نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد هفدهم، شماره ۲(۶۶)، تابستان ۱۴۰۲، صفحه ۱۶۸-۱۴۷

مقاله پژوهشی DOI: 10.30495/JCEP.2023.1921202.1765

تاثیر کاربرد همزمان نیتروکسین و بیوچار بر شاخص‌های رشد و عملکرد دانه لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) تحت رژیم‌های آبیاری

سیدافشین موسوی[۱]، علیرضا شکوه‌فر[۲*]، شهرام لک[۳]، مانی مجدم[۲]و مجتبی علوی فاضل[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۳ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۲/۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱/۱۱

چکیده

با توجه به محدودیت منابع آبی کشور ضرورت یافتن راهکارهای بهینه مصرف آب در تولید محصولات زراعی در کنار کاهش کاربرد نهاده‌های شیمیایی، آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۷ به‌صورت کرت‌های خرد شده فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به‌منظور ارزیابی اثر کاربرد همزمان بیوچار و نیتروکسین بر شاخص‌های رشد و عملکرد لوبیا چشم‌بلبلی تحت رژیم‌های مختلف آبیاری، در مزرعه تحقیقاتی شهید سالمی اهواز اجرا گردید. رژیم آبیاری شامل آبیاری پس از ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A به کرت‌های اصلی و کاربرد بیوچار شامل صفر، چهار و هشت تن در هکتار و نیتروکسین شامل تلقیح و عدم تلقیح به کرت‌های فرعی اختصاص داده شد. کاربرد هشت تن در هکتار بیوچار به همراه نیتروکسین موجب بهبود ۱۲٪ محتوای آب نسبی در شرایط تنش شدید شد. سطح آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر موجب کاهش ۳۳٪ عملکرد دانه شده و کاربرد نیتروکسین در شرایط نرمال موجب افزایش ۱۹٪ عملکرد دانه شد اما در سطح آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر تأثیر معنی‌دار بر عملکرد دانه نداشت. کاربرد بیوچار در شرایط بدون تنش موجب افزایش ۳۷٪ عملکرد دانه شد که این تغییرات در سطح آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر به ۲۹٪ رسید. بیشترین عملکرد دانه (۲۶۶ گرم در مترمربع) از شرایط بدون تنش و استفاده از هشت تن در هکتار بیوچار حاصل شد. بیشترین عملکرد بیولوژیک در شرایط و کاربرد هشت تن در هکتار بیوچار و عدم استفاده از نیتروکسین (۸۰۹ گرم در مترمربع) حاصل شد. کاربرد هشت تن در هکتار بیوچار در تلفیق با نیتروکسین می‌تواند عملکرد قابل قبولی در شرایط محدودیت آبیاری لوبیا چشم بلبلی ایجاد کند.

واژگان کلیدی: تنش خشکی، سطح برگ، کود زیستی، ماده خشک.

۱- دانشجوی دکتری زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاداسلامی، اهواز، ایران.
۲- استادیار گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاداسلامی، اهواز، ایران.
۳- استاد گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاداسلامی، اهواز، ایران.
۴- دانشیار گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاداسلامی، اهواز، ایران.
نگارنده مسئول alireza_shokuhfar@yahoo.com

مقدمه

لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) گیاهی است یک‌ساله، گرمادوست و متعلق به تیره‌ی بقولات که به‌دلیل داشتن پروتئین بالا در بسیاری از نقاط جهان مورد اهمیت می‌باشد (Timko and Singh, 2008). این گیاه به‌خوبی به مناطق خشک نواحی گرمسیری سازگار بوده و خاک‌های فقیر با درصد مواد آلی و فسفر پایین رشد می‌کند و از طریق تولید گره‌هایی در ریشه توانایی تثبیت نیتروژن را دارد (Aminifar *et al.*, 2017).

