناطق مختلف دنیا تحت تاثیر تنش‌های انتهایی یا متناوب قرار می‌گیرند (Beeber, 2012). خشکی سبب کاهش اندازه برگ‌ها، وزن خشک اندام هوایی، شاخص سطح برگ، شمار برگچه، میانگین سطح برگ و فشار تورژانس در بافت‌های گیاهی می‌شود. کاهش آماس سلول نخستین تاثیر خشکی است که موجب می‌شود سرعت رشد محصول و اندازه نهایی آن کاهش یافته و افت واحدهای فتوسنتز کننده منجر به کاهش عملکرد گردید (Hu et al., 2013). استفاده از کودهای طبیعی، از جمله اسید هیومیک بدون اثرات مخرب زیست محیطی جهت بالا بردن عملکرد می‌تواند موثر باشد، مواد هیومیکی شامل مخلوطی از ترکیبات آلی مختلف هستند که از منابع مختلفی مانند خاک، هوموس، پیت، لیگنیت اکسید شده، زغال سنگ و غیره استخراج می‌شوند که در اندازه مولکولی و ساختار شیمیایی متفاوت هستند (Rezazadeh et al., 2012).

ساکي‌نژاد و همکاران (Saki Nejad et al., 2011) به این نتیجه رسیدند که اسید هیومیک سبب افزایش معنی‌دار عملکرد و اجزای عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت شد. نتایج پژوهش سبزواری و همکاران (Sabzevari

2009, and Khazaei) نشان داده است رشد قسمت‌های هوایی و ریشه گیاه توسط اسید هیومیک تحریک می‌شوند، ولی اثر آن بر روی ریشه و جذب عناصر غذایی برجسته‌تر است. در پژوهشی بیشترین عملکرد دانه و پروتئین دانه نخود (*Cicer arietinum* L.) در شرایط کاربرد اسید هیومیک به‌دست آمد (Nakhzari et al., 2017). استفاده از اسید هیومیک در باقلا (*Vicia faba* L.) عملکرد دانه را به میزان قابل توجهی نسبت به تیمار شاهد افزایش داد (Roudgarnezhad et al., 2018). تعداد غلاف در بوته، عملکرد دانه، عملکرد پروتئین نخود در اثر کاربرد ۵ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک ۷۸/۶۹ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (Veisi et al., 2019). اسیدهای آمینه با تاثیر بر افزایش تحمل به تنش‌های محیطی، افزایش غلظت کلروفیل و در نتیجه اثر بر فتوسنتز، بر رشد و عملکرد گیاهان مؤثر واقع می‌شوند (Anonymus, 2009). عنصر پتاسیم با وجود اینکه در ساختمان بافت‌ها شرکت ندارد اما نقش مهمی را در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیک از قبیل فتوسنتز، انتقال مواد پرورده به مخازن، حفظ آماس، هدایت‌روشنه‌ای، تنظیم اسمزی، فعالیت آنزیمی، توسعه سلولی، خنثی-سازی یون‌های دارای بار منفی غیر قابل انتشار و قطبی نمودن غشاء ایفا می‌کند (Wang et al., 2013). کاربرد عصاره جلبک دریایی باعث افزایش رشد گیاه، تعداد برگ، رشد ریشه، تسريع زمان گلدهی، تاخیر در پیری برگ و بهبود مقاومت به تنش‌های محیطی از قبیل خشکی، شوری و درجه حرارت می‌شود (Shokouhi Far, 2016).

در راستای بررسی اثرات مواد محرک رشد به صورت محلول‌پاشی و مصرف خاکی تحت

شرایط متفاوت رطوبتی، پژوهش حاضر به منظور تعیین موثرترین محلول و ماده محرک رشد، به عنوان راهکاری جهت تعدیل خسارت ناشی از تنش کم آبی اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه‌ای واقع در روستای پیرموسی شهرستان خوی در سال ۱۴۰۰ اجرا گردید. محل مورد نظر دارای عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۴ درجه و ۵۵ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۱۵۷ متر از سطح دریا می‌باشد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است. این پژوهش به صورت طرح اسپلیت پلات (کرت‌های خرد شده) در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در ۴۵ کرت اجرا شد. کرت اصلی رژیم آبیاری در سه سطح نرمال a1: (هر ۸ روز) تنش متوسط a2: (هر ۱۱ روز) و a3: تنش شدید (هر ۱۴ روز)، و کرت فرعی شامل محرک‌های رشد در پنج سطح شامل b1: اسید هیومیک ۹۵ درصد (ترکیبات سازنده: اسید فولویک ۱۵ درصد، اسید هیومیک ۳۵ درصد، جلبک دریایی ۳۰ درصد و پتاسیم ۱۵ درصد. واردات شرکت پرنیان اطلس)، b2: آمینو اسید ۲۵ درصد (ترکیبات سازنده: آمینو اسید ۲۵ درصد، اسید اسکوریک ۱ درصد، ویتامین ب ۱، ۱۰۰ پی پی ام، اسید فولویک ۳ درصد)، b3: محرک ریشه-زایی (ترکیبات سازنده: فسفر ۱۸ درصد، نیتروژن کل ۵ درصد، اسید فولویک ۲۵ درصد و ماده آلی ۲۵ درصد)، b4: پتاسیم ۳۰ درصد (ترکیبات سازنده: پتاسیم ۳۰ درصد و اسید آمینه ۲۵ درصد) و b5: شاهد (عدم مصرف) در نظر گرفته شد. عملیات تهیه بستر کاشت شامل شخم،

دیسک، ایجاد جوی پشته و کرت بندی بود. در این آزمایش بذر اصلاح شده لوبیا قرمز رقم سان-رای تلقیح شده با باکتری‌های ریزوبیوم لگومینوزاروم فازوئولی سویه R177 کشت شد. هر کرت آزمایشی دارای ۵ ردیف کاشت به طول ۴ متر و فاصله بین ردیف‌ها ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها در ردیف نیز ۸ سانتی‌متر (تراکم ۲۰ بوته در متر مربع) بود. بین هر کرت با کرت بعدی دو خط نکاشت و بین بلوک‌ها ۱/۵ متر فاصله برای جلوگیری از نشت به کرت‌های مجاور در نظر گرفته شد. کاشت بذور به صورت دستی در ۲۵ اردیبهشت ماه انجام شد. بعد از کاشت جهت سبز شدن بذور، اولین آبیاری با استفاده از لوله آبیاری به صورت نشتی انجام و آبیاری تمام کرت‌ها بر اساس تیمارهای متناظر با حجم مساوی آب با استفاده از کنتور هر ۸، ۱۱ و ۱۴ روز یک‌بار انجام گرفت. در مجموع حجم آب مصرفی نیز به ترتیب ۳۲۵۰، ۲۲۵۰ و ۱۷۵۰ مترمکعب در هکتار استفاده گردید. تیمارهای محلول‌پاشی آمینو اسید ۲۵ درصد، محرک ریشه‌زایی و پتاسیم ۳۰ درصد و تیمار اسید هیومیک ۹۵ درصد همراه با آب آبیاری در دو مرحله قبل از گلدهی و شروع غلاف-بندی در دو نوبت به‌طور جداگانه اعمال شدند. شمار برگ در بوته طی دو مرحله (پیش از گلدهی و گلدهی کامل) با شمارش برگ‌های ۲۰ بوته در هر کرت تعیین شد. همچنین، برای تعیین شاخص سطح برگ توسط سطح سنج برگی مدل LI-3100c بر حسب سانتی‌متر مربع اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری رطوبت نسبی برگ، برگ-های انتهایی گیاه که شامل برگ‌های جوان‌تر بود به وزن ۱۰۰ میلی گرم برش داده شد. بلافاصله توزین و به لوله‌های آزمایش دربار محتوی آب

مقطر وارد شدند و بعد از شش ساعت وزن آماس برگ‌ها تعیین شد، سپس برگ‌ها به داخل آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس منتقل و بعد از ۴۸ ساعت وزن خشک برگ‌ها به دست آمد. مقدار رطوبت نسبی برگ‌ها به صورت درصد با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$RWC = \frac{WF - WD}{WT - WD}$$

WF، WD و WT به ترتیب وزن خشک، تر و آماس برگ‌ها می‌باشد. برای برآورد صفات آزمایشی، ۲۰ بوته لوبیا از خطوط میانی هر کرت بعد از حذف اثرات حاشیه‌ای انتخاب شد. پس از برداشت نهایی در ۱۵ شهریورماه، دانه‌ها به تفکیک تیمارها، خشک و با لحاظ ۱۴ درصد رطوبت گزارش شد. پس از جمع بندی داده‌ها، آزمون نرمال بودن با استفاده از نرم‌افزار Minitab 14 انجام و تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم افزار MSTSTC (Ver 2.1) مورد تجزیه واریانس قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌ها نیز در سطح احتمال ۵ درصد توسط آزمون دانکن انجام و شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم گردید.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته و اولین شاخه فرعی

