

تأثیر کاربرد هیدروژل سوپرجاذب رطوبت در خاک و محلول پاشی اسید هیومیک بر برخی ویژگی‌های آگرواکولوژیکی لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) در شرایط مشهد

محسن جهان^{۱*}، رضوان سهرابی^۲، فریما دعایی^۲ و محمد بهزاد امیری^۲
گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
گروه آگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
نویسنده مسئول: jahan@um.ac.ir

جهان، م.، ر. سهرابی، ف. دعایی و م. ب. امیری. ۱۳۹۲. تأثیر کاربرد هیدروژل سوپرجاذب رطوبت در خاک و محلول پاشی اسید هیومیک بر برخی ویژگی‌های آگرواکولوژیکی لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) در شرایط مشهد. مجله کشاورزی بوم‌شناختی. ۳ (۲): ۹۰-۷۱.

چکیده

در سال‌های اخیر، توجه به سلامت گیاهات غذایی به‌ویژه حبوبات که از جمله‌ی مهم‌ترین منابع پروتئینی در سطح جهان به شمار می‌روند، به میزان قابل‌توجهی افزایش یافته است. به‌منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف سوپرجاذب رطوبت و اسید هیومیک بر برخی ویژگی‌های کمی و شاخص‌های رشدی لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) آزمایشی در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در مزرعه‌ی تحقیقاتی دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، به‌صورت کرت‌های خردشده نواری در قالب طرح پایه‌ی بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار انجام شد. عامل‌های آزمایشی شامل سه سطح مختلف سوپرجاذب (صفر، ۴۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار) به‌عنوان عامل اصلی، دو سطح اسید هیومیک (صفر و ۳ کیلوگرم در هکتار) به‌عنوان عامل فرعی و دو سطح آبیاری (مدار آبیاری ۷ و ۱۴ روز) به‌عنوان عامل نواری بودند. نتایج آزمایش نشان داد که تأثیر متقابل سوپرجاذب و اسید هیومیک بر عملکرد دانه معنی‌دار بود، به‌طوری‌که بیشترین و کمترین عملکرد دانه به‌ترتیب در تیمارهای ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب به‌علاوه‌ی اسید هیومیک (۳۴۷۵/۹ کیلوگرم در هکتار) و بدون کاربرد سوپرجاذب بدون اسید هیومیک (۱۷۱۰/۶ کیلوگرم در هکتار) بدست آمد. تأثیر متقابل سوپرجاذب و مدار آبیاری به‌طور معنی‌داری بر تجمع ماده‌ی خشک تأثیر داشت، به‌طوری‌که مدار آبیاری ۷ روز در همه‌ی سطوح سوپرجاذب مورد بررسی نسبت به مدار آبیاری ۱۴ روز برتر بود و تجمع ماده‌ی خشک را در هر یک از سطوح صفر، ۴۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب به‌ترتیب ۱۵، ۹ و ۱۱ درصد افزایش داد. نتایج تأثیر متقابل اسید هیومیک و مدار آبیاری نشان داد که کاربرد اسید هیومیک در مدار آبیاری ۷ و ۱۴ روز به‌ترتیب منجر به افزایش ۱۱ و ۱۴ درصدی شاخص سطح برگ شد. در بررسی تأثیر متقابل سه‌گانه‌ی سوپرجاذب، اسید هیومیک و مدار آبیاری بر سرعت رشد گیاه دیده شد که در شرایط کاربرد و بدون کاربرد اسید هیومیک و در هر دو مدار آبیاری ۷ و ۱۴ روز، با افزایش میزان مصرفی سوپرجاذب، سرعت رشد گیاه افزایش یافت. به‌طور کلی با توجه به یافته‌های این پژوهش، به نظر می‌رسد می‌توان با استفاده از نهاده‌های بوم‌شناختی (اکولوژیک) ضمن کاهش مصرف کودهای شیمیایی و مخاطره‌های زیست‌محیطی ناشی از آنها، پایداری تولید را در درازمدت حفظ کرد.

واژه‌های کلیدی: پایداری تولید، تجمع ماده‌ی خشک، حبوبات، سلامت گیاه، نهاده‌ی بوم‌شناختی (اکولوژیک).

مقدمه

کشاورزان به یک معضل بزرگ تبدیل شده است (Rosales *et al.*, 2012). از این‌رو در سال‌های اخیر تلاش‌های فراوانی به‌منظور افزایش کارایی مصرف آب صورت گرفته است، که در این مسیر، افزایش دور آبیاری و بهره‌گیری از سوپرجاذب‌ها به‌عنوان دو راهکار اساسی برای صرفه‌جویی و استفاده‌ی بهینه‌ی آب مدنظر قرار گرفته‌اند (Islam *et al.*, 2011). امروزه از پلیمرهای سوپرجاذب به‌طور گسترده‌ای در کشاورزی استفاده می‌شود و نقش آنها در کاهش شدت تنش خشکی و میزان مرگ و میر گیاهان و همچنین افزایش تولید گیاهات زراعی در بررسی‌های پر شماری به اثبات رسیده است (Abedi-Koupai *et al.*, 2008; Zhong *et al.*, 2012). این پلیمرها می‌توانند میزان زیادی آب جذب و آن را در ساختمان خود حفظ کنند و به تدریج در صورت نیاز در شرایط خشکی آن را در اختیار گیاه قرار دهند (Wang and Wang, 2010; Nykanen *et al.*, 2011; Zhong *et al.*, 2013). سوپرجاذب‌ها از راه بهبود ویژگی‌ها فیزیکی و ساختمان خاک (Chu *et al.*, 2006)، کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک (Abedi-koupai, 2008)، افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی (Eneji *et al.*, 2013)، افزایش جوانه‌زنی و سبز شدن بذر (Eneji *et al.*, 2013)، کاهش نیاز آبی گیاه (Xie *et al.*, 2011)، کاهش میزان تبخیر از سطح خاک (Nykanen *et al.*, 2011) و کاهش هدررفت‌های ناشی از مصرف کودها (Zheng *et al.*, 2009) منجر به بهبود ویژگی‌ها کمی و کیفی گیاهات مختلف می‌شوند. این مواد بی‌بو، بی‌رنگ و بدون خاصیت آلاینده‌ی خاک، آب و بافت گیاه می‌باشند، ضمن اینکه خود به‌طور کامل سالم و غیر سمی هستند و درنهایت در خاک به دی‌اکسید کربن، آب، آمونیاک و یون پتاسیم تجزیه می‌شوند (Nazarli *et al.*, 2010). در یک پژوهش با بررسی تاثیر سطوح مختلف سوپرجاذب بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت (*Zea mays* L.) گزارش شد که با افزایش میزان مصرفی سوپرجاذب، عملکرد دانه و علوفه‌ی ذرت به میزان قابل‌توجهی در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت (Karimi and Naderi, 2007). در بررسی‌ای دیگر، تاثیر قطع آبیاری و تاثیر کاربرد سوپرجاذب خاک بر میزان بقای گیاهچه‌ی کاج (*Pinus halepensis*) بررسی و گزارش شد که در شرایط بدون-کاربرد سوپرجاذب، ۵ روز پس از قطع آبیاری گیاهچه‌ها خشک شدند، درحالی‌که در شرایط استفاده از سوپرجاذب

حبوبات، گوشت مردم فقیر، دومین منبع غذایی بشر پس از غلات و عمده‌ترین منبع پروتئین گیاهی هستند (Mahluji *et al.*, 2000). لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) گیاهی یک‌ساله، دولپه‌ای و گرمادوست از خانواده‌ی بقولات^۱ است که امروزه در بسیاری از مناطق گرم و معتدل جهان از جمله ایران کشت می‌شود (Kumar *et al.*, 2013). ارزش غذایی این گیاه به علت دارا بودن پروتئین (حدود ۲۵ درصد) و کربوهیدرات (حدود ۶۰ درصد) بالا، فیبر فراوان و برخی ویتامین‌ها (مانند فولیت)، مواد معدنی (مانند مس، کلسیم، آهن، منیزیم، منگنز و روی)، ضد اکسنده (آنتی‌اکسیدانها) و پلی‌فنل‌هاست (Kumar *et al.*, 2013; Rosales *et al.*, 2012; Wani *et al.*, 2013). تولید جهانی لوبیا در سال ۲۰۱۰، ۲۲/۹ میلیون تن برآورد شده است و کشورهای هند، برزیل، میانمار، آمریکا و مکزیک از جمله‌ی مهم‌ترین تولیدکننده‌های این گیاه در جهان به شمار می‌روند (FAO, 2012). در شرایطی که امروزه کودهای شیمیایی چالش‌ها بسیاری مانند مصرف بیش از حد انرژی، افزایش هزینه‌ها، آلودگی آب‌های زیرزمینی و تهدید سلامت اکوسیستم‌ها و جامعه‌های انسانی را به همراه داشته‌اند، لوبیا قادر است قسمت عمده‌ای از نیتروژن مورد نیاز خود را از راه رابطه‌ی همزیستی با باکتری ریزوبیوم به دست آورد (Mulas *et al.*, 2011). با این حال، از سال ۱۹۸۰ به بعد، به دلیل تمایل کشاورزان به کشت گیاهان اقتصادی‌تر مانند چغندر قند و ذرت، تولید لوبیا به‌شدت کاهش یافته است (Alberston *et al.*, 2006). عمده‌ترین چالش تولید لوبیا این است که حدود ۶۰ درصد اراضی اختصاص داده شده به این گیاه با کمبود آب رو به رو هستند و از سیستم‌های آبیاری مجهزی برخوردار نیستند و در برخی بررسی‌های، کاهش عملکرد ناشی از این خشکسالی‌های غیرمنتظره تا ۸۰ درصد گزارش شده است (FAO, 2009).

دسترسی ناکافی به آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک، افزایش کارایی مصرف آب را به‌عنوان یکی از محورهای اصلی کشاورزی پایدار در این مناطق مطرح کرده است. تنش آب از یک‌سو ویژگی‌ها کمی و کیفی گیاه را کاسته و از سوی دیگر به دلیل بالا بودن قیمت آب، خرید آب برای

^۱ Fabaceae

پژوهشی دیگر، کاربرد ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اسید هیومیک منجر به افزایش طول و قطر ساقه، وزن خشک، میزان عناصر غذایی و عملکرد گیاه فلفل (*Capsicum frutescens*) شد (Turkmen et al., 2005).

نظر به اهمیت لوبیا به‌عنوان مهم‌ترین گیاه زراعی در بین حبوبات و نیز در دسترس نبودن اطلاعاتی مستند و جامع در زمینه‌ی کاربرد همزمان سوپرجاذب و اسید هیومیک و نقش آنها در کاهش تنش خشکی، این پژوهش باهدف ارزیابی تأثیر کاربرد هیدروژل سوپرجاذب رطوبت در خاک و محلول‌پاشی اسید هیومیک بر برخی ویژگی‌های آگروبووم شناختی (اکولوژیک) لوبیا انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در مزرعه‌ی تحقیقاتی دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری جنوب شرقی مشهد با طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۲۳ دقیقه‌ی شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه‌ی شمالی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا انجام شد. آزمایش در قالب طرح کرت‌های خردشده نواری^۱ در قالب طرح پایه‌ی بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. کاربرد سوپرجاذب در خاک در سه سطح صفر، میزان توصیه شده (۴۰ کیلوگرم در هکتار) و دو برابر میزان توصیه شده (۸۰ کیلوگرم در هکتار) در کرت‌های اصلی، کاربرد اسید هیومیک در دو سطح صفر و میزان توصیه شده (۳ کیلوگرم در هکتار) در کرت‌های فرعی و مدار آبیاری در دو سطح ۷ و ۱۴ روز در کرت‌های نواری قرار گرفتند.