کشور ایران جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان طبقه‌بندی می‌شود و دارای میانگین بارش جوی سالیانه حدود ۲۵۰ میلی‌متر است (Tabari and Talaee, 2011). این میزان بارش در مناطقی مانند اهواز که در اقلیم گرم و خشک کشور واقع شده است (Anonymus, 2021) می‌تواند باعث محدودتر شدن منابع آبی قابل مصرف برای کشاورزی شود. محدودیت آب در کنار تنش خشکی که باعث اختلال در رشد و نمو طبیعی گیاه می‌شود باعث کاهش معنی‌دار شاخص‌های فیزیولوژیک رشد و عملکرد دانه خواهد شد (Ghassemi-Golezani *et al.*, 2009; Waraich *et al.*, 2017) که این امر عامل محدودیت تولید در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌گردد. تنش خشکی همچنین باعث تغییرات مورفولوژیک، کاهش سطح برگ، تخریب آنزیم‌ها و افت شدید عملکرد می‌شود (Kusvuran and Dasgan, 2017). در بررسی اثر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های مختلف لوبیا چشم‌بلبلی گزارش شد که بالاترین تأثیر مخرب تنش بر این گیاه در مرحله گلدهی می‌باشد (Majnoon Hosseini and Hosseinian, 2013).

خاک شهرستان اهواز از نظر میزان ماده آلی جزو خاک‌های فقیر بوده و آزمایش‌های انجام شده نشان داده است که استفاده از مواد آلی باعث بهبود عملکرد محصولات زراعی این منطقه خواهد شد (Shahpary *et al.*, 2016; Aynehband *et al.*, 2012). بیوچار به‌عنوان یک ماده با منشأ آلی که می‌تواند علاوه به تأمین مواد غذایی مورد نیاز گیاه، در بهبود تخلخل و قابلیت نگهداری آب خاک نیز مؤثر باشد و معمولاً بیوچار را با هدف اصلاح خاک، کاهش مصرف گازهای گلخانه‌ای و بالا بردن میزان ماده آلی به خاک اضافه می‌کنند (Lehman and Rondon, 2006). بر اساس گزارش‌ها در خاک حاوی دو تن بیوچار، سرعت رشد نسبی و همچنین سطح برگ ذرت بطور معنی‌داری در مقایسه با خاک فاقد بیوچار افزایش می‌یابد (Minhas *et al.*, 2020). همچنین مشخص گردیده که سرعت رشد نسبی برنج در خاک حاوی بیوچار به‌طور قابل توجهی افزایش می یابد (Kartika *et al.*, 2018).

زانگ و همکاران (Zhang *et al.*, 2012) گزارش کردند که استفاده از بیوچار سبب افزایش ۱۵ درصدی عملکرد ذرت گردید. گزارش شده که استفاده از بیوچار سبب افزایش نگهداشت آب خاک و افزایش میزان آب قابل مصرف برای گیاه می‌شود (Liu *et al.*, 2016; Batista *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2016). جبرمدین و همکاران (Gebremedhin *et al.*, 2015) گزارش کردند که عملکرد گندم در تیمار حاوی بیوچار به دلیل نگهداری بهتر آب و عناصر غذایی در خاک دارای این ماده و تغذیه بهتر گیاه، افزایش یافت. کراسکا و همکاران، (Kraska *et al.*, 2016) گزارش کردند که کاربرد ۲۰ تن در هکتار بیوچار عملکرد چاودار را افزایش می‌دهد اما با بیشتر کردن میزان بیوچار

تا ۳۰ تن در هکتار، عملکرد گیاه کاهش یافت. همچنین، گزارش شده است که کاربرد بیوچار می‌تواند عملکرد دانه را در لوبیای بالدار (*Vigna radiate*) به‌طور معنی‌داری افزایش دهد (Rab *et al*., 2016). استفاده از بیوچار می‌تواند با تأثیر بر چرخه نیتروژن، باعث کاهش نیاز به مصرف کودهای شیمیایی شود. مصرف بیوچار باعث افزایش فعالیت‌های میکروبی خاک شده و علت آن نیز بهبود وضعیت اسیدیته خاک است (Palansooriya *et al*., 2019; Liu *et al*., 2018).