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر سطوح آبیاری و محرک‌های رشد و اثر متقابل آنها بر ارتفاع بوته و همچنین ارتفاع اولین شاخه فرعی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین ارتفاع بوته و اولین شاخه جانبی به ترتیب به میزان ۵۷/۳ و ۴/۰۳ سانتی‌متر در آبیاری ۸ روز و تیمار اسید هیومیک و کمترین

ارتفاع به میزان ۳۱/۵ و ۲/۱۴ سانتی‌متر در آبیاری ۱۴ روز و تیمار شاهد مشاهده شد (شکل ۱ و ۲). با توجه به نتایج اثر متقابل در شرایط تنش آبی بخصوص در تنش شدید آبیاری ۱۴ روز یک‌بار و مواد محرک رشد توانستند اثرات تنش را نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف مواد) تعدیل کنند. محدودیت آبی سبب کاهش ارتفاع بوته و اولین شاخه فرعی در لوبیا می‌شود و افزایش ارتفاع و اولین شاخه فرعی با در دسترس بودن آب کافی و استفاده بهینه از محرک‌های رشد از راه افزایش طول میانگره‌ها و افزایش تولید مواد نور ساختی صورت می‌گیرد. گزارش‌های متعددی در مورد توانایی مواد هیومیکی روی افزایش رشد ساقه در ارقام مختلف گونه‌های گیاهی تحت شرایط گوناگونی ارایه شده است (Rubio *et al.*, 2009; Naderdi *et al.*, 2002). ارتفاع اولین شاخه در فرآیند برداشت محصول نقش مهمی ایفا می‌کند. به عبارتی هر چه فاصله اولین شاخه و همچنین اولین غلاف از سطح خاک بیشتر باشد برداشت دستی و مکانیزه در زراعت لوبیا با سهولت بیشتر و تلفات کمتر انجام می‌شود. با افزایش تنش، ارتفاع اولین شاخه جانبی از زمین کاهش یافت. تنش خشکی از طریق کاهش فتوسنتز و سرعت رشد گیاه، باعث کاهش ارتفاع اولین شاخه جانبی می‌شود. هر چه اعمال تنش به انتهای فصل رشد نزدیک‌تر باشد تأثیر کمتری بر ارتفاع شاخه فرعی دارد. در این تحقیق دور آبیاری ۸ روزه به علت در دسترس قرار دادن آب برای ساخت و انتقال مواد فتوسنتزی به مقاصد رویشی، ارتفاع اولین شاخه جانبی از سطح زمین را افزایش داد. به نظر می‌رسد تنش طولانی در دور آبیاری ۱۴ روز در لوبیا از طریق کاهش طول دوره رشد و به تبع آن کاهش رشد گیاه منجر به کاهش ارتفاع اولین

شاخه فرعی از سطح خاک شد. این نتایج با یافته‌های (Rezvani Moghaddam and Sadeghi, 2008) مطابقت داشت. ایشان اظهار داشتند گیاه لوبیا در شرایط تنش خشکی با کاهش سنتز آسیمیلات مواجه شده و ضمن کاهش ارتفاع بوته از میزان فاصله اولین شاخه جانبی و به تبع آن، اولین غلاف از سطح زمین کاسته شد. افزایش رشد ارتفاع گیاه و ارتفاع اولین شاخه جانبی از سطح زمین تحت تاثیر اسید هیومیک به افزایش محتوای نیتروژن گیاه نسبت داده شده است (Sabzevari and Khazaei, 2009). نتیجه پژوهش کافی و رستمی (Kafi and Rostami, 2008) نشان داد که افزایش تنش خشکی در زمان ارتفاع‌گیری گیاه لوبیا سبب افزایش رقابت برای جذب آب بین بخش هوایی و زمینی در بوته می‌شود که در این رقابت، گیاه سهم بیشتری از مواد فتوسنتزی را به ریشه اختصاص می‌دهد و در نتیجه مواد فتوسنتزی کمتری به بخش هوایی از جمله ساقه رسیده و این امر باعث کاهش ارتفاع بوته می‌شود. طبق یافته‌های دورداس و سیولس (Dordas and Sioulas, 2008) حضور اسید هیومیک باعث بهبود خصوصیات خاک نظیر محتوای ماده آلی و افزایش دسترسی عناصر نیتروژن و فسفر شد و با افزایش رشد ریشه، جذب آب و مواد غذایی بهتر شده و افزایش ارتفاع بوته را به دنبال داشت. همچنین پتاسیم می‌تواند با تاثیر مثبت در افزایش ارتفاع و سطح برگ باعث افزایش رشد و وزن گیاه گردد (Moteshare Zadeh et al., 2015).

تعداد شاخه جانبی

اثر سطوح آبیاری و محرک‌های رشد و اثر متقابل آن‌ها بر تعداد شاخه جانبی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). در این

بررسی بیشترین تعداد شاخه جانبی با میانگین ۴/۰۳ عدد در سطوح آبیاری ۸ روز و اسید هیومیک و کمترین تعداد شاخه جانبی با میانگین ۲/۳ عدد در سطوح آبیاری ۱۴ روز و شاهد (عدم مصرف) مشاهده گردید (شکل ۳). به نظر می‌رسد تامین آب مورد نیاز همراه با کاربرد اسید هیومیک باعث توسعه شاخه‌های جانبی و تعداد آنها در تیمار مذکور گردید، از آنجایی که شاخه‌های جانبی می‌توانند تعیین کننده تعداد برگ‌ها و در نتیجه میزان فتوسنتز باشند بررسی این صفت در شرایط تنش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Zhang and Ervin, 2004). تنش در مرحله رویشی لوبیا باعث کاهش تعداد شاخه‌های جانبی شده است. کمبود آب باعث افت فتوسنتز، کاهش توسعه برگ‌ها و عدم تشکیل شاخه‌های جدید شده است. به نظر می‌رسد افزایش رقابت بین گونه‌ای، کاهش جذب مواد غذایی و آب از جمله عوامل موثر بر کاهش تعداد شاخه‌های جانبی بوده است (Rafie Shirvan and Asgharipoor, 2010). یافته‌های تحقیقات سپهری و همکاران (Sepehri et al., 2015) در این رابطه با نتایج آزمایش همخوانی دارد. کاهش شاخه‌های جانبی در شرایط تنش خشکی را می‌توان به عنوان یک مکانیسم سازگار در نظر گرفت. زیرا در مواقع تنش، گیاه رشد رویشی خود را سریع‌تر به پایان می‌رساند و وارد فاز زایشی می‌شود تا بتواند بقای نسل خود را حفظ کند. اعمال تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار تعداد شاخه جانبی در گیاه می‌گردد (Eskandari Zanjani et al., 2013). تاثیر مثبت کاربرد اسید هیومیک بر تعداد شاخه‌های جانبی در زمان گل‌دهی را می‌توان به تحریک جوانه‌های جانبی و رشد شاخه‌های فرعی نسبت داد (Khan and Hussain, 2012). اسید

هیومیک با افزایش جذب نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم باعث افزایش تعداد شاخه‌های جانبی در گیاه می‌گردد (Taghadosi et al., 2012). ضمناً کاربرد اسید هیومیک می‌تواند منجر به جذب بهتر آب و انتقال مواد غذایی شده و از این طریق افزایش رشد ریشه و در نتیجه افزایش تعداد شاخه‌های جانبی گردد. اسید هیومیک و جلبک دریایی کارایی بیشتری در کاهش اثرات تنش خشکی بر شاخه‌دهی لوبیا دارند (Moghbali and Arvin, 2014).