پیش از انجام آزمایش، از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک محل آزمایش نمونه‌برداری و ویژگی‌ها فیزیکی-شیمیایی آن تعیین شد (جدول ۱).

به‌منظور حفظ پایداری خاک عملیات آماده‌سازی زمین با تأکید بر کمترین خاک‌ورزی، توسط کارگر و با بیل دستی انجام شد، بدین ترتیب که ابتدا کرت‌هایی به ابعاد ۲×۲/۵ متر ایجاد و آن‌گاه میزان مختلف سوپرجاذب برای

مرگ گیاهچه تا ۱۹ روز به تأخیر افتاد (Hutterman et al., 1999). همچنین گزارش شد که کاربرد سوپرجاذب ضمن کاهش تنش خشکی در ذرت، منجر به افزایش ۱۶ درصدی عملکرد این گیاه شد (Khadem et al., 2011).

با توجه به تأثیرات زیانبار کودهای شیمیایی بر سلامت انسان و محیط‌زیست، امروزه استفاده از انواع اسیدهای آلی برای بهبود کمی و کیفی گیاهات مختلف بیشتر از گذشته مورد توجه قرار گرفته است. مواد هیومیکی شامل مخلوطی از ترکیبات آلی مختلف هستند که از منابع مختلفی مانند خاک، هوموس، پیت، لیگنیت اکسید شده، زغال‌سنگ و غیره استخراج می‌شوند که در اندازه‌ی مولکولی و ساختار شیمیایی متفاوت‌اند (Puglisi et al., 2009; Rezazadeh et al., 2012). میزان بسیار کم از اسیدهای آلی با بهبود ویژگی‌ها فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، منجر به افزایش حاصلخیزی خاک می‌شود (Natesan et al., 2007). از دیگر سودمندی‌های اسید هیومیک می‌توان به خاصیت کلات‌کنندگی عناصر غذایی (سدیم، پتاسیم، منیزیم، روی، کلسیم، آهن، مس و غیره) (Verlinden et al., 2009)، افزایش ظهور ریشه‌های جانبی، افزایش رشد اندام‌های هوایی و محتوای نیتروژن (Ayas and Gulser, 2005)، جلوگیری از فعالیت آنزیم‌هایی مانند کربوکسی پپتیداز فسفاتاز، افزایش فعالیت آنزیم‌های ریشه و بهبود فعالیت آنزیم آتپاز (Canellas et al., 2002)، از بین بردن سبزاک (کلروز) برگ‌ها (Maccarthy, 2001)، بهبود جذب عناصر غذایی و سهولت جذب عناصر اصلی (ماکرو) و کم مصرف (میکرو) (Puglisi et al., 2009)، افزایش فعالیت های شبه‌هورمونی (Samavat et al., 2006) و افزایش تولید و بهبود کیفیت گیاهات کشاورزی (Tahir et al., 2011) اشاره کرد. اسید هیومیک با وزن مولکولی سی هزار تا سیصد هزار دالتن سبب تشکیل ترکیب‌های پیچیده (کمپلکس‌های) محلول با عناصر میکرو می‌گردد (Michael 2001). در یک پژوهش گزارش شد که در شرایط استفاده از اسید هیومیک، عملکرد علوفه ذرت ۳۱ درصد بیشتر از شاهد بود (Rezazadeh et al., 2012).

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش.

بافت خاک	نیتروژن کل (درصد)	فسفر قابل دسترس (قسمت در میلیون)	پتاسیم قابل دسترس (قسمت در میلیون)	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	pH
سیلت-لومی	۰/۰۷۹	۱۵	۳۸۷	۱/۳۴	۷/۸

^۱ Split Strip Block

جدول ۲- مشخصات اسید هیومیک مورد استفاده در آزمایش.

نام تجاری	اسید هیومیک (درصد)	اکسید پتاسیم (درصد)	آهن (درصد)	نیتروژن آلی (درصد)	pH	سمیت (درصد)
هیومکس ۹۵-WGS	۸۵	۱۲	۱	۰/۸	۹-۱۰	۰

تجزیه واریانس (ANOVA) و تحلیل رگرسیونی داده‌های به‌دست آمده از آزمایش و رسم شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای SAS Ver. 9.1 و EXCEL Ver. 14 انجام گرفت. مقایسه‌ی میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد و بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن انجام شد.

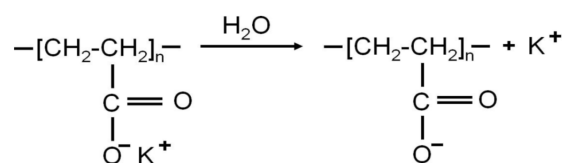
نتایج و بحث

عملکرد دانه

عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری تحت‌تأثیر سطوح مختلف سوپرجاذب قرار گرفت، به‌طوری‌که با افزایش میزان مصرفی سوپرجاذب عملکرد دانه افزایش یافت (شکل ۲) و هر یک از سطوح ۴۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب به‌ترتیب منجر به افزایش ۲۶ و ۴۱ درصدی عملکرد دانه در مقایسه با شاهد شدند (جدول ۳). کاربرد اسید هیومیک به‌طور معنی‌داری بر عملکرد دانه تأثیر داشت و موجب افزایش ۱۶ درصدی آن نسبت به شاهد شد (جدول ۳). سطوح مختلف آبیاری از نظر عملکرد دانه تفاوت معنی‌داری داشتند، به‌طوری‌که عملکرد دانه در مدار آبیاری ۱۴ روز ۱۲ درصد بیشتر از مدار آبیاری ۷ روز بود (جدول ۳).

همان‌طور که در جدول ۴ دیده می‌شود، تأثیر متقابل سوپرجاذب و اسید هیومیک بر عملکرد دانه معنی‌دار بود، به‌طوری‌که بیشترین و کمترین عملکرد دانه به‌ترتیب در تیمارهای ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب به‌علاوه‌ی اسید هیومیک (۳۴۷۵/۹ کیلوگرم در هکتار) و بدون کاربرد سوپرجاذب بدون اسید هیومیک (۱۷۱۰/۶ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد، ضمن اینکه در همه‌ی سطوح سوپرجاذب مورد بررسی، کاربرد اسید هیومیک منجر به افزایش عملکرد دانه شد. به نظر می‌رسد که سطوح مختلف سوپرجاذب با بهبود ویژگی‌ها فیزیکی خاک (Chu *et al.*, 2006) و اسید هیومیک با فراهم کردن عناصر غذایی (Tahir *et al.*, 2011) منجر به افزایش عملکرد لوبیا شدند. در یک پژوهش، با بررسی تأثیر سطوح مختلف سوپرجاذب و کود دامی بر ویژگی‌ها کمی و کیفی سویا (*Glycine max L.*) در شرایط خشکی گزارش شد که

هر یک از کرت‌های مربوطه محاسبه و به‌طور یکنواخت در سطح کرت‌های موردنظر پخش و بی‌درنگ توسط بیل دستی وارد خاک شدند. شکل ۱ ساختار شیمیایی سوپرجاذب و رابطه‌ی آن با آب را نشان می‌دهد.



شکل ۱- ساختار شیمیایی سوپرجاذب و رابطه‌ی آن با آب.

به‌منظور تعیین ویژگی‌های رشدی و شاخص‌های فیزیولوژیک، نمونه‌برداری‌های تخریبی از ۳۰ روز پس از سبز شدن، هر ۱۵ روز یک‌بار، با حذف اثرگذاری‌های حاشیه‌ای و به‌طور تصادفی از سطح ۰/۲۵ مترمربع هر کرت آزمایشی انجام شد. برای تعیین شاخص سطح برگ از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ^۱ استفاده شد. به‌منظور محاسبه‌ی سرعت رشد گیاه (CGR) و سرعت جذب و ساخت (آسیمیلاسیون) خالص (NAR) در طول فصل رشد به‌ترتیب از معادله‌های ۱ و ۲ استفاده شد (Koocheki and Sarmadnia, 2006):

$$\text{CGR} = \frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1} \quad (1)$$

$$\text{NAR} = \text{CGR} / \text{LAI} \quad (2)$$

در معادله‌ی ۱ حروف اختصاری W_1 ، W_2 ، t_1 و t_2 به‌ترتیب وزن خشک گیاه در نمونه‌گیری اول، وزن خشک گیاه در نمونه‌گیری دوم، زمان نمونه‌گیری اول و زمان نمونه‌گیری دوم می‌باشند.

در انتهای فصل رشد، همزمان با زرد شدن بوته‌ها و خشک شدن غلاف‌ها، برای تعیین عملکرد دانه، بوته‌های دو مترمربع از هر کرت آزمایشی برداشت شدند. همچنین ۵ بوته از هر کرت به‌طور تصادفی انتخاب و وزن دانه، تعداد دانه و تعداد غلاف آنها تعیین شدند.

¹ Leaf Area Meter, Delta T, Co. Ltd, Uk

² Leaf area index

جدول ۳- مقایسه میانگین برخی از ویژگی‌های کمی و شاخص‌های رشدی لوبیا در شرایط کاربرد هیدروژل سوپر جاذب رطوبت خاک و محلول پاشی اسید هیومیک.

تیمارهای آزمایشی	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	وزن دانه در بوته (گرم)	تعداد دانه در بوته	تعداد غلاف در بوته	تجمع ماده‌ی خشک (گرم در مترمربع)	شاخص سطح برگ	سرعت رشد گیاه (گرم در مترمربع در روز)	سرعت جذب و ساخت (آسیمیلاسیون) خالص (گرم بر مترمربع برگ در روز)
کاربرد سوپر جاذب (کیلوگرم در هکتار)								
۰	۱۸۸۵/۱۴c	۹/۳۳c	۳۵/۹۱c	۷/۰۲c	۶۵۲/۵۵c	۶/۶۸b	۴/۰۰c	۹/۰۶b
۴۰	۲۵۶۴/۷۷b	۱۲/۸۱b	۴۴/۶۷b	۷/۶۳b	۷۰۳/۶۰b	۷/۱۰a	۴/۳۰b	۷/۳۹b
۸۰	۳۱۸۸/۸۸a	۱۵/۶۶a	۴۸/۶۵a	۸/۲۵a	۷۴۴/۵۰a	۷/۳۶a	۴/۵۱a	۱۷/۹۵a
کاربرد اسید هیومیک (کیلوگرم در هکتار)								
۰	۲۳۳۱/۹۴b	۱۱/۵۵b	۳۹/۴۲b	۷/۰۹b	۶۹۵/۰۰b	۶/۶۰a	۴/۲۳a	۱۵/۳۶a
۳	۲۷۶۰/۵۸a	۱۳/۶۵a	۴۶/۷۳a	۸/۱۸a	۷۰۵/۴۳a	۷/۴۹a	۴/۳۱a	۷/۵۷b
مدار آبیاری (روز)								
۷	۲۳۷۷/۳۹b	۱۳/۴۳a	۳۶/۹۰b	۸/۰۷a	۷۴۳/۸۰a	۸/۹۶a	۴/۸۰a	۱۲/۵۰a
۱۴	۲۷۱۵/۱۴a	۱۱/۷۸b	۴۹/۲۵a	۷/۱۹b	۶۵۶/۶۳b	۵/۱۳b	۳/۷۴b	۱۰/۴۴b

در هر ستون، میانگین‌های دارای دست‌کم یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۴- مقایسه میانگین تاثیرات متقابل کاربرد سوپر جاذب و محلول پاشی اسید هیومیک بر برخی ویژگی‌های کمی و شاخص‌های رشدی لوبیا.