کودهای زیستی، یکی از راهکارهای مناسب برای تأمین نیازهای غذایی گیاه در عین حفظ حاصلخیزی و سلامت خاک می‌باشد و هدف از توسعه مصرف نهاده‌هایی با منشأ طبیعی به حداقل رساندن نیاز به مصرف نهاده‌های شیمیایی با در نظر داشتن بالاتر بردن تولید در واحد سطح است (Mahanty *et al*., 2017). استفاده از کود نیتروکسین باعث افزایش سطح برگ و عملکرد بیولوژیک سورگوم در شرایط آب و هوایی اهواز می‌شود (Charkhab and Mojaddam, 2018). کاظمی و همکاران (Kazemi and Marashi, 2018) گزارش کردند که استفاده از کود نیتروکسین در شرایط تنش خشکی باعث بهبود سرعت رشد محصول و افزایش عملکرد دانه ذرت شد. استفاده تلفیقی از نیتروکسین و ورمی‌کمپوست سبب افزایش معنی‌دار شاخص‌های فیزیولوژیک رشد کنجد از جمله سرعت رشد نسبی و سطح برگ این گیاه می‌شود (Sajadi and Yadavi, 2013). کاربرد کود نیتروکسین در زراعت گندم، سبب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد این گیاه می‌شود (Bakhshaie *et al*., 2014).

مصرف بیش از اندازه کودهای شیمیایی باعث شده است تا اسیدیته خاک از حالت تعادل خارج شده و با اسیدی شدن بیش از حد خاک، کاهش فعالیت‌های بیولوژیکی و ضعیف شدن خواص فیزیکی خاک و عدم جذب مناسب عناصر غذایی رخ دهد (Savci, 2012). گزارش شده است که گیاه در زمان مواجه شدن با کمبود عناصر معدنی، با برقراری ارتباط همزیستی میان خود و برخی از انواع باکتری‌ها، نیازهای غذایی را تأمین می‌نماید (Kokalis-Burelle *et al*., 2006). فراهم بودن نیتروژن در مراحل رشد گیاه لوبیا، باعث افزایش فتوسنتز و درنتیجه افزایش تولید برگ و ساقه می‌شود (Dardanelli *et al*., 2008). گزارش شده است که استفاده از کود زیستی نیتروکسین در تولید آفتابگردان، نه‌تنها عملکرد دانه را در واحد سطح افزایش می‌دهد، بلکه باعث بالا رفتن کیفیت عناصر غذایی موجود دردانه نیز می‌شود (Toosi and Azizi, 2014). فعالیت بیولوژیکی خاک وابسته به وجود مواد آلی در خاک است. وجود مواد آلی در خاک باعث بهبود قابلیت جذب عناصر غذایی خاک و در نتیجه رشد بهتر گیاه می‌شود (Pettit, 2004).

با توجه به مطالب بیان شده، افزایش تولید محصولات زراعی با در نظر گرفتن عوامل زیست محیطی و محدودیت‌های آن از اولیت‌های پژوهش در مناطق مختلف جهان به‌خصوص ایران می‌باشد بنابراین، این مطالعه با هدف بررسی نقش بیوچار و نیتروکسین بر شاخص‌های رشدی، جذب عناصر و عملکرد دانه در لوبیا چشم‌بلبلی در شرایط محدودیت آبی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۶ در مزرعه پژوهشی شهید سالمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز واقع در شهرستان اهواز در زمینی به مساحت ۱۰۰۰ مترمربع انجام شد. خصوصیات

خاک محل آزمایش در جدول ۱ آمده است. شهر اهواز در جنوب غربی استان خوزستان با ارتفاع ۱۲ متر از سطح دریا و در عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی جغرافیایی واقع شده است.