پرولین

مقدار پرولین تحت تأثیر معنی‌دار هر دو عامل آزمایشی و اثر متقابل آنها در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۲). در این بررسی بیشترین محتوای پرولین در سطوح آبیاری ۱۴ روز یک‌بار و تیمار شاهد (عدم مصرف) و کمترین محتوای پرولین در سطوح آبیاری ۸ روز یک‌بار و تیمار اسید هیومیک مشاهده گردید (شکل ۴). تجمع ترکیب‌هایی مانند پرولین و اسیدهای آمینه در بافت گیاه تحت تنش می‌تواند تا حدی شرایط لازم برای ادامه جذب آب از محیط ریشه را برای گیاه فراهم آورد، اما اتکای گیاهان به این ترکیبات آلی برای تنظیم اسمزی هزینه‌بر بوده و منجر به کاهش عملکرد گیاه می‌شود (Khalili et al., 2010). تجمع پرولین در شرایط تنش خشکی موجب محافظت از غشاهای سلول، آنزیم‌های سیتوپلاسمی، پروتئین‌ها، مهار گونه‌های فعال اکسیژن و حذف رادیکال‌های آزاد می‌گردد (Liang et al., 2013). گیاهانی که تحت تنش خشکی قرار می‌گیرند مقدار زیادی از منابع کربن و نیتروژن خود را صرف سنتز تنظیم‌کننده‌های اسمزی از قبیل پرولین می‌کنند تا بتوانند فشار تورژسانس خود را حفظ کنند (Aranjuelo et al., 2011).

پرولین یکی از آمینو اسیدهایی است که به‌طور معمول در پاسخ به تنش ظاهر می‌شود (Zegaoui et al., 2017). افزایش تجمع پرولین و ممانعت از تجزیه آن در برگ لوبیا، سازگاری برای تعدیل اسمزی تحت شرایط تنش خشکی معرفی شده است (Siddiqui et al., 2015). نظرات متفاوتی در رابطه افزایش پرولین در برگ در شرایط تنش خشکی ذکر گردیده است که مهم‌ترین آن را افزایش فعالیت آنزیم‌های مرتبط با سنتز پروتئین در شرایط تنش خشکی بیان نمودند. در کاربرد محرک‌های رشد، عواملی نظیر نوع گیاه، غلظت آن، زمان و تعداد دفعات کاربرد در عکس العمل گیاه تأثیر می‌گذارد (Ramroudi and Khomr, 2013). بنابراین، می‌توان انتظار داشت که در سطح بالای تنش خشکی، به کارگیری اسید هیومیک سبب کاهش تولید پرولین، کاهش اثر تنش خشکی و افزایش عملکرد لوبیا شود. گزارش‌های متعددی در مورد کاربرد کودهای آلی و اسید هیومیک بر محتوای پرولین وجود دارد. برخی باعث افزایش محتوای پرولین و برخی دیگر باعث کاهش محتوای پرولین شده است. هر چه شدت تنش خشکی بیشتر گردید، میزان تولید پرولین هم برای مقاومت به تنش خشکی افزایش خواهد یافت. به‌همین ترتیب، میزان پرولین با کاربرد محرک‌های رشد از جمله اسید هیومیک در طول دوره‌های خشکی کاهش محسوس از خود نشان داد. فرارا و همکاران (Ferrara et al., 2006) اظهار داشتند که اسید هیومیک مقاومت گیاه به تنش محیطی (مانند تنش خشکی) را بهبود بخشید، به نظر می‌رسد که همین دلیلی برای کاهش تولید پرولین بر اثر استفاده از اسید هیومیک باشد. همچنین، لطفی و همکاران (Lotfi et al., 2014) اعلام کردند که

استفاده از ترکیب‌های ارگانیک مانند اسید هیومیک یکی از روش‌های است که ممکن است از طریق آن بتوان دوره‌های آبیاری را کاهش داد و باعث بهبود بهره‌وری مصرف آب و کاهش اثر تنش خشکی در گیاهان شد.

تعداد و وزن برگ

کمبود آب باعث کاهش تعداد وزن برگ لوبیا قرمز شد، ولی محرک‌های رشد و اثر متقابل آن‌ها نتوانست این صفات رویشی را تحت تاثیر متقابل معنی‌دار قرار دهند (جدول ۲). در پژوهش حاضر تعداد و وزن برگ در سطح تنش شدید (آبیاری ۱۴ روز یک‌بار) کاهش معنی‌داری نسبت به دو سطح دیگر آبیاری نشان داد (جدول ۳). کاهش تعداد برگ در زمان تنش می‌تواند به علت پیری زودرس، عاملی برای کاهش تعرق و رسیدگی زودتر گیاه در شرایط تنش خشکی باشد (Parsa and Bagheri, 2008). بوترا و ساندرس (Boutraa and Sanders, 2001) اظهار کردند اگر چه کمبود آب منجر به ریزش برگ‌ها (بیشتر برگ‌ها قدیمی) می‌شود ولی در مقابل برگ‌هایی که تحت خشکی زنده می‌مانند، بیشتر برگ‌های جوان‌تر با کارایی بالاتر هستند. در شرایط تنش کمبود آب، برگ‌ها کوچک‌تر و تعداد آنها نیز کمتر می‌شود. دو پاسخ مهم گیاه به تنش خشکی، کاهش سطح برگ و افزایش نسبت ریشه به ساقه است. در تنش خشکی پاسخ برگ نسبت به ریشه و ساقه بیشتر است. احتمالاً کاهش سطح برگ به دلیل کاهش محتوای نسبی آب و متعاقباً کوچک شدن اندازه سلول‌ها، کاهش تقسیم سلول‌های مرستمی و در نتیجه کند شدن رشد برگ، توقف تولید برگ، تسریع پیری و متعاقب آن ریزش برگ‌ها می‌باشد (Lobato et al., 2008). کاهش وزن برگ تحت شرایط خشکی ممکن است به

دلیل کاهش تقسیم سلولی و رشد آن در نتیجه فشار تورژسانس پایین باشد. همچنین، کاهش ۳۳ درصدی در وزن برگ لوبیا چیتی در اثر تنش خشکی توسط (Nazari Nasi, 2010) گزارش شده است. در برخورد با تنش خشکی، گیاه سطح و تعداد برگ‌های خود را کاهش می‌دهد و متعاقباً مواد فتوسنتزی تولیدی نیز کاهش می‌یابد که در چنین شرایطی کاهش وزن خشک برگ دور از انتظار نمی‌باشد. در همین راستا محمدی البرزی و همکاران (Mohammadi Alborzi et al., 2012) گزارش دادند تیمار کم آبیاری، کمترین وزن خشک برگ در گیاه را ایجاد نموده و این مسئله منجر به کاهش قطر دهانه روزنه و جذب CO_2 و در نهایت افت تولید مواد فتوسنتزی گردید. به دنبال آن، با کاهش مواد فتوسنتزی وزن خشک برگ و ساقه کاهش می‌یابد (Taheri Asghari, 2010).

شاخص سطح برگ و میزان آب نسبی

افزایش فاصله آبیاری‌ها محتوای آب نسبی و شاخص سطح برگ را کاهش داد. نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر سطوح آبیاری و محرک‌های رشد و اثر متقابل آنها بر محتوای آب نسبی برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج آزمایش (Abaslou et al., 2015) این موضوع را تایید می‌کند. در شرایط تنش شدید سرعت توسعه برگ افت کرده و رشد برگ ممکن است متوقف شود. همچنین، تنش خشکی شاخص سطح برگ را با کاهش برگ‌های جدید تحت تاثیر قرار می‌دهد (Prasad et al., 2008). مناسب نبودن تورژسانس سلولی، کاهش تقسیم سلولی و هدایت روزنه‌ای یا بسته شدن روزنه‌ها، کاهش فتوسنتز و رشد گیاه را به همراه دارد که اینها از عوامل ثانویه کاهش

سطح برگ قلمداد می‌شود (Nohong and Nampo, 2015). به نظر می‌رسد کمبود آب منجر به کاهش پتانسیل آب 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). یکی از اولین نشانه‌های کمبود آب، کاهش تورژسانس سلول و کاهش سطح تعرق کننده گیاه می‌باشد. بنابراین، با افزایش شدت خشکی طول و عرض برگ و نیز سطح برگ کاهش می‌یابد (Lotfi et al., 2014). به نظر می‌رسد در این پژوهش با کم آبیاری و ایجاد تنش در مراحلی که گیاه می‌توانست حداکثر شاخص سطح برگ را داشته باشد، کمبود آب به عنوان عامل محدود کننده عمل کرده و باعث کاهش شاخص‌های مورفولوژیک گیاه به ویژه شاخص سطح برگ شده است.