کاربرد ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب		کاربرد ۴۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب		بدون کاربرد سوپر جاذب		صفات مورد بررسی
کاربرد اسید هیومیک	بدون کاربرد اسید هیومیک	کاربرد اسید هیومیک	بدون کاربرد اسید هیومیک	کاربرد اسید هیومیک	بدون کاربرد اسید هیومیک	
۳۴۷۵/۹a	۲۹۰۱/۸b	۲۷۴۶/۱b	۲۳۸۳/۴c	۲۰۵۹/۷d	۱۷۱۰/۶e	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)
۱۷/۳۷a	۱۳/۹۶b	۱۳/۴۴bc	۱۲/۱۸c	۱۰/۱۵d	۸/۵۲e	وزن دانه در بوته (گرم)
۵۱/۵۲a	۴۵/۷۹ab	۴۹/۰۶ab	۴۰/۲۸bc	۳۹/۶۲bc	۳۲/۲۰c	تعداد دانه در بوته
۸/۹۴a	۷/۵۷bc	۸/۰۰b	۷/۲۵c	۷/۶۰bc	۶/۴۴d	تعداد غلاف در بوته
۷۵۰/۰۰a	۷۳۹/۰۰a	۷۰۹/۵۰ab	۶۹۷/۷۰ab	۶۵۶/۸۰b	۶۴۸/۳۰b	تجمع ماده‌ی خشک (گرم در مترمربع)
۷/۹۱a	۶/۸۰a	۷/۴۷a	۶/۷۳a	۷/۱۰a	۶/۲۶a	شاخص سطح برگ
۴/۵۸a	۴/۴۵a	۴/۳۵a	۴/۲۶a	۴/۰۰a	۳/۹۹a	سرعت رشد گیاه (گرم در مترمربع در روز)
۷/۹۳b	۲۷/۹۷a	۷/۹۳b	۶/۸۶b	۶/۸۷b	۱۱/۲۶b	سرعت جذب و ساخت (آسیمیلاسیون) خالص (گرم بر مترمربع برگ در روز)

در هر ردیف، میانگین‌های دارای دست‌کم یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۵- مقایسه میانگین تاثیرات متقابل کاربرد سوپرجاذب و مدار آبیاری بر برخی ویژگی‌های کمی و شاخص‌های رشدی لوبیا.

کاربرد ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب		کاربرد ۴۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب		بدون کاربرد سوپرجاذب		صفات مورد بررسی
مدار آبیاری ۱۴ روز	مدار آبیاری ۷ روز	مدار آبیاری ۱۴ روز	مدار آبیاری ۷ روز	مدار آبیاری ۱۴ روز	مدار آبیاری ۷ روز	
۳۲۶۷/۳a	۳۱۱۰/۴ab	۲۷۹۰/۹b	۲۳۳۸/۶c	۲۰۸۷/۲c	۱۶۸۳/۱d	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)
۱۶/۳۳a	۱۵/۰۰ab	۱۳/۶۷bc	۱۱/۹۵cd	۱۰/۲۸d	۸/۳۸e	وزن دانه در بوته (گرم)
۵۱/۹۴a	۴۵/۳۷b	۵۲/۵۵a	۳۶/۸۰c	۴۳/۲۷b	۲۸/۵۵d	تعداد دانه در بوته
۸/۴۵a	۸/۰۵ab	۸/۲۸ab	۶/۹۸cd	۷/۵۰bc	۶/۵۴d	تعداد غلاف در بوته
۷۰۳/۰۰c	۷۸۶/۰۰a	۶۶۸/۹۰d	۷۳۸/۳۰b	۵۹۸/۰۰e	۷۰۷/۱۰c	تجمع ماده‌ی خشک (گرم در مترمربع)
۵/۵۳b	۹/۱۹a	۵/۲۶bc	۸/۹۴a	۴/۶۰c	۸/۷۶a	شاخص سطح برگ
۳/۹۷c	۵/۰۶a	۳/۸۶c	۴/۷۴b	۳/۴۰d	۴/۵۹b	سرعت رشد گیاه (گرم در مترمربع در روز)
۲۳/۲۱a	۱۲/۶۹ab	۲/۵۱b	۱۲/۲۸ab	۵/۶۰b	۱۲/۵۲ab	سرعت جذب و ساخت (آسیمیلایون) خالص (گرم بر مترمربع برگ در روز)

در هر ردیف، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۶- مقایسه میانگین تاثیرات متقابل محلول پاشی اسید هیومیک و مدار آبیاری بر برخی ویژگی‌های کمی و شاخص‌های رشدی لوبیا.

سرعت جذب و ساخت (آسیمیلایون) خالص (گرم بر مترمربع برگ در روز)	سرعت رشد گیاه (گرم در مترمربع در روز)	شاخص سطح برگ	تجمع ماده‌ی خشک (گرم در مترمربع)	تعداد غلاف در بوته	تعداد دانه در بوته	وزن دانه در بوته (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	مدار آبیاری ۷ روز	
								کاربرد اسید هیومیک	بدون کاربرد اسید هیومیک
								۱۱/۵۷ab	۲۶۰۱/۵ab
								۱۳/۴۳ab	۲۱۵۳/۳b
مدار آبیاری ۱۴ روز									
								۱۷/۳۰a	۲۹۱۹/۶a
								۳/۵۸b	۲۵۱۰/۶ab

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۷- مقایسه میانگین تاثیرات متقابل کاربرد سوپر جاذب، محلول پاشی اسید هیومیک و مدار آبیاری بر برخی ویژگی‌های کمی و شاخص‌های رشدی لوبیا.

سرعت جذب و ساخت (آسیمیلاسیون خالص گرم بر مترمربع برگ در روز)	سرعت رشد گیاه (گرم در مترمربع در روز)	شاخص سطح برگ	تجمع ماده‌ی خشک (گرم در مترمربع)	تعداد غلاف در بوته	تعداد دانه در بوته	وزن دانه در بوته (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)		
۱۱/۵۳bc	۴/۵۸c	۹/۱۷ab	۷۰۹/۴۰cd	۷/۰۹ef	۳۱/۷۰d	۹/۴۶f	۱۸۹۲/۴g	بدون کاربرد سوپر جاذب	
۱۱/۱۶bc	۴/۷۷bc	۹/۴۶a	۷۴۲/۶۰b	۷/۴۴de	۴۰/۷۳c	۱۲/۵۱d	۲۵۰۲/۶d	کاربرد ۴۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب	مدار آبیاری ۷ روز
۱۲/۰۰bc	۵/۲۱a	۹/۸۲a	۷۹۳/۶۰a	۸/۶۹b	۵۰/۷۰b	۱۷/۰۴a	۳۴۰۹/۶a	کاربرد ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب	
۲/۲۱de	۳/۳۷e	۵/۰۲e	۶۰۴/۲۰g	۸/۱۱c	۴۷/۵۵b	۱۰/۸۴ef	۲۲۲۷/۱e	بدون کاربرد سوپر جاذب	
۴/۶۹d	۳/۹۳d	۵/۴۹ed	۶۷۶/۴۰ef	۸/۵۶b	۵۷/۴۰a	۱۴/۳۸bc	۲۹۸۹/۶b	کاربرد ۴۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب	مدار آبیاری ۱۴ روز
۳/۸۶de	۳/۹۶d	۶/۰۰d	۷۰۶/۴۰cd	۹/۱۹a	۵۲/۳۵b	۱۷/۷۰a	۳۵۴۲/۳a	کاربرد ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب	
۱۳/۵۲b	۴/۶۱c	۸/۳۵c	۷۰۴/۸۰d	۶/۰۰h	۲۵/۴۰e	۷/۳۱g	۱۴۷۳/۸h	بدون کاربرد سوپر جاذب	
۱۳/۴۰b	۴/۷۲bc	۸/۴۲c	۷۳۴/۰۰bc	۶/۵۱g	۳۲/۸۶d	۱۱/۴۰de	۲۱۷۴/۶ef	کاربرد ۴۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب	مدار آبیاری ۷ روز
۱۳/۳۸b	۴/۹۰b	۸/۵۵bc	۷۷۸/۴۰a	۷/۴۲de	۴۰/۰۵c	۱۲/۹۶cd	۲۸۱۱/۳bc	کاربرد ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب	
۹/۰۰c	۳/۴۳e	۴/۱۷f	۵۹۱/۸۰g	۶/۸۸fg	۳۹/۰۰c	۹/۷۳f	۱۹۴۷/۳fg	بدون کاربرد سوپر جاذب	
۰/۳۳e	۳/۸۰d	۵/۰۴e	۶۶۱/۴۰f	۸/۰۰c	۴۷/۷۰b	۱۲/۹۶cd	۲۵۹۲/۳cd	کاربرد ۴۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب	مدار آبیاری ۱۴ روز
۴۲/۵۶a	۳/۹۹d	۵/۰۶e	۶۹۹/۶۰de	۷/۷۲cd	۵۱/۵۳b	۱۴/۹۶b	۲۹۹۲/۴b	کاربرد ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب	

کاربرد اسید هیومیک

بدون کاربرد اسید هیومیک

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، تفاوت معنی‌داری ندارند.

وزن دانه در بوته

تأثیر سطوح مختلف سوپرجاذب بر وزن دانه در بوته معنی‌دار بود، به طوری که بیشترین و کمترین وزن دانه در بوته به ترتیب در تیمارهای ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب (۱۵/۶۶ گرم) و شاهد (۹/۳۳ گرم) به دست آمد (جدول ۳). کاربرد ۴۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب نیز وزن دانه در بوته را ۲۷ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۳). نتایج آزمایش گویای تأثیرات معنی‌دار کاربرد اسید هیومیک بر وزن دانه در بوته بود، به طوری که محلول‌پاشی اسید هیومیک منجر به افزایش ۱۵ درصدی وزن دانه در بوته نسبت به شاهد شد (جدول ۳). مدار آبیاری تأثیر بسیار معنی‌داری بر وزن دانه در بوته داشت، به طوری که فواصل آبیاری کوتاه‌تر (۷ روز) نسبت به فواصل آبیاری طولانی (۱۴ روز) افزایش ۱۲ درصدی وزن دانه در بوته را به همراه داشتند (جدول ۳).