آزمایش به‌صورت کرت‌های اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و با ۳ تکرار انجام شد. رژیم آبیاری شامل آبیاری پس از ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A به کرت‌های اصلی و کاربرد بیوچار شامل صفر، چهار و هشت تن در هکتار و نیتروکسین شامل تلقیح و عدم تلقیح به کرت‌های فرعی اختصاص داده شد. با در نظر گرفتن اینکه در کنار استفاده از تشت تبخیر، رطوبت وزنی خاک نسبت به ظرفیت زراعی (FC) نیز اندازه‌گیری شد، در هنگام ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر، ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی وجود داشت که به عنوان تنش شدید وارد شده به لوبیا چشم بلبلی در نظر گرفته شد. به‌منظور اعمال تیمارهای کود زیستی، بذرها با استفاده از کود زیستی نیتروکسین تهیه شده از شرکت فناوری زیستی مهر آسیا که در هر میلی لیتر آن در حدود 10^8 باکتری فعال وجود داشت، قبل از کاشت بر اساس توصیه به‌میزان یک لیتر به ازای ۶۰ کیلوگرم بذر، تلقیح و بلافاصله کشت انجام پذیرفت (Lotfi *et al*., 2018). هر کرت آزمایش به طول ۵ و عرض ۳ متر و در هر کرت ۶ خط کاشت با فاصله ۵۰ سانتی‌متر ایجاد گردید. بذرها روی هر خط کاشت با فاصله ۱۵ سانتی‌متر از یکدیگر و در عمق ۴ سانتی‌متر کاشته شدند. فاصله کرت‌های آزمایش از هم ۱ متر در نظر گرفته شد. این آزمایش شامل ۵۴ کرت بود. عملیات تهیه زمین با انجام خاک‌ورزی شامل شخم با گاو آهن برگردان‌دار و سپس دیسک صورت پذیرفت. مقادیر مشخص بیوچار نیشکر پس از اتمام عملیات خاک‌ورزی به هر کرت افزوده، پس از مخلوط‌سازی کامل با خاک، اقدام به ترمیم جوی و پشته‌ها گردید. میزان کودهای NPK براساس نیاز گیاه و آزمون خاک به‌ترتیب در مقادیر ۵۰، ۳۵ و ۲۵ کیلوگرم در هکتار استفاده شد. کاشت در تاریخ ۲۰ تیر ماه به‌صورت کشت یک‌طرفه در کنار پشته‌ها اجرا گردید.

بذر لوبیا رقم محلی خوزستان، از بازار محلی خدمات کشاورزی اهواز تهیه گردید. تیمارهای آبیاری براساس میزان تبخیر از مرحله ۴ برگی از سطح تشت تبخیر و به شیوه نشتی (جوی و پشته) اجرا گردید. در تمام مراحل نموی لوبیا چشم بلبلی کنترل علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام شد.

برای اندازه‌گیری شاخص سطح برگ، شش بار نمونه‌برداری در فواصل زمانی هر ۱۴ روز انجام گرفت. اولین نمونه‌برداری ۳۰ روز پس از کاشت انجام شد. برای تعیین روند تجمع ماده خشک، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در درجه حرارت ۷۵ درجه سلسیوس در آون قرار داده شدند. در هر بار نمونه‌برداری سطح برگ پنج گیاه با استفاده از روش کپی‌برداری بر روی کاغذ A4 اندازه‌گیری (Kapur and Govil, 2004) و سپس از نسبت سطح برگ تک بوته به سطح زمینی که اشغال شده شاخص سطح برگ تعیین شد (Hunt, 1978). پس از اندازه‌گیری وزن خشک نمونه‌ها، سرعت رشد محصول برحسب گرم بر مترمربع در روز از اختلاف وزن خشک نمونه در فاصله زمانی دو نمونه‌برداری با استفاده از رابطه ۱ و سرعت رشد نسبی با استفاده از رابطه ۲ محاسبه گردید (Hunt, 1978).

رابطه ۱ $$CGR = \frac{W_2 - W_1}{T_2 - T_1}$$

رابطه ۲ $$RGR = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{T_2 - T_1}$$

در این روابط W_2-W_1 وزن خشک نمونه‌ها در دو نمونه‌برداری متوالی و T_2-T_1 فاصله زمانی این دو نمونه‌برداری می‌باشد.

برداشت نهایی در آبان ماه به‌منظور تعیین میزان عملکرد دانه و بیوماس لوبیا چشم بلبلی تحت تیمارهای آزمایشی، پس از حذف اثر حاشیه‌ای انجام و تعداد ۱۰ بوته به‌طور تصادفی برداشت و با اندازه‌گیری وزن دانه تولید شده از هر کرت میزان عملکرد دانه محاسبه شد. همچنین بیوماس تولید شد در هر کرت نیز بر اساس وزن نمونه‌های بدست آمده گیاهی تعیین شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۲ صورت گرفت و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد. برای برازش روند تغییرات مدل‌ها نیز از مدل سیگموئیدی (ماده خشک و سرعت رشد نسبی) و سه پارامتر (رابطه ۳) و گوسین (شاخص سطح برگ و سرعت رشد) سه پارامتر (رابطه ۴) و نرم افزار سیگماپلات نسخه ۱۴ استفاده شد (برای انتخاب مدل‌ها چند مدل اجرا و مناسب‌ترین مدل انتخاب شد).