در این بررسی بیشترین محتوای آب نسبی برگ در سطوح آبیاری ۸ روز یک‌بار و تیمار اسید هیومیک و کمترین محتوای آب نسبی برگ در سطوح آبیاری ۱۴ روز یک‌بار و تیمار شاهد (عدم مصرف) مشاهده گردید (شکل ۵). به نظر می‌رسد تامین نیاز کامل آبی گیاه همراه با کاربرد اسید هیومیک باعث افزایش محتوای آب نسبی برگ در تیمار مذکور گردید، به عبارتی دیگر سطوح دو فاکتور اثرات همدیگر را در این تیمار تشدید نمودند. بین میزان محتوای رطوبت نسبی برگ و میزان رطوبت خاک رابطه مستقیم وجود دارد. به‌طوری‌که، کاهش میزان رطوبت خاک و ایجاد تنش باعث کاهش میزان محتوای رطوبت نسبی برگ می‌شود (Khan and Hussain, 2012). در سطح آبیاری ۱۴ روز یک‌بار اسید هیومیک بالاترین رطوبت نسبی برگ را داشت

(شکل ۵). گیاهان در شرایط تنش خشکی میزان آب سلول‌های خود را از طریق افزایش مواد اسمزی در درون بافت‌ها به حداقل می‌رسانند تا آب از بافت خاک با نیروی بیشتری وارد آنها شوند. بررسی نتایج تحقیق حاضر نشان داد که با کاربرد اسید هیومیک از اثرات تنش خشکی کاسته شد. بنابراین، با افزایش میزان محتوای آب نسبی برگ-ها، فشار درون سلولی برای رشد سلول فراهم می‌شود و امکان اتساع دیواره سلولی را فراهم می‌نماید. در نهایت اینکه این مسئله باعث افزایش انعطاف پذیری غشاء سلول می‌شود تا زمینه برای رشد سلول فراهم گردد (Kumar Patel et al., 2011). در پژوهشی دیگر کاربرد اسید هیومیک موجب افزایش محتوای آب نسبی برگ گردید (Mozafari et al., 2017). عدم تعادل بین عرضه و تقاضای آب در گیاه محتمل‌ترین دلیل کاهش محتوای آب نسبی برگ گیاه در شرایط تنش خشکی می‌باشد. در تنش خشکی به علت تعرق بالا، گیاه آب بیشتری از دست می‌دهد و در نتیجه محتوای آب نسبی برگ کاهش می‌یابد که با یافته‌های الله مرادی و همکاران (Allahmoradi et al., 2013) مطابقت داشت.

عملکرد بیولوژیک

نتایج حاصل از جدول ۲ حاکی از تاثیر معنی‌دار آبیاری و محرک‌های رشد و اثر متقابل آنها بر عملکرد بیولوژیک است. بیشترین عملکرد بیولوژیک در تیمار اسید هیومیک و آمینو اسید به ترتیب با میانگین ۱۲۶۵۶/۸ و ۱۲۵۸۴/۳۶ کیلوگرم در هکتار در آبیاری ۸ روز و کمترین عملکرد بیولوژیک با میانگین ۶۳۵۸/۴ کیلوگرم در هکتار در سطح آبیاری ۱۴ روز و تیمار شاهد مشاهده شد (شکل ۶). محققان دیگری از جمله سهیلی موحد و همکاران (Soheili Movahed et al.,

(Ulukan, 2008). کاربرد اسید هیومیک و اسید فولیک سبب افزایش میزان کربوهیدرات در گیاهان می‌شود. در نتیجه این عمل عملکرد بیولوژیک افزایش خواهد یافت (Sassi-Aydi et al., 2014). پژوهش حیدری و همکاران (Heydari et al., 2017) نیز این گزارش‌ها را تایید و عنوان می‌کنند با افزایش نیتروژن، عملکرد بیولوژیک گیاهان افزایش می‌یابد.

عملکرد دانه

عملکرد دانه نیز تحت تاثیر معنی‌دار سطوح آبیاری و محرک‌های رشد و اثر متقابل آنها در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۲). در این بررسی بیشترین عملکرد دانه با میانگین ۳۰۷۶/۱ کیلوگرم در هکتار در سطح آبیاری ۸ روز و تیمار اسید هیومیک و کمترین مقدار این صفت نیز با میانگین ۱۲۲۰/۹ کیلوگرم در هکتار در سطح آبیاری ۱۴ روز و تیمار شاهد مشاهده گردید (شکل ۷). عملکرد اقتصادی یک گیاه نتیجه بسیاری از فرآیندهای رشد است که در طی دوره رشد و نمو به وقوع می‌پیوندد. تنش خشکی می‌تواند از طریق تاثیرگذاری بر این فرآیندها عملکرد را تحت تاثیر قرار دهد گیاسودین و همکاران (Giasuddin et al., 2007) عنوان کردند که اسید هیومیک نفوذپذیری غشای سلولی را در گیاه باقلا افزایش داده و بدین طریق ورود پتاسیم را تسهیل می‌کند که نتیجه آن افزایش فشار داخلی سلول منجر به افزایش تولید کلروفیل، میزان فتوسنتز و در نهایت تولید خواهد شد. در تحقیق حاضر مصرف اسید هیومیک در شرایط آبیاری ۸ روز یک‌بار افزایش عملکرد دانه معادل با ۶۵۰ کیلوگرم نسبت به شاهد داشته که می‌تواند توجیه اقتصادی برای مصرف این ماده داشته باشد. در گیاه لوبیا نیز نتایج مشابهی مبنی بر افزایش عملکرد دانه در

(2017) نیز نتایج مشابهی گزارش نمودند. به‌طور کلی تنش خشکی باعث ایجاد اختلال در فتوسنتز شده و در نتیجه رشد و توسعه اندام‌های هوایی گیاه کاهش می‌یابد که مجموع این عوامل، سبب کاهش عملکرد بیولوژیک گیاه می‌گردد. بر اساس پژوهش حبیبی و همکاران (Habibi, 2011) عملکرد بیولوژیک لاین‌های لوبیا در شرایط تنش خشکی در مقایسه با شرایط بدون تنش کاهش یافت. به نظر می‌رسد افزایش عملکرد بیولوژیک در شرایط مصرف اسید هیومیک به‌دلیل افزایش ظرفیت نگهداری آب و دسترسی بیشتر گیاه به آب برای مدت طولانی‌تر و همچنین افزایش جذب عناصر پرمصرف مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم در شرایط کم آبی باشد. با افزایش شدت تنش خشکی، کاربرد محرک‌های رشد باعث افزایش عملکرد بیولوژیک گردید (Saeidi Aboueshaghi and Yadavi, 2015). در تحقیق حاضر نیز کاربرد محرک رشد اسید هیومیک و آمینو اسید در تیمار تحت تنش بیشترین عملکرد بیولوژیک را داشتند (شکل ۶). رفیع‌الحسینی و همکاران (Rafiiolhossaini et al., 2016) اظهار داشتند در شرایط کم آبی به علت کمبود آب در خاک، پتانسیل آب برگ، محتوای نسبی آب برگ کاهش و روزه‌ها به علت افزایش هورمون اسید آبسازیک بسته می‌شوند. این امر به کاهش جذب دی‌اکسید کربن و تولید ماده خشک منجر می‌گردد. افزایش ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در بوته اصلی‌ترین عوامل افزایش عملکرد بیولوژیک با کاربرد اسید هیومیک را می‌توان به تحریک رشد گیاه از طریق سوخت و ساز عناصر کم مصرف و پرمصرف، فعال‌سازی آنزیم‌ها و تغییر در نفوذ پذیری غشاء و سنتز پروتئین دانست که مجموع این عوامل سبب افزایش بیوماس گیاه می‌گردد

شرایط تنش خشکی با کاربرد اسید هیومیک مشاهده گردید (Jahan et al., 2012). 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 اجرای عملکرد دانه می‌گردد (Ahmed and Suliman, 2010). همچنین، کاهش تولید مواد فتوسنتزی و کاهش لقاح گل‌ها در شرایط تنش خشکی، کاهش تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن دانه‌ها را در پی خواهد داشت و به دنبال کاهش این اجزای، عملکرد دانه نیز کاهش خواهد یافت (Bastos et al., 2011). کاهش عملکرد دانه لوبیا در اثر کمبود آب در بسیاری از پژوهش‌ها گزارش شده است (Mohammadi et al., 2014; Sadat Rasti Sani et al., 2018).

نتایج این تحقیق نشان داد مصرف اسید هیومیک جذب عناصر پر مصرف و در نتیجه عملکرد دانه لوبیا (۲۹ درصد) را افزایش داد.