وزن دانه در بوته به طور معنی‌داری تحت تأثیر متقابل سوپرجاذب و اسید هیومیک قرار گرفت، به طوری که تأثیر هم‌هی سطوح سوپرجاذب مورد بررسی در شرایط استفاده از اسید هیومیک تشدید شد، بدین ترتیب که کاربرد اسید هیومیک تأثیر سطوح صفر، ۴۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب را به ترتیب ۱۶، ۹ و ۲۰ درصد نسبت به کاربرد جداگانه‌ی آنها افزایش داد (جدول ۴). به نظر می‌رسد که اسید هیومیک به احتمال با بهبود فعالیت‌های آنزیمی در محیط ریشه (Canellas *et al.*, 2002)، کارایی سوپرجاذب در جذب آب را افزایش داده و در نتیجه کاربرد هم‌زمان سوپرجاذب و اسید هیومیک منجر به افزایش وزن دانه در بوته شده است. در یک بررسی تأثیر اسید هیومیک بر ویژگی‌ها کمی و کیفی بنت‌گراس (*Lolium perenne*) مورد بررسی قرار گرفت و دیده شد که بیشترین میزان سرعت فتوسنتز، توسعه‌ی زیست‌توده‌ی ریشه و محتوای عناصر غذایی گیاه در غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک به دست آمد (Liu *et al.*, 1998). در بررسی تأثیر متقابل سوپرجاذب و مدار آبیاری دیده شد که سطح ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب در هر دو شرایط مدار آبیاری ۷ و ۱۴ روز نسبت به دیگر تیمارها برتری داشت، ضمن اینکه در هم‌هی سطوح سوپرجاذب مورد بررسی وزن دانه در بوته در مدار آبیاری ۱۴ روز بیشتر از مدار آبیاری ۷ روز بود (جدول ۵). تأثیر متقابل اسید هیومیک و

مدار آبیاری به طور معنی‌داری بر وزن دانه در بوته تأثیر داشت، به طوری که بیشترین و کمترین وزن دانه در بوته به ترتیب در تیمارهای کاربرد اسید هیومیک و مدار آبیاری ۱۴ روز (۱۴/۳۱ گرم) و بدون کاربرد اسید هیومیک و مدار آبیاری ۷ روز (۱۰/۵۵ گرم) به دست آمد (جدول ۶). با توجه به نتایج آزمایش، در هر دو شرایط مدار آبیاری ۷ و ۱۴ روز، کاربرد اسید هیومیک منجر به افزایش وزن دانه در بوته شد (جدول ۶). تأثیر متقابل سه‌گانه‌ی سوپرجاذب، اسید هیومیک و مدار آبیاری بر وزن دانه در بوته معنی‌دار بود، به طوری که بیشترین و کمترین میزان وزن دانه در بوته به ترتیب در تیمارهای ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب به‌علاوه‌ی اسید هیومیک و مدار آبیاری ۱۴ روز (۱۷/۷۰ گرم) و بدون کاربرد سوپرجاذب بدون اسید هیومیک و مدار آبیاری ۷ روز (۷/۳۱ گرم) دیده شد (جدول ۷). کاربرد اسید هیومیک در هم‌هی سطوح سوپرجاذب مورد بررسی و هر دو مدار آبیاری ۷ و ۱۴ روز افزایش وزن دانه در بوته را به همراه داشت، ضمن اینکه مدار آبیاری ۱۴ روز در هم‌هی سطوح سوپرجاذب مورد بررسی و هر دو شرایط کاربرد و بدون کاربرد اسید هیومیک نسبت به مدار آبیاری ۷ روز از وزن دانه در بوته بیشتری داشت (جدول ۷). به نظر می‌رسد که سطوح مختلف سوپرجاذب از راه کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک (Abedi-Koupai *et al.*, 2008) و بهبود ویژگی‌ها فیزیکی و شیمیایی خاک (Wang and Wang, 2010)، کارایی مصرف عناصر غذایی موجود در اسید هیومیک را افزایش دادند و با برقراری برهمکنش مناسب با این اسید آلی، منجر به افزایش توانایی گیاه در مقابله با تنش خشکی شدند. در یک پژوهش، تأثیر هیدروژل‌های سوپرجاذب بر ویژگی‌ها کمی و کیفی ذرت در شرایط تنش خشکی بررسی و گزارش شد که کاربرد ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب از راه افزایش ظرفیت نگهداری آب، کاهش شستشوی مواد غذایی، رشد سریع و مطلوب ریشه و هوادهی بهتر خاک باعث بهبود وزن و تعداد دانه در بوته و افزایش عملکرد دانه و بیولوژیکی گیاه شد (Kuhestani *et al.*, 2009).

تعداد دانه در بوته

همان‌طور که در شکل ۲ دیده می‌شود، تأثیر سطوح مختلف سوپرجاذب بر تعداد دانه در بوته معنی‌دار بود،

تحت‌تأثیر تاثیر متقابل اسید هیومیک و مدار آبیاری قرار گرفت، به‌طوری‌که در هر دو شرایط مدار آبیاری ۷ و ۱۴ روز کاربرد اسید هیومیک منجر به افزایش تعداد دانه در بوته شد، که البته این تاثیرات مثبت در مدار آبیاری ۷ روز به‌صورت بارزتری نمایان شد (جدول ۴). در بررسی تاثیر متقابل سه‌گانه‌ی سوپرجاذب، اسید هیومیک و مدار آبیاری بر تعداد دانه در بوته دیده شد که بیشترین کمترین تعداد دانه در بوته به‌ترتیب در تیمارهای کاربرد ۴۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب به‌علاوه‌ی اسید هیومیک و مدار آبیاری ۱۴ روز (۵۷/۴۰ دانه در بوته) و بدون کاربرد سوپرجاذب بدون اسید هیومیک و مدار آبیاری ۷ روز (۲۵/۴۰ دانه در بوته) به دست آمد (جدول ۷). به نظر می‌رسد که سطوح مختلف سوپرجاذب، با بهبود ساختار خاک منجر به کاهش تلفات عناصر غذایی موجود در اسید هیومیک شدند (Zheng et al., 2012) و از آشفته‌ی این عناصر به اعماق زمین جلوگیری کردند، در نتیجه کاربرد همزمان سوپرجاذب و اسید هیومیک ضمن کاهش شدت تنش خشکی و بهبود کارایی سطوح آبیاری مورد بررسی، افزایش ویژگی‌ها کمی و کیفی گیاه را به همراه داشت. در پژوهشی دیگر، تاثیر سطوح مختلف اسید هیومیک بر ویژگی‌ها کمی و کیفی گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* L.) بررسی و گزارش شد که بیشترین تعداد میوه در بوته در سطح ۲ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک به دست آمد (Salehi et al., 2010).

تعداد غلاف در بوته

بین سطوح مختلف سوپرجاذب تفاوت معنی‌داری از نظر تعداد غلاف در بوته وجود داشت، به‌طوری‌که سطوح ۴۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب به‌ترتیب باعث افزایش ۸ و ۱۵ درصدی تعداد غلاف در بوته شدند (جدول ۳). کاربرد اسید هیومیک به‌طور معنی‌داری بر تعداد غلاف در بوته تأثیر داشت و کاربرد ۳ کیلوگرم از این اسید افزایش ۱۳ درصدی تعداد غلاف در بوته را در مقایسه با تیمار شاهد به همراه داشت (جدول ۳). تاثیر سطوح مختلف آبیاری بر تعداد غلاف در بوته معنی‌دار بود، به‌طوری‌که در مدار آبیاری ۷ روز تعداد غلاف در بوته ۱۱ درصد از مدار آبیاری ۱۴ روز بیشتر بود (جدول ۳).

بر اساس نتایج جدول ۴، تعداد غلاف در بوته تحت‌تأثیر تاثیر متقابل سوپرجاذب و اسید هیومیک قرار گرفت،

به‌طوری‌که با افزایش میزان مصرفی سوپرجاذب تعداد دانه در بوته افزایش یافت. بر اساس نتایج جدول ۳، کاربرد ۴۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب به‌ترتیب باعث افزایش ۲۰ و ۲۶ درصدی تعداد دانه در بوته شدند. نتایج آزمایش نشان داد که کاربرد اسید هیومیک نقش مؤثری در افزایش تعداد دانه در بوته ایفا کرد، به‌طوری‌که تعداد دانه در بوته در محلول‌پاشی اسید هیومیک ۱۶ درصد بیشتر از شاهد بود (جدول ۳). تاثیر مدارهای آبیاری مختلف بر تعداد دانه در بوته معنی‌دار بود، به‌طوری‌که با افزایش فاصله‌ی آبیاری‌ها تعداد دانه در بوته افزایش یافت و مدار آبیاری ۱۴ روز منجر به افزایش ۲۵ درصدی تعداد دانه در بوته نسبت به مدار آبیاری ۷ روز شد (جدول ۳).

تاثیر متقابل سوپرجاذب و اسید هیومیک تأثیر معنی‌داری بر تعداد دانه در بوته داشت، به‌طوری‌که کارایی همه‌ی سطوح سوپرجاذب مورد بررسی در شرایط استفاده از اسید هیومیک بهبود یافت، بدین ترتیب که در شرایط کاربرد اسید هیومیک کارایی سطوح صفر، ۴۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب به‌ترتیب ۱۹، ۱۸ و ۱۱ درصد نسبت به کاربرد جداگانه‌ی آنها افزایش یافت (جدول ۴). با توجه به نتایج جدول ۵، تاثیر متقابل سوپرجاذب و مدار آبیاری بر تعداد دانه در بوته معنی‌دار بود، به‌طوری‌که در همه‌ی سطوح سوپرجاذب مورد بررسی، مدار آبیاری ۱۴ روز دارای برتری محسوسی نسبت به مدار آبیاری ۷ روز بود. نتایج آزمایش نشان داد که کارایی سطوح مختلف سوپرجاذب در مدارهای آبیاری مختلف متفاوت است، به‌طوری‌که در هر یک از مدارهای آبیاری ۷ و ۱۴ روز به‌ترتیب سطوح ۸۰ و ۴۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب نسبت به دیگر تیمارها دارای برتری بودند (جدول ۵). به نظر می‌رسد که سطوح مختلف سوپرجاذب با افزایش ظرفیت نگهداری آب (Zhong et al., 2012) و کاهش میزان تبخیر از سطح خاک (Nykanen et al., 2011)، نیاز آبی گیاه را کاهش دادند، به‌طوری‌که تعداد دانه در بوته در مدار آبیاری ۱۴ روز بیشتر از مدار آبیاری ۷ روز بود. در یک پژوهش گزارش شد که کاربرد ۵ تا ۱۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب تأثیر معنی‌داری بر ویژگی‌ها کمی و کیفی ذرت نداشت، درحالی‌که مصرف میزان بیشتر سوپرجاذب (۱۵ کیلوگرم در هکتار و بالاتر) عملکرد و اجزای عملکرد ذرت را به میزان قابل‌توجهی افزایش داد (Mao et al., 2011). تعداد دانه در بوته به‌طور معنی‌داری

۱۷۱ تا ۴۰۲ درصد افزایش داد (Johnson, 1984). در پژوهشی دیگر با بررسی تأثیر سطوح مختلف سوپرجاذب بر ویژگی‌ها کمی ذرت گزارش شد که بیشترین عملکرد و اجزای عملکرد ذرت در تیمار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب به دست آمد (Khalili Mahalleh *et al.*, 2011). همچنین در یک پژوهش گزارش شد که کاربرد ۳۵۰۰ گرم در هکتار اسید هیومیک، موجب افزایش قابل-توجه تعداد دانه در ردیف و طول بلال ذرت شد (Ghorbani *et al.*, 2010).