رابطه ۳ $$y = Y_{max} / (1+\exp(-(T-T_{50\%})/b))$$

رابطه ۴ $$y = Y_{max} \times \exp(-.5 \times ((T-T_{max})/b)^2)$$

در این روابط Y_{max} بالاترین مقدار هر شاخص، T زمان بعد از کاشت، T_{max} زمان دسترسی به بالاترین مقدار شاخص، $T_{50\%}$ زمان به دست آوردن ۵۰ درصد مقدار شاخص و b نیز شیب تغییرات است (Tadesse *et al.*, 2001).

نتایج و بحث

محتوای آب نسبی بافت: نتایج مربوط به محتوای آب نسبی برگ که یک شاخص از تحمل به تنش در گیاهان به‌شمار می‌آید در لوبیا تحت تأثیر سطوح آبیاری، بیوچار و برهمکنش آنها قرار گرفت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش فواصل بین سطوح آبیاری محتوای آب نسبی کاهش پیدا می‌کند. در آبیاری بعد از ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک، محتوای آب نسبی ۱۶٪ و در آبیاری بعد از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر محتوای آب نسبی ۲۲٪ افت نشان داد. کاربرد بیوچار موجب بهبود وضعیت آبی گیاه هم در شرایط بدون تنش و هم در شرایط تنش شد. کاربرد ۸ تن در هکتار از این ماده موجب بهبود ۵٪ محتوای آب نسبی در شرایط بدون تنش و ۱۲٪ در شرایط تنش شدید (آبیاری بعد از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک) شد (جدول ۳). محتوای نسبی آب برگ یکی از شاخص‌های فیزیولوژیکی مهم است که همبستگی خوبی با تحمل به تنش خشکی نشان می‌دهد و با افزایش شدت تنش خشکی محتوای نسبی آب گیاه کاهش می‌یابد (Colom and Vazzana, 2003). تنش خشکی اثرات منفی در گیاهان دارد، از جمله می‌توان به کاهش محتوای آب برگ، جذب مواد مغذی، فتوسنتز، رشد و عملکرد گیاهان اشاره کرد. بنابراین مقابله با تنش خشکی یک وظیفه چالش برانگیز برای دست‌یابی به امنیت غذایی در سراسر جهان است.

روند تغییرات شاخص سطح برگ: نتایج تجزیه واریانس بالاترین شاخص سطح برگ (LAI_{max}) نشان داد که این شاخص تحت تاثیر اثرات اصلی، آبیاری، بیوچار و نیتروکسین و اثر متقابل آبیاری در بیوچار قرار گرفت (جدول ۲).