نتیجه‌گیری کلی

پژوهش حاضر نشان داد گرچه تیمارهای محرک رشد در کاهش خسارت ناشی از تنش خشکی مؤثر بودند ولی بیشترین ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ و میزان آب نسبی، عملکرد دانه و بیولوژیک در شرایط آبیاری نرمال و کاربرد اسید هیومیک به‌دست آمد. حساسیت گیاه نسبت به تنش خشکی با مصرف اسید هیومیک به‌طور مؤثری کاهش یافت. به‌طور کلی، با توجه به یافته‌های این پژوهش، به نظر می‌رسد که کاربرد اسید هیومیک ضمن بهبود عملکرد و خصوصیات رویشی گیاه می‌تواند کارایی مصرف آب را بهبود بخشد. استفاده از اسید هیومیک به دلیل اثرات مختلف فیزیولوژیکی، علاوه بر افزایش عملکرد می‌تواند در جهت کاهش مصرف کودهای شیمیایی و همچنین آلودگی محیط زیست نقش مثبتی را ایفا کند. بنابراین به عنوان ماده‌ای با منبع طبیعی می‌تواند در جهت پایداری و افزایش تولید محصولات زراعی مورد استفاده قرار گیرد. اسید هیومیک علاوه بر افزایش جذب عناصر میکرو، باعث افزایش عملکرد و وزن خشک گیاه می‌گردد، لذا کاربرد این ماده می‌تواند تحمل گیاه لوبیا قرمز را در برابر تنش خشکی افزایش دهد. جلبک دریایی موجود در اسید هیومیک هم بر سیستم دفاع آنتی اکسیدانی اثر مثبت داشته، به ویژه در شرایط تنش خشکی، تا حدودی اثرات منفی ناشی از تنش خشکی بر خصوصیات فیزیولوژیک را تخفیف داد. از این رو به نظر می‌رسد که کاربرد این ترکیبات در شرایط تنش

خشکی می‌تواند در ثبات عملکرد و کاهش اثرات سوء ناشی از تنش کمبود آب موثر باشند.

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه

Table 1- Some physicochemical properties of studied soil

پتاسیم	فسفر	نیتروژن	کربن آلی	آهک	رس	سیلت	شن	اشباع	اسیدیته	شوری	بافت
K	P	N	OC	TNV	clay	SILT	SEND	SP	PH	EC	TEX
%										Total	
(mg/kg)											
601.2	56	0.1	0.84	14.1	42	43	15	62	8.1	0.9	clay silty

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفات آزمایشی لوبیا قرمز تحت سطوح مختلف آبیاری و کاربرد محرک های رشد
Table 2- Analysis of variance of experimental traits of red bean under different levels of irrigation and application of growth stimulants

تعداد برگ	پرولین	تعداد شاخه جانبی	ارتفاع اولین شاخه	ارتفاع بوته	درجه آزادی	منابع تغییرات
Leaf Num.	Proline.	Lateral branch Num.	First branch height	Plant height	df	S.O.V
0.0004	0.002	0.0001	0.0001	1.92	2	تکرار Replication
1166.65**	247.403**	8.75**	17.34**	1374.78**	2	سطوح آبیاری Irrigation(A)
0.09	0.002	0.00025	0.002	1.96	4	اشتباه Error
0.21 ^{ns}	7.893**	0.18**	1.83**	106.90**	4	محرک های رشد Growt stimuli(B)
0.18 ^{ns}	0.8**	0.022**	0.089**	5.08**	8	آبیاری* محرک های رشد A*B
0.08	0.003	0.0004	0.001	2.31	24	اشتباه Error

^{ns}، *، ** به ترتیب اختلاف غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح ۵٪ و ۱٪

^{ns}، * and **: non-significant and significant at 5% and 1 % probability levels, respectively.

ادامه جدول ۲
Table 2: Continued

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	وزن برگ Leaf weight	شاخص سطح برگ LAI	محتوای آب نسبی RWC	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Grain yield
تکرار Replication	2	0.101	0.002	0.815	379.13	49.96
سطوح آبیاری Irrigation(A)	2	140.96**	7.09**	3402**	120387945**	877432**
اشتباه Error	4	0.095	0.10	0.414	152.60	53.52
محرک‌های رشد Growth stimuli(B)	4	0.14 ^{ns}	0.23 ^{ns}	20.659**	2863997**	286816**
A*B آبیاری*محرک‌های رشد	8	0.09 ^{ns}	0.19 ^{ns}	8.989**	33625.53**	14505.42**
اشتباه Error	24	0.09	0.06	0.199	86.27	49.541

ns, *, ** به ترتیب اختلاف غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح ۵٪ و ۱٪

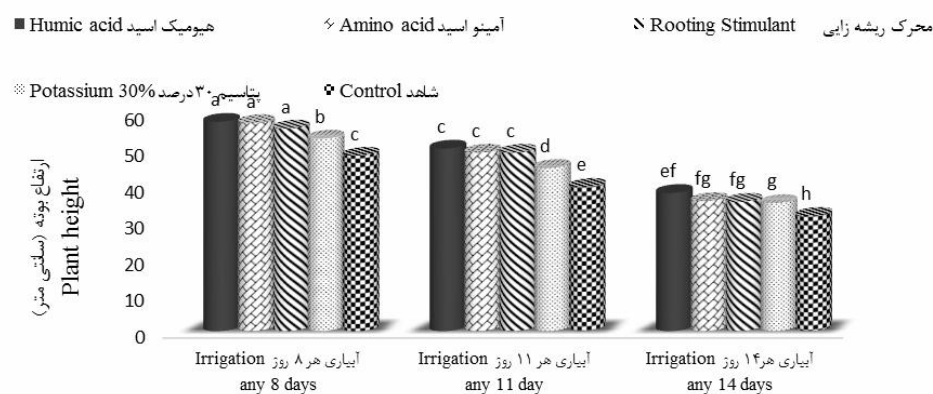
ns, * and **: non-significant and significant at 5% and 1 % probability levels, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات آزمایشی لوبیا قرمز تحت سطوح مختلف آبیاری و کاربرد محرک‌های رشد
Table 3- Comparison of mean experimental traits of red beans under different levels of irrigation and application of growth stimulants

تیمار Treatment	سطوح آبیاری Irrigation levels			محرک‌های رشد Growth stimulant				شاهد Control
	۸ روز 8 days	۱۱ روز 11 days	۱۴ روز 14 days	هیومیک اسید Humic acid	آمینواسید Amino Acid	محرک ریشه زایی Rooting stimulant	پتاسیم ۳۰٪ Potassium 30%	
تعداد برگ Leaf No.	43.41a	39.37 b	26.52 c	39.16 a	38.76 a	37.62 a	34.24 a	32.39 a
وزن برگ Leaf weight	12.3 a	9.13 b	5.9 c	9.24 a	9 a	8.98 a	8.96 a	8.92 a
شاخص سطح برگ LAI	4.4 a	3.98 a	3.06 b	4.06 a	3.92 a	3.84 a	3.68 a	3.57 a

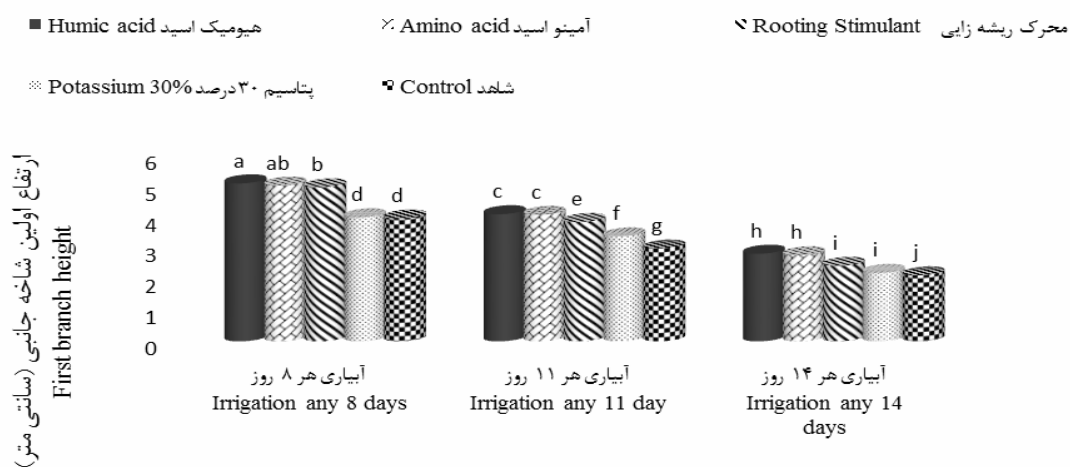
در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار با هم ندارند.

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level based on Duncan test.