تجمع ماده‌ی خشک

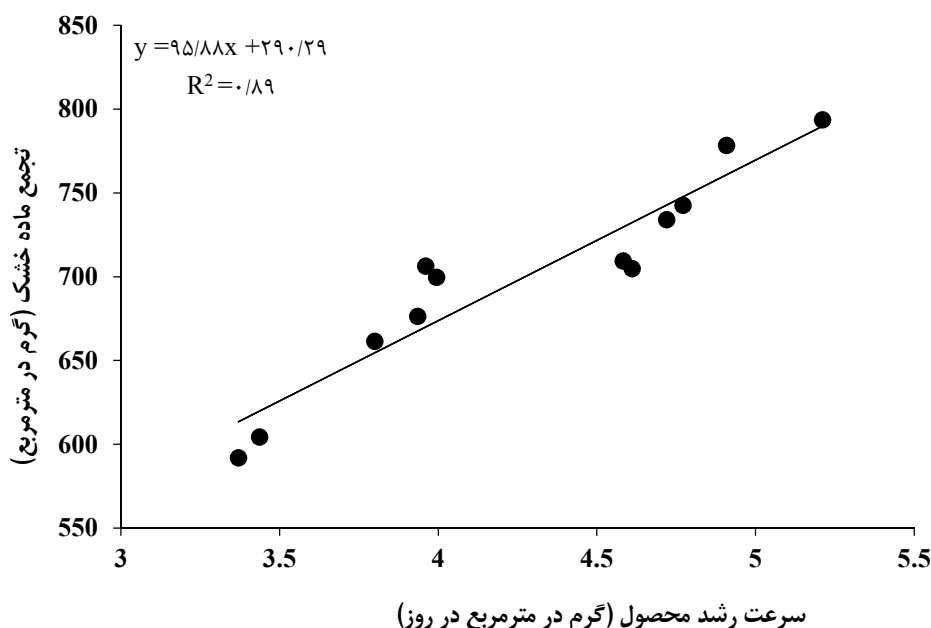
تجمع ماده‌ی خشک به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح مختلف سوپرجاذب قرار گرفت و بیشترین و کمترین میزان ماده‌ی خشک به‌ترتیب در تیمارهای ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب (۷۴۴/۵۰ گرم) و شاهد (۶۵۲/۵۵ گرم) دیده شد، ضمن اینکه کاربرد ۴۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب نیز منجر به افزایش ۷ درصدی تجمع ماده‌ی خشک شد (جدول ۳). نتایج آزمایش نشان داد که کاربرد اسید هیومیک تأثیر معنی‌داری بر تجمع ماده‌ی خشک داشت، به‌طوری‌که در صورت استفاده از اسید هیومیک تجمع ماده‌ی خشک به میزان ۲ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ۳). بر اساس نتایج به دست آمده، مدار آبیاری ۷ روز تجمع ماده‌ی خشک را به میزان قابل-توجهی (۱۲ درصد) در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داد (جدول ۳).

تأثیر متقابل سوپرجاذب و اسید هیومیک بر تجمع ماده‌ی خشک معنی‌دار بود، به‌طوری‌که کاربرد ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب در هر دو شرایط کاربرد و بدون کاربرد اسید هیومیک دارای بیشترین تجمع ماده‌ی خشک در مقایسه با دیگر تیمارها بود (جدول ۴). لازم به ذکر است که کاربرد اسید هیومیک در همه‌ی سطوح سوپرجاذب مورد بررسی تجمع ماده‌ی خشک را با افزایش رو به رو ساخت (جدول ۴). تأثیر متقابل سوپرجاذب و مدار آبیاری به‌طور معنی‌داری بر تجمع ماده‌ی خشک تأثیر داشت، به‌طوری‌که مدار آبیاری ۷ روز در همه‌ی سطوح سوپرجاذب مورد بررسی نسبت به مدار آبیاری ۱۴ روز برتر بود و تجمع ماده‌ی خشک را در هر یک از سطوح صفر، ۴۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب به‌ترتیب ۱۵، ۹ و ۱۱ درصد افزایش داد (جدول ۵). در بررسی تأثیر

به‌طوری‌که بیشترین و کمترین تعداد غلاف در بوته به-ترتیب در تیمارهای ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب به-علاوه‌ی اسید هیومیک (۸/۹۴ غلاف در بوته) و بدون-کاربرد سوپرجاذب بدون اسید هیومیک (۶/۴۴ غلاف در بوته) دیده شد. تأثیر متقابل سوپرجاذب و مدار آبیاری بر تعداد غلاف در بوته معنی‌دار بود، به‌طوری‌که افزایش فواصل آبیاری نقش مؤثری در بهبود کارایی همه‌ی سطوح سوپرجاذب مورد بررسی داشت، بدین ترتیب که مدار آبیاری ۱۴ روز به‌ترتیب منجر به افزایش ۱۳، ۱۶ و ۵ درصدی کارایی سطوح صفر، ۴۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب شد (جدول ۵). به نظر می‌رسد که سطوح مختلف سوپرجاذب از راه جذب آب و افزایش کارایی عناصر غذایی، نیاز آبی گیاه را کاهش دادند، به‌طوری‌که با افزایش فواصل آبیاری نه‌تنها گیاه با تنش رو به رو نشد، بلکه در این شرایط ویژگی‌ها کمی گیاه نسبت به زمانی که آبیاری به‌صورت هفتگی انجام می‌شد افزایش چشمگیری یافت. در یک پژوهش گزارش شد که کاربرد ۶۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب، موجب افزایش تعداد خوشه و دانه در بوته‌ی یولاف (*Avena sativa*) شد (Islam *et al.*, 2011). در بررسی تأثیر متقابل اسید هیومیک و مدار آبیاری دیده شد که در شرایط محلول‌پاشی اسید هیومیک تعداد غلاف در بوته در مدار آبیاری ۷ و ۱۴ روز به‌ترتیب ۱۴ و ۱۳ درصد نسبت به زمانی که محلول‌پاشی انجام نشد افزایش یافت (جدول ۶). همان‌طور که در جدول ۷ دیده می‌شود، تأثیر متقابل سه‌گانه‌ی سوپرجاذب، اسید هیومیک و مدار آبیاری بر تعداد غلاف در بوته معنی‌دار بود، به‌طوری‌که کاربرد اسید هیومیک در همه‌ی سطوح سوپرجاذب مورد بررسی و در هر دو مدار آبیاری ۷ و ۱۴ روز افزایش تعداد غلاف در بوته را به همراه داشت، ضمن اینکه با افزایش فواصل آبیاری (مدار آبیاری ۱۴ روز) برهمکنش ایجاد شده بین عامل‌های آزمایشی (سوپرجاذب و اسید هیومیک) تقویت شد. به نظر می‌رسد که سوپرجاذب از راه کاهش تلفات عناصر غذایی موجود در خاک (Zheng *et al.*, 2009) و اسید هیومیک با خاصیت کلات‌کنندگی این عناصر (Verlinden *et al.*, 2009)، به‌صورت مکمل هم عمل کردند و در نتیجه مواد غذایی کافی در اختیار گیاه قرار گرفت که در نهایت منجر به بهبود ویژگی‌ها کمی گیاه شد. در یک پژوهش گزارش شد که پلیمر سوپرجاذب ظرفیت نگهداری آب خاک شنی را

سوپرجاذب میزان تجمع ماده‌ی خشک افزایش یافت، ضمن اینکه کاربرد اسید هیومیک نقش مؤثری در بهبود کارایی سطوح مختلف سوپرجاذب و افزایش بازده مدارهای آبیاری مورد بررسی ایفا کرد (جدول ۷). به نظر می‌رسد که سطوح مختلف سوپرجاذب و اسید هیومیک، از راه بهبود ویژگی‌ها فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک (Chu *et al.*, 2006; Natesan *et al.*, 2007) برای فعالیت باکتری‌های ریزوبیوم همزیست با ریشه‌ی لوبیا فراهم کردند و در نتیجه مواد غذایی کافی در اختیار گیاه قرار گرفت و بدین ترتیب ویژگی‌ها کمی و کیفی آن بهبود یافت. در یک پژوهش تاثیر کاربرد سطوح مختلف سوپرجاذب بر رشد و عملکرد سویا و آفتابگردان (*Helianthus annuus*) بررسی و گزارش شد که با افزایش میزان مصرفی سوپرجاذب، تجمع ماده‌ی خشک هر دو گیاه به میزان قابل توجهی افزایش یافت (Karimi, 1993). بررسی رابطه‌ی بین تجمع ماده‌ی خشک و سرعت رشد گیاه نشان‌دهنده‌ی رابطه‌ای مستقیم بین این دو صفت بود (Fazeli Rostampour *et al.*, 2012)، به طوری که با افزایش سرعت رشد گیاه، تجمع ماده‌ی خشک افزایش یافت ($R^2 = 0.89$) (شکل ۳)، بنابراین همان‌طور که در جداول ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ دیده می‌شود، به نظر می‌رسد تیمارهایی که منجر به افزایش سرعت رشد گیاه شدند، افزایش تجمع ماده‌ی خشک را نیز به همراه داشتند.

متقابل اسید هیومیک و مدار آبیاری بر تجمع ماده‌ی خشک دیده شد که در هر دو شرایط کاربرد و بدون کاربرد اسید هیومیک مدار آبیاری ۷ روز از تجمع ماده‌ی خشک بیشتری نسبت به مدار آبیاری ۱۴ روز داشت (جدول ۶). ثابت شده است که اسید هیومیک از راه افزایش محتوای نیتروژن گیاه موجب بهبود ویژگی‌ها رشدی گیاه می‌شود (Ayas and Gulser, 2005). در یک پژوهش، تاثیر اسید هیومیک را بر ویژگی‌ها رشدی فلفل بررسی و گزارش شد که سطوح ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اسید هیومیک، افزایش طول محور زیر لپه (هیپوکوتیل)، قطر و طول ساقه، وزن خشک، میزان عناصر غذایی و عملکرد گیاه را به همراه داشتند (Turkmen *et al.*, 2005). همان‌طور که در جدول ۷ دیده می‌شود، تاثیر متقابل سه‌گانه‌ی سوپرجاذب، اسید هیومیک و مدار آبیاری بر تجمع ماده‌ی خشک معنی‌دار بود، به طوری که بیشترین و کمترین میزان تجمع ماده‌ی خشک به ترتیب در تیمارهای کاربرد ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب به-علاوه‌ی اسید هیومیک و مدار آبیاری ۷ روز (۷۹۳/۶۰ گرم در مترمربع) و بدون کاربرد سوپرجاذب بدون اسید هیومیک و مدار آبیاری ۱۴ روز (۵۹۱/۸۰ گرم در مترمربع) به دست آمد. با توجه به نتایج آزمایش، در شرایط کاربرد و بدون کاربرد اسید هیومیک و در هر دو مدار آبیاری ۷ و ۱۴ روز با افزایش میزان مصرفی



شکل ۳- رابطه‌ی بین تجمع ماده‌ی خشک و سرعت رشد گیاه در نتیجه‌ی کاربرد سوپرجاذب، اسید هیومیک و مدار آبیاری در یک نظام زراعی کم‌نهادی تولید لوبیا.

شاخص سطح برگ

تأثیر سطوح مختلف سوپرجاذب بر شاخص سطح برگ معنی‌دار بود، به طوری که کاربرد ۴۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب به ترتیب باعث افزایش ۶ و ۹ درصدی شاخص سطح برگ شد (جدول ۳). گرچه کاربرد اسید هیومیک تأثیر معنی‌داری بر شاخص سطح برگ نداشت، ولی محلول‌پاشی آن شاخص سطح برگ را ۱۲ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۳). شاخص سطح برگ به طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری قرار گرفت، به طوری که مدار آبیاری ۷ روز افزایش ۴۳ درصدی شاخص سطح برگ را نسبت به مدار آبیاری ۱۴ روز به همراه داشت (جدول ۳).

گرچه تأثیر متقابل سوپرجاذب و اسید هیومیک بر شاخص سطح برگ معنی‌دار نبود، ولی کاربرد اسید هیومیک کارایی هر یک از سطوح صفر، ۴۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب را به ترتیب ۱۲، ۱۰ و ۱۴ درصد نسبت به کاربرد جداگانه‌ی آنها افزایش داد (جدول ۴). سطوح مختلف سوپرجاذب به احتمال با بهبود ساختمان خاک (Nykanen et al., 2011) و اسید هیومیک از راه افزایش فعالیت‌های شبه‌هورمونی (Samavat et al., 2006) موجب بهبود ویژگی‌ها رشدی گیاه شدند. در یک پژوهش گزارش شد که کاربرد ۷۵ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب، شاخص‌های رشدی سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) از جمله شاخص سطح برگ را به میزان قابل‌توجهی در مقایسه با شاهد افزایش داد (Fazeli Rostampour et al., 2012). در بررسی تأثیر متقابل سوپرجاذب و مدار آبیاری بر شاخص سطح برگ دیده شد که مدار آبیاری ۷ روز در همه‌ی سطوح سوپرجاذب مورد بررسی از برتری قابل‌توجهی نسبت به مدار آبیاری ۱۴ روز داشت، به طوری که مدار آبیاری ۷ روز در هر یک از سطوح صفر، ۴۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب شاخص سطح برگ را به ترتیب به میزان ۴۷، ۴۱ و ۴۰ درصد در مقایسه با مدار آبیاری ۱۴ روز افزایش داد (جدول ۵). همان‌طور که در جدول ۶ دیده می‌شود تأثیر متقابل اسید هیومیک و مدار آبیاری بر شاخص سطح برگ معنی‌دار بود، به طوری که شاخص سطح برگ در هر دو شرایط کاربرد و بدون کاربرد اسید هیومیک، در مدار آبیاری ۷ روز بیشتر از مدار آبیاری ۱۴ روز بود (جدول ۶). نتایج آزمایش نشان داد که کاربرد اسید

هیومیک در مدار آبیاری ۷ و ۱۴ روز شاخص سطح برگ را به ترتیب ۱۱ و ۱۴ درصد نسبت به شرایط بدون کاربرد اسید هیومیک افزایش داد (جدول ۶). شاخص سطح برگ به طور معنی‌داری تحت تأثیر متقابل سه‌گانه‌ی سوپرجاذب، اسید هیومیک و مدار آبیاری قرار گرفت، به طوری که بیشترین و کمترین میزان شاخص سطح برگ به ترتیب در تیمارهای کاربرد ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب به علاوه‌ی اسید هیومیک و مدار آبیاری ۷ روز (۹/۸۲) و بدون کاربرد سوپرجاذب بدون اسید هیومیک و مدار آبیاری ۱۴ روز (۴/۱۷) به دست آمد (جدول ۷). با توجه به نتایج آزمایش، کاربرد اسید هیومیک در همه‌ی سطوح سوپرجاذب مورد بررسی و در هر دو مدار آبیاری ۷ و ۱۴ روز شاخص سطح برگ را به میزان قابل‌توجهی افزایش داد، ضمن اینکه مدار آبیاری ۷ روز در مقایسه با مدار آبیاری ۱۴ روز تأثیر مثبت بیشتری در بهبود روابط متقابل عوامل مورد بررسی داشت (جدول ۷). به نظر می‌رسد که گیاه تصمیم گرفت آب ذخیره شده در پلیمرهای سوپرجاذب را برای افزایش عملکرد و اجزای عملکرد خود استفاده کند و میزان آب کمتری را به رشد و توسعه‌ی برگ‌ها اختصاص داد، در نتیجه شاخص سطح برگ حتی در شرایط استفاده از سوپرجاذب در مدار آبیاری ۱۴ روز کمتر از مدار آبیاری ۷ روز بود، درحالی که بنابر توضیحات ارائه شده در قسمت عملکرد دانه، دیده شد که در شرایط کاربرد سوپرجاذب، مدار آبیاری ۱۴ روز عملکرد دانه‌ی بیشتری نسبت به مدار آبیاری ۷ روز داشته است. در یک پژوهش گزارش شد که سطوح پایین سوپرجاذب تأثیر چندانی بر شاخص سطح برگ نداشت، درحالی که با افزایش میزان مصرفی سوپرجاذب، شاخص سطح برگ به میزان ۳۳ درصد افزایش یافت (Islam et al., 2011). در پژوهشی دیگر، تأثیر سطوح مختلف اسید هیومیک بر شاخص‌های رشدی شلغم^۱ مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که تیمار ۱۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک دارای بیشترین شاخص سطح برگ بود (Albayrak and Camas, 2005).

^۱ *Brassica rapa* L.

سرعت رشد گیاه

بین سطوح مختلف سوپرچاذب از نظر سرعت رشد گیاه تفاوت معنی‌داری وجود داشت، به طوری که با افزایش میزان مصرفی سوپرچاذب سرعت رشد گیاه افزایش یافت (شکل ۲)، بدین ترتیب که سطوح ۴۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپرچاذب سرعت رشد گیاه را به ترتیب ۷ و ۱۱ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند (جدول ۳). بر اساس نتایج به دست آمده کاربرد اسید هیومیک موجب افزایش معنی‌دار و ۲ درصدی سرعت رشد گیاه نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۳). سطوح مختلف آبیاری به طور معنی‌داری بر سرعت رشد گیاه تأثیر داشت، به طوری که مدار آبیاری ۷ روز سرعت رشد گیاه را به میزان قابل توجهی (۲۲ درصد) نسبت به مدار آبیاری ۱۴ روز افزایش داد (جدول ۳).

گرچه تأثیر متقابل سوپرچاذب و اسید هیومیک تأثیر معنی‌داری بر سرعت رشد گیاه نداشت، ولی کارایی همه‌ی سطوح سوپرچاذب مورد بررسی در شرایط استفاده از اسید هیومیک افزایش یافت (جدول ۴). تأثیر متقابل سطوح مختلف سوپرچاذب و مدار آبیاری بر سرعت رشد گیاه معنی‌دار بود، به طوری که بیشترین و کمترین سرعت رشد گیاه به ترتیب در تیمارهای ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپرچاذب و مدار آبیاری ۷ روز (۵/۰۶ گرم در مترمربع در روز) و بدون کاربرد سوپرچاذب و مدار آبیاری ۱۴ روز (۳/۴۰ گرم در مترمربع در روز) دیده شد، ضمن اینکه در همه‌ی سطوح سوپرچاذب مورد بررسی، مدار آبیاری ۷ روز نسبت به مدار آبیاری ۱۴ روز برتر بود (جدول ۵). سرعت رشد گیاه به طور معنی‌داری تحت تأثیر متقابل اسید هیومیک و مدار آبیاری قرار گرفت، به طوری که در هر دو شرایط کاربرد و بدون کاربرد اسید هیومیک مدار آبیاری ۷ روز از سرعت رشد گیاه بیشتری نسبت به مدار آبیاری ۱۴ روز داشت (جدول ۶). با توجه به نتایج آزمایش، کاربرد اسید هیومیک در هر دو مدار آبیاری ۷ و ۱۴ روز منجر به افزایش سرعت رشد گیاه نسبت به شرایط بدون کاربرد اسید هیومیک شد، گرچه این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۶). در بررسی تأثیر متقابل سه‌گانه‌ی سوپرچاذب، اسید هیومیک و مدار آبیاری بر سرعت رشد گیاه دیده شد که در شرایط کاربرد و بدون کاربرد اسید هیومیک و در هر دو مدار آبیاری ۷ و ۱۴ روز، با افزایش میزان مصرفی سوپرچاذب سرعت رشد گیاه افزایش یافت

(جدول ۷). در این آزمایش کاربرد اسید هیومیک منجر به افزایش کارایی سطوح مختلف سوپرچاذب و مدارهای آبیاری مورد بررسی شد (جدول ۷). به نظر می‌رسد که سطوح مختلف سوپرچاذب و اسید هیومیک با بهبود جذب عناصر غذایی و سهولت جذب عناصر غذایی اصلی (ماکرو) و کم مصرف (میکرو) (Eneji et al., 2013; Puglisi et al., 2009)، منجر به بهبود ویژگی‌ها رشدی گیاه شدند. در یک پژوهش با بررسی تأثیر سطوح مختلف سوپرچاذب بر شاخص‌های رشدی سویا گزارش کردند که بیشترین میزان تجمع ماده‌ی خشک، شاخص سطح برگ و سرعت رشد گیاه در تیمار ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار سوپرچاذب به دست آمد (Yazdani et al., 2007). گزارش شد که کاربرد اسید هیومیک به صورت محلول و یا پودر در خاک، بهبود ویژگی‌ها رشدی هویج^۱ را به همراه داشت (Taylor and Cooper, 2004). مدار آبیاری ۷ روز در همه‌ی سطوح سوپرچاذب مورد بررسی و در هر دو شرایط کاربرد و بدون کاربرد اسید هیومیک سرعت رشد گیاه بیشتری نسبت به مدار آبیاری ۱۴ روز داشت (جدول ۷). در پژوهشی دیگر، گزارش شد که تنش آب دارای تأثیر منفی بر همه‌ی ویژگی‌ها کمی زیره سیاه (*Carum carvi* L.) بود (Laribi et al., 2009).

سرعت جذب و ساخت (آسیمیلاسیون) خالص

بین سطوح مختلف سوپرچاذب تفاوت معنی‌داری از نظر سرعت جذب و ساخت (آسیمیلاسیون) خالص وجود داشت، به طوری که کاربرد ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپرچاذب باعث افزایش ۵۰ درصدی سرعت جذب و ساخت (آسیمیلاسیون) خالص شد (جدول ۳). کاربرد اسید هیومیک دارای تأثیر منفی بر سرعت جذب و ساخت (آسیمیلاسیون) خالص بود و آن را با کاهش ۵۱ درصدی روبه‌رو کرد (جدول ۳). سرعت جذب و ساخت (آسیمیلاسیون) خالص به طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری قرار گرفت و مدار آبیاری ۷ روز سرعت جذب و ساخت (آسیمیلاسیون) خالص را ۱۶ درصد نسبت به مدار آبیاری ۱۴ روز افزایش داد (جدول ۳).

در بررسی تأثیر متقابل سوپرچاذب و اسید هیومیک بر سرعت جذب و ساخت (آسیمیلاسیون) خالص دیده شد

¹ *Daucus carota*

متفاوتی از سوپرجاذب نسبت به دیگرین دارای برتری بود (جدول ۷). در یک پژوهش گزارش شد که در شرایط خشکی انتقال مواد غذایی از برگ‌ها افزایش یافته و پیری برگ‌ها شتاب گیرد و در نتیجه سرعت جذب و ساخت (آسیمیلاسیون) خالص کاهش می‌یابد (Bredan and Egli, 2003). در پژوهشی دیگر، تأثیر میزان آب آبیاری بر شاخص‌های رشدی سورگوم بررسی و گزارش شد که با تغییر الگوی آبیاری از ۱- به ۱/۵- مگاپاسکال، شاخص‌های رشدی و عملکرد علوفه‌ی سورگوم به میزان قابل توجهی کاهش یافت (Aishah et al., 2011). همسو با نتایج این پژوهش، برخی محققین (Istanbuluoglu, 2009; Karam et al., 2011) به ترتیب بر روی گلرنگ^۱ و بادمجان^۲ نتایج مشابهی را گزارش کردند.