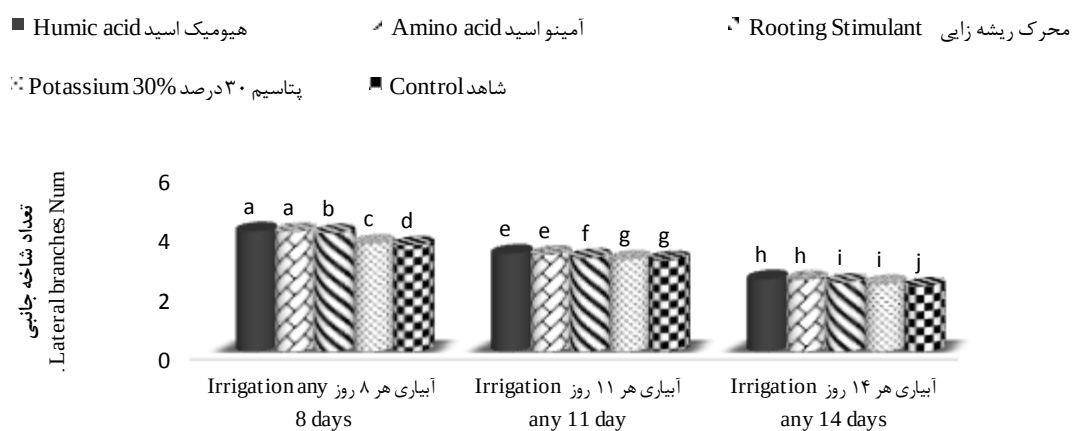
شکل ۱- اثر متقابل سطوح آبیاری و محرک‌های رشد بر ارتفاع بوته

Figure 1- Interaction of irrigation levels and growth stimulate on plant height



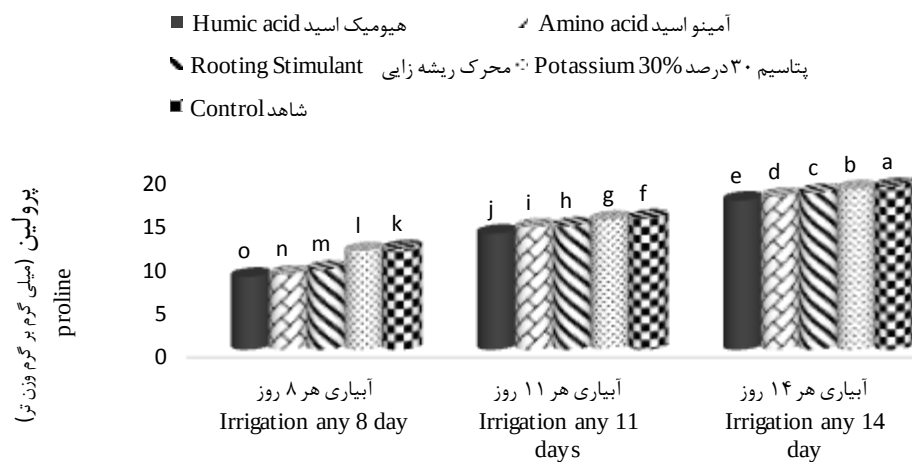
شکل ۲- اثر متقابل سطوح آبیاری و محرک‌های رشد بر ارتفاع اولین شاخه جانبی

Figure 2- Interaction of irrigation levels and growth stimulate on height of the first lateral branch



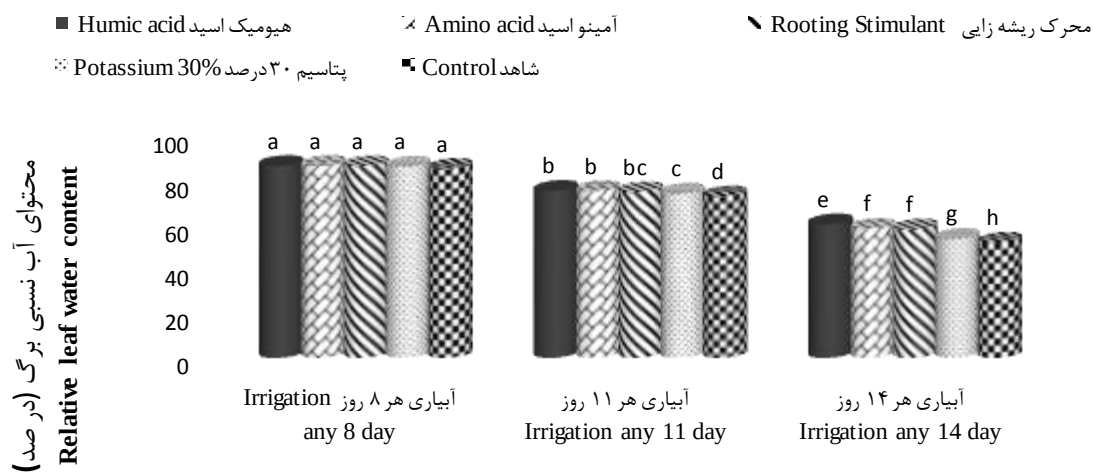
شکل ۳- اثر متقابل سطوح آبیاری و محرک‌های رشد بر تعداد شاخه جانبی

Figure 3- Interaction of irrigation levels and growth stimulate on number of lateral branches



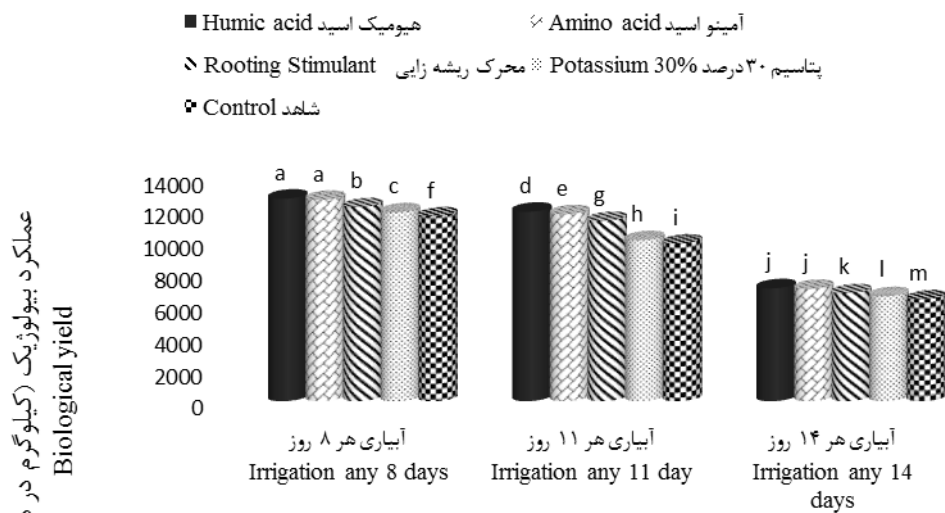
شکل ۴- اثر متقابل سطوح آبیاری و محرک‌های رشد بر محتوای پرولین

Figure 4- Interaction of irrigation levels and growth stimulate on ptolin content



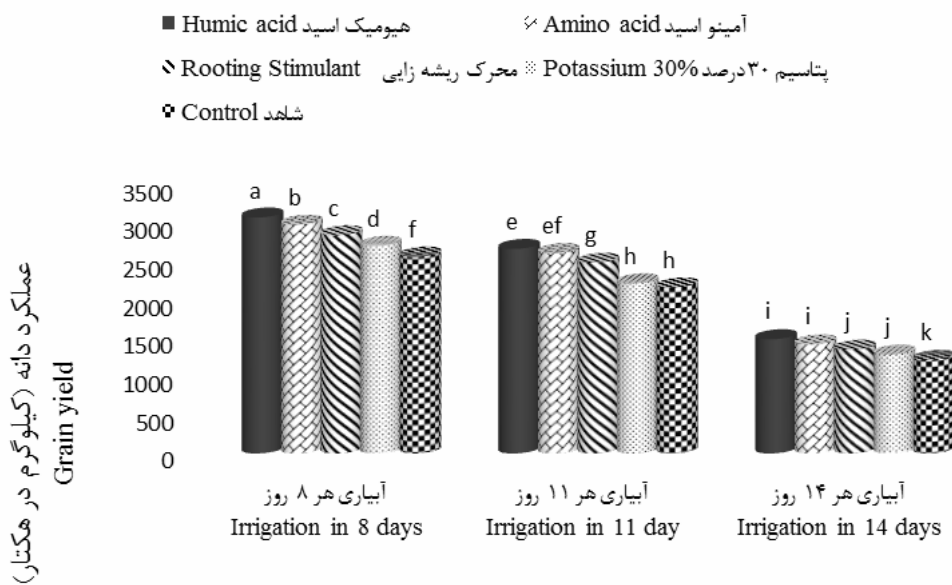
شکل ۵- اثر متقابل سطوح آبیاری و محرک‌های رشد بر محتوای نسبی آب برگ

Figure 5- Interaction of irrigation levels and growth stimulate on leaf relative water content



شکل ۶- اثر متقابل سطوح آبیاری و محرک‌های رشد بر عملکرد بیولوژیک

Figure 6- Interaction of irrigation levels and growth stimulate on biologic yield



شکل ۷- اثر متقابل سطوح آبیاری و محرک‌های رشد بر عملکرد دانه

Figure 7- Interaction of irrigation levels and growth stimulate on grain yield

References

منابع مورد استفاده

- Abaslou, L., S. Azemini, M. Adalat, and A. Dadkhodaei. 2015. Effect of drought stress and planting pattern on some physiological and biochemistry characteristics of two chickpea cultivars. *Journal of Crop Agriculture*, 16(4): 933-943 (In Persian).
- Ahmed, F., and A. Suliman. 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.
- Allahmoradi, P., C. Mansourifar, M. Saidi, and S. Jalali Honarmand. 2013. Water deficiency and its effects on grain yield and some physiological traits during different growth stages in lentil (*Lens culinaris* L.) cultivars. *Annals of Biological Research*. 4(5): 139-145 (In Persian).
- Anonymous. 2009. Agriculture production-micro organo liquid, amino powder, amino start and spurt. Ontario, Canada: Agrowchem Inc.
- Anonymus. 2019. FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org>.
- Aranjuelo, L., G. Molero, G. Erice, J. Christophe Avice, and S. Nogues. 2011. Plant physiology and proteomics reveals the leaf response to drought in alfalfa (*Medicago sativa* L.). *The Journal of Experimental Botany*. 62: 111-123.
- Bastos, E., S. Nascimento, E. Silva, F. Filho, and R. Gomide. 2011. Identification of cowpea genotypes for drought tolerance. *Revista Ciencia Agronomica*. 42(1): 100-107.
- Beeber, S. 2012. Common bean breeding in the tropics. *Plant Breeding Reviews*. 36: 357-426.
- Boutraa, T., and F. Sanders. 2001. Influence of water stress on grain yield and vegetative growth of two cultivars of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science*. 187: 251-257.
- Dordas, C., and S. Sioulas. 2008. Safflower yield, chlorophyll content, photosynthesis and water efficiency response to nitrogen fertilization under rainfed conditions. *Crop Production*. 27: 78-85.
- Emam, Y., A. Shekoofa, F. Salehi, and J. Jalali. 2010. Water stress effects on two common bean cultivars with contrasting growth habits. *Agronomy and Soil Science*. 9(5): 495-499 (In Persian).
- Eskandari Zanjani, K., A. Shirani Rad, A. Moradi Agdam, and T. Taherkhani. 2013. Effect of salicylic acid application under salinity conditions on physiologic and morphologic characteristics of artemisia (*Artemisia annua* L.). *Journal of Crop Ecophysiology*. 4: 415-428. (In Persian).
- Ferrara, G., A. Pacifico, P. Simeone, and E. Ferrara. 2006. Preliminary study on the effects of foliar applications of humic acids on 'Italia' table grape. Proceedings of the XXXth OIV World Congress, Budapest, Hungary.
- Giasuddin, A.B.M, S. Kanel, and H. Choi. 2007. Adsorption of humic acid onto nanoscale zerovalent iron and its effect on arsenic removal. *Journal of Environment Science Technology*. 41(6): 2022-2027.
- Habibi, G. 2011. Influence of drought on yield and yield components in white bean. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. 5: 169-178 (In Persian).

- Heydari, M., A. Daneshian Mogaddam, and H. Nourafcan. 2017. Effect of vermicompost and liquid seaweed fertilizer on morpho-physiological properties of marigold (*Calendula officinalis* L.). *Journal of Crop Ecophysiology*. 10(4): 891-906 (In Persian).
- Hu, Y., Y. Zhang, X. Yi, D. Zhan, H. Luo, and W. Chow. 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.
- Jahan, M., R. Sohrabi, F. Doaei, and M. Amiri. 2012. Effect of soil moisture superabsorbent hydrogel and foliar application of humic acid on some of agro-ecological characteristics of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Mashhad. *Journal of Ecological Agriculture*. 6: 131-146. (In Persian).
- Kafi, M., and M. Rostami. 2008. Effect of drought stress in reproductive growth stage on yield and components yield and oil content three safflower cultivars in irrigation with salty water conditions. *Iranian Journal of Agronomy Research*. 5(1): 121-131 (In Persian).
- Khalil, S., G. Nahed, A. Aziz, and B. Abou Leil. 2010. Effect of water stress and ascorbic acid on some morphological and biochemical composition of (*Ocimum basilicum*). *Journal of American Science*. 6: 33-44.
- Khan, M., and F. Hussain. 2012. Palatability and animal preferences of plants in Tehsil Takht-e-Nasrati, District Karak, Pakistan. *African Journal Agriculture Research*. 7(44): 5858-5872.
- Kumar Patel, P., A. Hemantaranjan, B. Sarma, and R. Singh. 2011. Growth and antioxidant system under drought stress in chickpea (*Cicer arietinum* L.) as sustained by salicylic acid. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry*. 74: 130-144.
- Liang, X., L. Zhang, S. Natarajan, and D. Becker. 2013. Proline mechanisms of stress survival. *Antioxid Redox Signal*. 19(9): 998-1011.
- Lobato, A., C. Oliveira Neto, B. Santos Filho, R. Costa, F. Cruz, and H. Neves. 2008. Physiological and biochemical behavior in soybean (*Glycine max* cv. Sambaiba) plants under water deficit. *Australian Journal Crop Science*. 2: 25-32.
- Lotfi, M., B. Abbaszadeh, and M. Mirza. 2014. The effect of drought stress on morphology, proline content and soluble carbohydrates of tarragon (*Artemisia dracunculus* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*. 30(1): 19-29 (In Persian).
- Moghbeli, T., and M. Arvin. 2014. Effect of seed preparation with growth regulators on germination, growth and yield of Melon fruit. *Journal of Production and Processing of Agricultural and Horticultural Products*. 4(14): 23-33 (In Persian).
- Mohammadi Alborzi, M., F. Safikhani, J. Masoud Sinaki, and B. Abbaszadeh. 2012. The effect of drought on morphological characteristics of anisum (*Pimpinella anisum* L.). *Plant Ecophysiology*. 4: 14-25 (In Persian).
- Mohammadi, M., A. Tavakoli, M. Pouryousef, and E. Mohseni Fard. 2018. The effect of epibrassinolide on growth and seed yield of bean under optimal irrigation and drought stress conditions. *Journal of Crops Improvement*. 20(3): 595-608 (In Persian).

- Motesharezadeh, B., F. Vatanara, and G. Savaghebi. 2015. Effect of Potassium and Zinc on Some Responses of Wheat (*Triticum aestivum* L.) under Salinity Stress. *Iranian Journal of Soil Research*, 29(3), 243-258 (In Persian).
- Mozafari, S., N. Khorasani Nejad, and H. Ghorgin Shabankareh. 2017. The effect of irrigation regimes and the application of humic acid on some of the physiological and biochemical characteristics of purpura herb in greenhouse conditions. *Journal of Crop Improvement*. 19(2): 401-416 (In Persian).
- Naderi, S., D. Pizzeghello, A. Muscolo, and A. Vianello. 2002. Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biology and Biochemistry*. 34: 1527-1536.
- Nakhzari Moghaddam, A., N. Parsa, H. Sabouri, and S. Bakhtiari. 2017. The effect of humic acid, density and supplementary irrigation on quantity and quality of local chickpea (*Cicer arietinum* L.) of Neishabur. *Environmental Stresses Crops Sciences*. 10(2): 183-192 (In Persian).
- Nazari Nasi, H. 2010. Effect of drought stress on cell membrane stability, photosynthesis rate, relative water content and seed yield of pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. M.Sc. dissertation, University of zanzan, Zanzan, Iran. (In Persian).
- Nohong, B., and S. Nampo. 2015. Effect of water stress on growth, yield, proline and soluble sugars contents of Signal grass and Napier grass species. *American - Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*. 9(5): 14-21.
- Parsa, M., and A. Bagheri. 2008. Pulses. Mashhad University Jahad Press (In Persian).
- Pouresmaeil, P., D. Habibi, M. Mashadi, A. Boojar, M. Tarighaleslami, and S. Khoshouei. 2012. Effect of super absorbent application on agronomic characters of red bean and biochemical activities in red bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars under drought stress conditions. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. 4(24): 1874-1877 (In Persian).
- Prasad, P., S. Pisipati, Z. Ristic, U. Bukovnik, and A. Fritz. 2008. Impact of nighttime temperature on physiology and growth of spring wheat. *Crop Science*. 48: 2372-2380.
- Rafie Shirvan, M., and M. Asgharipoor. 2010. Response of yield and morphological traits of some mungbean, (*Vigna radiata* L.) genotypes to drought stress. *New Agriculture Science Journal*. 15(5): 68-76 (In Persian).
- Rafiiohossaini, M., F. Salehi, and M. Mazhari. 2016. The effect of drought stress intensity and stage on agronomic characteristics of two common bean cultivars. *Desert Ecosystem Engineering Journal*. 5(11): 45-56 (In Persian).
- Ramroudi, M., and A. Khomr. 2013. Interaction effects of salicylic acid spraying and different irrigation levels on some quantity and quality traits, and osmoregulators in basil (*Ocimum basilicum*). *Applied Research of Plant Ecophysiology*. 1(1): 19-31.
- Rezazadeh, H., S. Khrasani, and R. Haghighi. 2012. Effects of humic acid on decrease of phosphorus usage in forage maize var. KSC704 (*Zea mays* L.). *Australian Journal of Agricultural Engineering*. 3: 34-38 (In Persian).
- Rezvani Moghaddam, P., and R. Sadeghi Samarjan. 2008. Effect of different planting dates and different irrigation regimes on morphological characteristics and yield of