گروه‌بندی تیمارهای آزمایشی

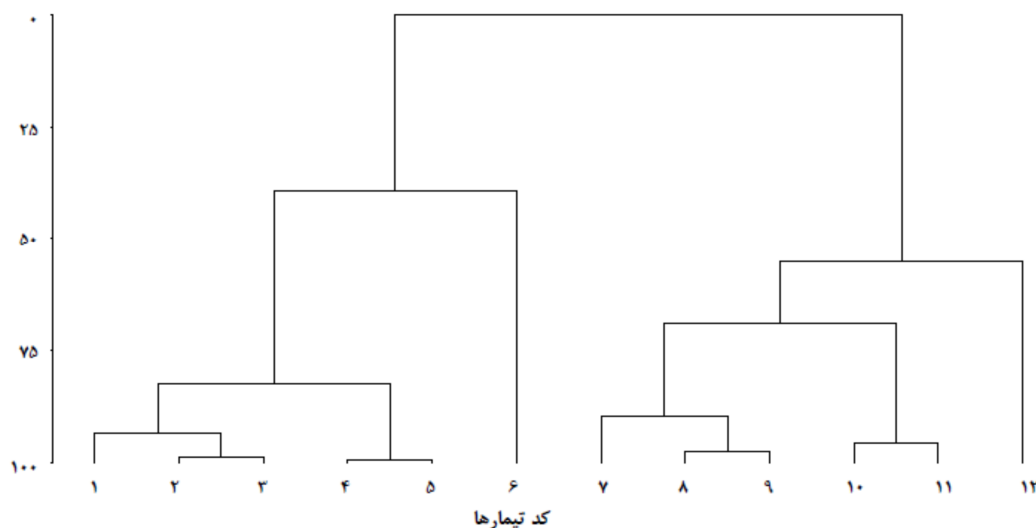
همان‌طور که در شکل ۴ دیده می‌شود، سطوح مختلف سوپرجاذب، اسید هیومیک و مدار آبیاری از نظر همهی صفات مورد بررسی در این پژوهش، بر اساس دندروگرام تجزیه‌ی خوشه‌ای به ۳ خوشه تقسیم شدند (سطح تشابه ۷۵ درصد). خوشه‌ی اول، شامل تیمارهای بدون کاربرد سوپرجاذب به‌علاوه و بدون اسید هیومیک و مدار آبیاری ۷ روز، کاربرد ۴۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب به‌علاوه و بدون اسید هیومیک و مدار آبیاری ۷ روز و کاربرد ۸۰ کیلوگرم در هکتار بدون اسید هیومیک و مدار آبیاری ۷ روز بود. در خوشه‌ی دوم، تیمارهای بدون کاربرد سوپرجاذب به‌علاوه و بدون اسید هیومیک و مدار آبیاری ۱۴ روز و کاربرد ۴۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب بدون اسید هیومیک و مدار آبیاری ۱۴ روز قرار گرفتند. خوشه‌ی سوم، شامل تیمارهای کاربرد ۴۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب به‌علاوه‌ی اسید هیومیک و مدار آبیاری ۱۴ روز بود. تیمارهای کاربرد ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب به‌علاوه‌ی اسید هیومیک و مدار آبیاری ۷ روز و کاربرد ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب بدون اسید هیومیک و مدار آبیاری ۱۴ روز تشابه قابل قبولی با دیگر تیمارها نشان ندادند و هر یک در خوشه‌های مستقلی قرار گرفتند (سطح تشابه ۷۵ درصد).

که تأثیر اسید هیومیک بر کارایی سطوح مختلف سوپرجاذب متفاوت بود، به‌طوری‌که کارایی سطوح صفر و ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب را کاهش و کارایی سطح ۴۰ کیلوگرم در هکتار آن را با افزایش رو به رو ساخت (جدول ۴). با توجه به نتایج آزمایش بیشترین میزان سرعت جذب و ساخت (آسیمیلاسیون) خالص در تیمار ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب بدون اسید هیومیک (۲۷/۹۷ گرم بر مترمربع برگ در روز) به دست آمد (جدول ۴). در یک پژوهش گزارش شد که در شرایط خشکی انتقال مواد غذایی از برگ‌ها افزایش می‌یابد و پیری برگ‌ها تسریع شده و در نتیجه سرعت جذب و ساخت (آسیمیلاسیون) خالص کاهش می‌یابد (Bredan and Egli 2003). همان‌طور که در جدول ۵ دیده می‌شود تأثیر متقابل سوپرجاذب و مدار آبیاری بر سرعت جذب و ساخت (آسیمیلاسیون) خالص معنی‌دار بود، به‌طوری‌که در هر یک از سطوح سوپرجاذب مورد بررسی، فاصله‌ی آبیاری مشخصی منجر به بهبود سرعت جذب و ساخت (آسیمیلاسیون) خالص شد، به‌عنوان مثال در سطوح صفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب، مدار آبیاری ۷ روز نسبت به مدار آبیاری ۱۴ روز دارای برتری بود، درحالی‌که در سطح ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب مدار آبیاری ۱۴ روز از برتری قابل توجهی نسبت به مدار ۷ روز داشت (جدول ۵). سرعت جذب و ساخت (آسیمیلاسیون) خالص به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تأثیر متقابل اسید هیومیک و مدار آبیاری قرار گرفت، به‌طوری‌که تأثیر اسید هیومیک در مدارهای آبیاری مختلف متفاوت بود، بدین ترتیب که در مدار آبیاری ۷ روز سرعت جذب و ساخت (آسیمیلاسیون) خالص را به میزان ۱۴ درصد کاهش و در مدار آبیاری ۱۴ روز منجر به افزایش ۷۹ درصدی این صفت نسبت به شرایط بدون کاربرد اسید هیومیک شد (جدول ۶). تأثیر متقابل سه‌گانه‌ی سوپرجاذب، اسید هیومیک و مدار آبیاری تأثیر معنی‌داری بر سرعت جذب و ساخت (آسیمیلاسیون) خالص داشت، به‌طوری‌که اسید هیومیک دارای تأثیر منفی بر کارایی سطوح مختلف سوپرجاذب و مدارهای آبیاری مورد بررسی بود (جدول ۷). با توجه به نتایج آزمایش، روند تغییرات سرعت جذب و ساخت (آسیمیلاسیون) خالص در سطوح مختلف سوپرجاذب از الگوی منظمی پیروی نکرد، بدین ترتیب که در هر یک از ترکیب‌های سه‌گانه‌ی سوپرجاذب، اسید هیومیک و مدار آبیاری، سطح

¹ *Carthamus tinctorius* L.

² *Solanum melongena* L.

سطح تشابه (درصد)



شکل ۴- تجزیه‌ی خوشه‌ای سوپر جاذب، اسید هیومیک و مدار آبیاری (۱: بدون کاربرد سوپر جاذب بدون اسید هیومیک و مدار آبیاری ۷ روز، ۲: بدون کاربرد سوپر جاذب به‌علاوه‌ی اسید هیومیک و مدار آبیاری ۷ روز، ۳: کاربرد ۴۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب بدون اسید هیومیک و مدار آبیاری ۷ روز، ۴: کاربرد ۴۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب به‌علاوه‌ی اسید هیومیک و مدار آبیاری ۷ روز، ۵: کاربرد ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب بدون اسید هیومیک و مدار آبیاری ۷ روز، ۶: کاربرد ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب به‌علاوه‌ی اسید هیومیک و مدار آبیاری ۷ روز، ۷: بدون کاربرد سوپر جاذب بدون اسید هیومیک و مدار آبیاری ۱۴ روز، ۸: بدون کاربرد سوپر جاذب به‌علاوه‌ی اسید هیومیک و مدار آبیاری ۱۴ روز، ۹: کاربرد ۴۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب بدون اسید هیومیک و مدار آبیاری ۱۴ روز، ۱۰: کاربرد ۴۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب به‌علاوه‌ی اسید هیومیک و مدار آبیاری ۱۴ روز، ۱۱: کاربرد ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب به‌علاوه‌ی اسید هیومیک و مدار آبیاری ۱۴ روز و ۱۲: کاربرد ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب بدون اسید هیومیک و مدار آبیاری ۱۴ روز می‌باشند).

نتیجه‌گیری

سطوح مختلف سوپر جاذب و اسید هیومیک در هر دو مدار آبیاری مورد بررسی، منجر به افزایش همه‌ی صفات مورد بررسی شد. به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که با استفاده از سوپر جاذب و اسید هیومیک می‌توان ضمن کاهش آسیب‌ها و زیان‌های ناشی از تنش خشکی، ویژگی‌ها کمی و شاخص‌های رشد لوبیا را بهبود بخشید.

سپاسگزاری

هزینه‌ی انجام این تحقیق توسط معاونت محترم پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد در قالب طرح پژوهش به‌شماره ۲۲۶۲۳/۲ تأمین شده است که بدین‌وسیله قدردانی می‌شود.

نتایج آزمایش نشان داد که افزایش میزان مصرفی سوپر جاذب، بهبود بیشتر ویژگی‌ها کمی و شاخص‌های رشدی گیاه را به همراه داشت. محلول‌پاشی اسید هیومیک در همه‌ی سطوح سوپر جاذب مورد بررسی و در هر دو مدار آبیاری ۷ و ۱۴ روز، دارای تاثیر مثبت بر همه‌ی صفات مورد بررسی به‌جز سرعت جذب و ساخت (آسیمیلسیون) خالص بود. بررسی تاثیر متقابل سوپر جاذب و مدار آبیاری نشان داد که استفاده از سوپر جاذب، نه‌تنها تحمل گیاه به کم‌آبی را افزایش داد، بلکه در این شرایط ویژگی‌ها کمی گیاه را بهبود بخشید، به‌طوری‌که عملکرد دانه، وزن و تعداد دانه در بوته و تعداد غلاف در بوته در مدار آبیاری ۱۴ روز بیشتر از مدار آبیاری ۷ روز بود. با توجه به نتایج آزمایش، کاربرد همزمان

منابع

- Abedi-Koupai, J., Sohrab, J. and Swarbrick, G., 2008. Evaluation of hydrogel application on soil water retention characteristics. *Journal of Plant Nutrition*. 31, 317-331.
- Aishah, S., Saberi, H.A.R., Halim, R.A. and Zaharah, A.R., 2011. Yield responses of forage sorghums to salinity and irrigation frequency. *African Journal of Biotechnology*. 10, 4114-4120.
- Albayrak, S. and Camas, N., 2005. Effect of different levels and application times of humic acid on root and leaf yield and yield component of forage turpin. *Journal of Agronomy*. 42, 130-133.
- Alberston, O., Kaschuk, G. and Hungria, M., 2006. Sampling effects on the assessment of genetic diversity of *rhizobia* associated with soybean and common bean. *Soil Biology and Biochemistry*. 38, 1298-1307.
- Ayas, H. and Gulser, F., 2005. The effect of sulfur and humic acid on yield components and macronutrient contents of spinach. *Journal of Biological Sciences*. 5, 801-804.
- Brevedan, R.E. and Egli, D.B., 2003. Short periods of water stress during seed filling, leaf senescence, and yield of soybean. *Crop Science*. 43, 2083-2088.
- Canellas, L.P., Facanha, A.Q., Olivares, F.L. and Facanha, A.R., 2002. Humic acids isolated from earthworm compost enhance root elongation, lateral root emergence, and plasma membrane H⁺-ATPase activity in maize roots. *Plant Physiology*. 130, 1951-1957.
- Chu, M., Zhu, S.Q., Li, H.M., Huang, Z.B. and Li, S.Q., 2006. Synthesis of poly (acrylic acid)/sodium humate superabsorbent composite for agricultural use. *Journal of Applied Polymer Science*. 102, 5137-5143.
- Eneji, A.E., Islam, R., An, P. and Amalu, U.C., 2013. Nitrate retention and physiological adjustment of maize to soil amendment with superabsorbent polymers. *Journal of Cleaner Production*. 52, 474-480.
- FAO 2009. FAOSTAT. Available online at: <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567>.
- FAO 2012. FAOSTAT. Available online at: <http://faostat.fao.org/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#anchor>.
- FazeliRostampour, M., Yarnia, M. and RahimzadehKoe, F., 2012. Effect of polymer and irrigation regimes on dry matter yield and several physiological traits of forage sorghum. *African Journal of Biotechnology*. 11, 10834-10840.
- Ghorbani, S., Khazaei, H.R. and BanayanAval, M., 2010. Effects of humic acid application with irrigation water on yield and yield components of corn (*Zea mays* L.). *Journal of Agroecology*. 2(1), 123-131.
- Huttermann, A., Zommodi, M. and Reise, K., 1999. Addition of hydro gels to soil prolonging the survival of *pinushalepensis* seedling subjected to drought. *Soil and Tillage Research*. 50, 295-304.
- Islam, M.R., Eneji, A.E., Ren, C., Li, J. and Hu, Y., 2011. Impact of water-saving superabsorbent polymer on oat (*Avena* spp.) yield and quality in an arid sandy soil. *Scientific Research and Essays*. 6, 720-728.
- Istanbulluoglu, A., 2009. Effects of irrigation regimes on yield and water productivity of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under Mediterranean climatic conditions. *Agricultural Water Management*. 96, 1792-1798.
- Johnson, M.S., 1984. The effect of gel-forming polyacrylamides on moisture storage in sandy soils. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 35, 1196-1200.
- Karam, F., Saliba, R., Skaf, S., Breidy, J., Rouphael, Y. and Balendonck, J., 2011. Yield and water use of eggplants (*Solanum melongena* L.) under full and deficit irrigation regimes. *Agricultural Water Management*. 98, 1307-1316.
- Karimi, A., 1993. The effect of the amendment Igeta on some soil physical properties and plant growth. M.Sc. Thesis. University of Tehran, Tehran, Iran.
- Karimi, A. and Naderi, M., 2007. Yield and water use efficiency of forage corn as influenced by superabsorbent polymer application in soils with different textures. *Pajouhesh-e-Keshavarzi*. 3, 187-198. (In Persian with English abstract).
- Khadem, S.A., Ghalavio, M., Ramroodi, S.R., Mousavi, M.J. and Rezvani-Moghadam, P., 2011. Effect of animal manure and superabsorbent polymer on yield and yield components on corn (*Zea mays* L.). *Iranian Journal of Crop Science*. 1, 115-123. (In Persian with English abstract).
- KhaliliMahalleh, J., HeidariSharifabad, H., Nurmohammadi, G., Darvish, F., MajidiHaravan, I. and Valizadegan, E., 2011. Effect of superabsorbent polymer (Tarawat A200) on forage yield and qualitative characters in corn under deficit irrigation condition in khoy zone (Northwest of Iran). *Advances in Environmental Biology*. 5, 2579-2587.
- Koocheki, A. and Sarmadnia, Gh., 2006. *Crop Physiology*. Jahad-e-Daneshgahi Press, Mashhad, Iran.

- Kuhestani, Sh., Asgari, N. and Maghsudi, K., 2009. Assessment effects of super absorbent hydro gels on corn yield (*Zea mays* L.) under drought stress condition. Iranian water Research Journal. 4, 57-67. (In Persian with English abstract).
- Kumar, S., Verma, A.K., Das, M., Jain, S.K. and Dwivedi, P.D., 2013. Clinical complications of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) consumption. Nutrition. 29, 821-827.
- Laribi, B., Bettaieb, I., Kouki, K., Sahli, A., Mougou, A. and Marzouk, B., 2009. Water deficit effects on caraway (*Carum carvi* L.) growth, essential oil and fatty acid composition. Industrial Crops and Products. 31, 34-42.
- Liu, C., Cooper, R.J. and Bowman, D.C., 1998. Humic acid application affects photosynthesis, root development, and nutrient content of creeping bentgrass. American Society for Horticultural Science. 33, 1023-1025.
- Maccarthy, P., 2001. The principles of humic substances Soil Science. 166, 738-751.
- Mahluji, M., Musavi, F. and Karimi, M., 2000. Effects of water stress and planting date on yield and yield components of bean. Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources. 4, 57-67.
- Mao, S., Islam, M.R., Xue, X., Yang, X., Zhao, X. and Hu, Y., 2011. Evaluation of a water-saving superabsorbent polymer for corn (*Zea mays* L.) production in arid regions of Northern China. African Journal of Agricultural Research. 6, 4108-4115.
- Michael K., 2001. Oxidized lignites and extracts from oxidized lignites in agriculture. Available online at: <http://humates.com/Humates%20in%20Agriculture%20-%20Karr.pdf>
- Mulas, D., Garcia-Fraile, P., Carro, L., Ramirez-Bahena, M.H., Casquero, P., Velazquez, E. and Gonzalez-Andres, F., 2011. Distribution and efficiency of *Rhizobium Leguminosarum* strains nodulating *Phaseolus vulgaris* in Northern Spanish soils: Selection of native strains that replace conventional N fertilization. Soil Biology and Biochemistry. 43, 2283-2293.
- Natesan, R., Kandasamy, S., Thiyageshwari, S. and Boopathy, P.M., 2007. Influence of lignite humic acid on the micronutrient availability and yield of blackgram in an alfisol. Science World Journal. 7, 1198-1206.
- Nazarli, H., Zardashti, M.R., Darvishzadeh, R. and Najafi, S., 2010. The effect of water stress and polymer on water use efficiency, yield and several morphological traits on sunflower. Notulae Scientia Biologicae. 2(4), 53-58.
- Nykanen, V.P.S., Nykanen, A., Puska, M.A., Goulart-Silva, G. and Ruokolainen, J., 2011. Dual-responsive and super absorbing thermally cross-linked hydrogel based on methacrylate substituted polyphosphazene. Soft Matter. 7, 4414-4424.
- Puglisi, E., Fragoulis, G., Ricciuti, P., Cappa, F., Spaccini, R., Piccolo, A., Trevisan, M. and Crecchio, C., 2009. Effects of a humic acid and its size-fractions on the bacterial community of soil rhizosphere under maize (*Zea mays* L.). Chemosphere. 77, 829-837.
- Pour-Esmael, P., Habibi, D., Tavassoli, A., Zahedi, H., Tohidimoghaddam, H.R., 2008. The effect of water super absorbent polymer on agronomical and physiological traits of red bean varieties under drought stress in greenhouse conditions. Science and Research Quarterly of Plant and Ecosystem. 6(21), 75-91
- Rezazadeh, H., Khrasani, S.K. and Haghighi, R.S.A., 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.
- Rosales, M.A., Ocampo, E., Rodriguez-Valentin, R., Olvera-Carrillo, Y., Acosta-Gallegos, J. and Covarrubias, A.A., 2012. Physiological analysis of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars uncovers characteristics related to terminal drought resistance. Plant Physiology and Biochemistry. 56, 24-34.
- Roustaie, Kh., MovahhediDehnavi, M., Khadem, S.A. and Owliaie, H.R., 2012. Effect of different super absorbent polymer and animal manure ratios on the quantitative and qualitative characteristics of soybean under drought stress. Journal of Crops Improvement. 14(1), 33-42.
- Salehi, B., bagherzadechharjooee, A. and Ghasemi, M., 2010. Study usefulness consumption organic matter of humic acid on the quantitative Specifications of three tomato cultivars (*Lycopersicon esculentum*). Journal of Agroecology. 2(1), 111-118.
- Samavat, S., Malakuti, M., Samavat, S. and Malakooti, M., 2006. Important use of organic acid (humic and fulvic) for increase quantity and quality agriculture productions. Water and Soil Researchers Technical. 463, 1-13.
- Tahir, M.M., Khurshid, M., Khan, M.Z., Abbasi, M.K. and Kazmi, M.H., 2011. Lignite-derived humic acid effect on growth of wheat plants in different soils. Pedosphere. 21, 124-131.
- Taylor, G. and Cooper, L., 2004. Humic acid: The root to healthy plant growth. California State

- Science Fair. Available online at: <https://www.usc.edu/CSSF/History/2004/Projects/J16.pdf>.
- Turkmen, O., Demir, S., Sensoy, S. and Dursun, A., 2005. Effect of arbuscular mycorrhizal fungus and humic acid on the seedling development and nutrient content of pepper grown under saline soil conditions. *Journal of Biological Sciences*. 5, 565-574.
- Verlinden, G., Pycke, B., Mertens, J., Debersaques, F., Verheyen, K., Baert, G., Bries, J. and Haesaert, G., 2009. Application of humic substances results in consistent increases in crop yield and nutrient uptake. *Journal of Plant Nutrition*. 32, 1407-1426.
- Wang, W. and Wang, A., 2010. Nanocomposite of carboxymethyl cellulose and attapulgite as a novel pH-sensitive superabsorbent: Synthesis, characterization and properties. *Carbohydrate Polymers*. 82, 83-91.
- Wani, I.A., Sogi, D.S., Wani, A.A. and Gill, B.S., 2013. Physico-chemical and functional properties of flours from Indian kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. *LWT-Food Science and Technology*. 53, 278-284.
- Xie, L., Liu, M., Ni, B., Zhang, X. and Wang, Y., 2011. Slow-release nitrogen and boron fertilizer from a functional superabsorbent formulation based on wheat straw and attapulgite. *Chemical Engineering Journal*. 167, 342-348.
- Yazdani, F., Allahdadi, I. and Akbari, G.A., 2012. Impact of superabsorbent polymer on yield and growth analysis of soybean (*Glycine max* L.) under drought stress condition. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 10, 4190-4196.
- Zheng, T., Liang, Y.H., Ye, S.H. and He, Z.Y., 2009. Superabsorbent hydrogels as carriers for the controlled-release of urea: experiments and a mathematical model describing the release rate. *Biosystems Engineering*. 102, 44-50.
- Zhong, K., Zheng, X.L., Mao, X.Y., Lin, Z.T. and Jiang, G.B., 2012. Sugarcane bagasse derivative-based superabsorbent containing phosphate rock with water-fertilizer integration. *Carbohydrate Polymers*. 90, 820-826.
- Zhong, K., Lin, Z.T., Zheng, X.L., Jiang, G.B., Fang, Y.S., Mao, X.Y. and Liao, Z.W., 2013. Starch derivative-based superabsorbent with integration of water-retaining and controlled-release fertilizers. *Carbohydrate Polymers*. 92, 1367-1376.

Effect of super absorbent water application in soil and humic acid foliar application on some agroecological characteristics of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Mashhad (Iran)

Mohsen Jahan,* Rezvan Sohrabi, Farima Doayee and Mohammad Behzad Amiri

Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

*Corresponding author: jahan@um.ac.ir

Abstract

In recent years, concern over the health of food products, particularly of legumes which are a leading source of protein throughout the world, has increased significantly. To study the effect of different levels of super absorbent water application in soil and humic acid foliar application on some agroecological characteristics of bean, (*Phaseolus vulgaris* L.), a split strip plot arrangement based on RCBD with three replications was conducted in the 2010-11 growing season at the Research Field of Agriculture Faculty of Ferdowsi University of Mashhad. The main plot factor was application of super absorbent water polymer in 3 levels (0, 40 and 80 kg ha⁻¹) and the sub-plot factor was foliar application of humic acid in 2 levels (0 and 3 kg ha⁻¹). Two irrigation intervals (7 and 14 days) were assigned to the strip plots. The results showed that the interaction of super absorbent application and humic acid foliar application on seed yield was significant, as the highest and the lowest seed yield resulted from 80 kg ha⁻¹ super absorbent, with and without humic acid application (3475.9 and 1710.6 kg ha⁻¹, respectively). Dry matter accumulation was significantly affected by interaction of super absorbent application and irrigation interval, as the seven-day irrigation interval in all super absorbent levels was superior compared to the 14 days of irrigation interval, as dry matter accumulation at 0, 40 and 80 kg ha⁻¹ of super absorbent application were increased by 15, 9 and 11 percent, respectively. The interaction of humic acid and irrigation interval revealed that humic acid application at 7 and 14 days of irrigation intervals increased LAI 11 and 14 percent, respectively. The triple interaction effect of experimental factors showed that CGR increased as a result of application with no application of humic acid plus seven and 14 days of irrigation intervals when the super absorbent application was increased. In general, these results suggest that it could be possible to reduce chemical fertilizer use as a result of using of ecological inputs, meanwhile reducing environmental hazards and conserving of long term sustainability.

Keywords: Sustainability of production, Dry matter accumulation, Legumes, Crop health, Ecological input.