- chickpea (*Cicer arietinum* L.) ILC3279 cultivars in the climatic conditions Neyshabur. *Iranian Journal of Agricultural Research*. 2: 315-325 (In Persian).
- Roudgarnezhad, S., M. Sam Deliri, A. Mousavi Mirkalaei, and M. Neshae moghaddam. 2018. The effect of spraying humic acid on some morphological and physiological traits of bean (*Vicia faba* L.). *Journal of Plant Environmental Physiology*. 13(49): 33-44 (In Persian).
 - Rubio, V., R. Bustos, M. Irigoyen, X. Cardona-Lopez, M. Rojas-Triana, and J. Paz-Ares. 2009. Plant hormones and nutrient signaling. *Plant Molecular Biology*. 69(4): 73-361.
 - Sabzevari, S., and H. Khazaei. 2009. The effects of different levels foliar spray of humic acid on growth characteristics yield and yield components of wheat pishtaz figure. *Agroecology Journal*. 1(2): 53-56 (In Persian).
 - Sadat Rasti Sani, M., M. Lahouti, and A. Ganjeali. 2014. Effect of drought stress on some morphophysiological traits and chlorophyll fluorescence of red bean seedlings (*Phaseolus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Pulses Research*. 5(1): 103-116 (In Persian).
 - Saeidi Aboueshaghi, R., and A. Yadavi. 2015. Effects of irrigation levels and foliar application with iron and zinc on quantitative and qualitative traits of red bean (*Phaseolous vulgaris* L.). *Iranian Journal of Pulses Research* 6(1): 54-65 (In Persian).
 - Saki Nejad, T., S. Hossaini, and M. Hyvari. 2011. Calculate changes of bean germination process in the presence of various compounds of biological fertilizer humic acid mixed with micro and macro elements. *Journal of American Science*. 7(6): 10-14 (In Persian).
 - Sassi-Aydi, S., S. Aydi, and C. Abdelly. 2014. Inorganic nitrogen nutrition enhances osmotic stress tolerance in *Phaseolus vulgaris*: lessons from a drought-sensitive cultivar. *Horticultural Science*. 49(5): 550-555.
 - Sepehri, A., R. Abasi, and A. Karami. 2015. Effect of drought stress and salicylic acid on yield and yield component of bean genotypes. *Agricultural Crop Management*. 17(2): 503-516 (In Persian).
 - Shokouhi Far, Y. 2016. Application of algae in agriculture. Second International Conference on Sustainable Development, Solutions and Challenges Focusing on Agriculture, Natural Resources, Environment and Tourism, Iran (Tabriz). 2325. 3-4.
 - Siddiqui, M., M. Khaishany, M. Qutami, M. Whaibi, A. Grover, and M. Ali. 2015. Response of different genotypes of faba bean plant to drought stress. *International Journal of Molecular Sciences*. 16: 10214-10227.
 - Soheili Movahed, S., M. Esmaeili, F. Jabbari, and A. Foladi. 2017. Effect of limited irrigation with saline water on forage of two local populations of *Kochia scoparia* L. Schrad. *Water and Soil*. 9(4): 1-12 (In Persian).
 - Taghadosi, M., N. Hasani, and J. Sinky. 2012. Disruption of irrigation and spraying stress with humic acid and algae extract on antioxidant enzymes and propylene in forage sorghum. *Journal of Crop Production in Environmental Conditions*. 4(4): 1-12 (In Persian).

- Taheri Asghari, M. 2010. Effects of water deficit stress on some characteristics of chicory (*Cichorium intybus* L.) under different plant densities. *Journal of Crop Ecophysiology*. 2(3): 147-155 (In Persian).
- Ulukan, H. 2008. Effect of soil applied humic acid at different sowing times on some yield components in wheat (*Triticum* sp.) hybrids. *International Journal of Botany*. 4: 164-175.
- Veisi, A., B. Pasari, and A. Rokhzadi. 2019. Investigating the effect of humic acid and micronutrient nano fertilizers on the response of rainfed chickpea (*Cicer arietinum* L.) in autumn cultivation. *Crop Physiology Journal*. 10(40): 93-110 (In Persian).
- Wang, M., Q. Zheng, Q. Shen, and S. Guo. 2013. The critical role of potassium in plant stress response. *International Journal of Molecular Sciences*. 14(4): 7370-7390.
- Wondimu, W., and T. Tana. 2017. Yield response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties to combined application of nitrogen and phosphorus fertilizers at Mechara, Eastern Ethiopia. *Journal of Plant Biology and Soil Health*. 4(2): 2-7.
- Zadeh Bagheri, M., S. Javanmardi, O. Alozadeh, and M. Kamelmanesh. 2015. Effects of drought on grain yield and some physiological characteristics of red bean genotypes. *Plant Ecophysiology*. 6(18): 1-11 (In Persian).
- Zegaoui, Z., S. Planchais, S. Cabassa, R. Djebbar, O. Belbachir, and P. Carol. 2017. Variation in relative water content, proline accumulation and stress gene expression in two cowpea landraces under drought. *Journal of Plant Physiology*. 218: 26-34.
- Zhang, X., and E. Ervin. 2004. Cytokinin-containing Seaweed and humic acid extracts associated with creeping Bentgrass leaf Cytokinins and drought resistance. *Crop Science*. 44: 1737-1745.

Research Article

DOI:

Effects of Potassium and Growth Stimulators on Red Bean Vegetative Characteristics and Yield at Various Irrigation Levels

Mohammad Kazem Alillou¹, Mohsen Roshdi^{2*}, Sasan Rezaoust³, Javad Khalili Mahaleh³, Ali Nasrolahzadeh³

Received: April 2022, Revised: 25 June 2022, Accepted: 10 July 2022

Abstract

Implementing deficit irrigation techniques to improve irrigation water productivity is considered a scientific solution. This split-plot experiment using the randomized complete block design with three replications was conducted in a field in Pir Musa village of Khoi County in 2022 to study the effects of growth stimulants on vegetative growth and yield of red bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under normal and deficit irrigation. The main plots included irrigation at 8-, 11- and 14-day intervals and the subplots application of growth stimulants at five levels (humic acid, amino acid as foliar spray, rooting stimulant, 30% liquid potassium fertilizer, and the control with no growth stimulants). The results showed that irrigation levels had significant effects on red bean vegetative characteristics, seed yield, and protein yield. In addition, application of growth stimulants significantly influenced plant height, number of lateral branches per plant and the height of the first lateral branch, and biological yield and seed yield. The interaction effects of irrigation level and application of growth stimulants on the height of the first branch, biological yield and seed yield were significant at the 1% level. The highest seed yield (3076.1 and 2982.8 kg.ha⁻¹) were achieved at 8-day interval irrigation and humic acid and amino acid application, respectively, and the lowest (1220.9 kg.ha⁻¹ on average) at 14-day irrigation interval and no growth stimulant application. The results suggested that humic acid application improved the vegetative components of red bean under normal irrigation and moderated the effects of deficit irrigation on red bean under deficit irrigation and thus was effective in increasing its quantitative and qualitative yield.

Key words: Biological Yield, Humic Acid, Proline, Growth Stimulant.

¹ Ph.D. Student of Agronomy, Faculty of Agriculture, Khoy Branch, Islamic Azad University, Khoy, Iran.

² Associate Prof., Faculty of Agriculture, Khoy Branch, Islamic Azad University, Khoy, Iran.

³ Assistant Prof., Faculty of Agriculture, Khoy Branch, Islamic Azad University, Khoy, Iran.

*Corresponding Authors: Roshdi1349@Yahoo.com