روند تغییرات شاخص سطح برگ لوبیا در اثر آبیاری و بیوچار در شکل ۱ آمده است. مشخص شد که گیاهان رشد یافته در شرایط بدون تنش و تیمار نشده دارای LAI_{max} معادل ۳/۷۲ بودند که این مقدار در ۸۱ روز بعد از کاشت اتفاق می‌افتد و گیاه در این زمان به بالاترین شاخص سطح برگ خود می‌رسد و بعد از آن روند شاخص سطح برگ کاهشی می‌باشد (جدول ۳). همچنین مشخص شد که تنش موجب کاهش LAI_{max} و استفاده از بیوچار علاوه بر کاهش تأثیرات منفی تنش موجب افزایش LAI_{max} در شرایط بدون تنش نیز شد. کاربرد هشت تن در هکتار بویچار در شرایط بدون تنش موجب افزایش ۲۲ درصدی LAI_{max} (از ۳/۷۲ به ۴/۵۴) ولی بر مدت زمان رسیدن LAI_{max} تأثیر قابل‌توجه نداشت. همچنین مشخص شد تنش ملایم (آبیاری بعد از ۹۰ میلی‌متر تبخیر) و شدید (آبیاری بعد از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر) موجب کاهش ۸ و ۳۴ درصدی LAI_{max} در لوبیا چشم‌بلبلی شده و مصرف ۸ تن در هکتار بیوچار در این شرایط نیز منجر به بهبود ۱۷ و ۳۲ درصدی LAI_{max} در مقایسه با عدم استفاده از آن گردید (جدول ۲). روند تغیرات این شاخص در اثر کاربرد نیتروکسین نیز به‌صورت افزایشی بوده (شکل ۲) به‌طوری که LAI_{max} در اثر کاربرد نیتروکسین ۱۹٪ افزایش نشان داد ولی زمان رسیدن به این مقدار دارای تغییر معنی‌دار نبود (جدول ۴). تنش خشکی عمدتاً رشد برگ و به نوبه خود، سطح برگ را در بسیاری از گونه‌های گیاهی کاهش می‌دهد (Farooq *et al.*, 2009). کامان و همکاران(Kammann *et al.*, 2011) نشان دادند که با کاربرد بیوچار تولید شده از بقایای پوست بادام‌زمینی ظرفیت نگهداری رطوبت خاک، سطح برگ و زیست توده برگ در گیاه کینوا در شرایط تنش آبی به طور معنی‌داری افزایش یافت. ساپ‌ادیت و همکاران (Suppadit *et al.*, 2012) اثر سطوح مختلف بیوچار را بر عملکرد سویا بررسی و گزارش کردند با افزایش بیوچار سطح برگ افزایش یافت. افزایش سطح برگ در گیاهان تیمار شده با نیتروکسین تحت تنش خشکی را می‌توان به کاهش پیری برگ به‌واسطه افزایش تولید کلروفیل یا کاهش تخریب آن و در واقع بهبود وضعیت آب گیاه در اثر افزایش تثبیت و جذب نیتروژن توسط کود بیولوژیک نیتروکسین مرتبط دانست (Boomsma and Vyn, 2008).

روند تغییرات سرعت رشد محصول: نتایج تجزیه واریانس بالاترین سرعت رشد محصول (CGR_{max}) نشان داد که این شاخص همانند شاخص سطح برگ تحت تاثیر اثرات اصلی آبیاری، بیوچار و نیتروکسین و برهم‌کنش آبیاری در بیوچار قرار گرفت (جدول ۲). روند تغییرات سرعت رشد محصول در زمان‌های مختلف بعد از کاشت در اثر آبیاری و بیوچار نیز در شکل ۱ نشان داده شد. بالاترین CGR_{max} در شرایط بدون تنش و بدون اعمال هیچ تیماری در حدود ۱۲/۹ گرم بر مترمربع در روز بود که در ۶۳/۵ روز بعد از کاشت حاصل شد. تنش خشکی ایجاد شده در اثر افزایش فاصله آبیاری نیز موجب کاهش رشد محصول به‌خصوص CGR_{max} شد به‌طوری‌که CGR_{max} در سطح آبیاری بعد از ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر، ۶٪ نسبت به شاهد و در سطح ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر ۴۰٪ نسبت به شاهد کاهش نشان داد. افزایش فاصله آبیاری موجب افزایش مدت زمان رسیدن به CGR_{max} شد (T_{max}) به‌طوری‌که در سطح ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر این مقدار ۲ روز بیشتر از شاهد بود. مصرف بیوچار نیز موجب بهبود CGR_{max} شد، به‌طوری که کاربرد ۸ تن در

هکتار بیوچار موجب افزایش ۴۵ درصدی CGR_{max} در شرایط بدون تنش و افزایش ۴۳٪ و ۵۶٪ در شرایط تنش ملایم و تنش شدید شد. بالاترین سرعت رشد از آبیاری بعد از ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک و کاربرد ۸ تن در هکتار بیوچار با میانگین ۱۸/۶۸ گرم بر مترمربع در روز بعد از ۶۶ روز کاشت حاصل شد (جدول ۳). کاربرد نیتروکسین موجب بهبود سرعت رشد محصول شده و افزایش ۱۴٪ این شاخص را به همراه داشته ولی بر مدت زمان حصول آن تاثیر معنی‌دار نداشت (شکل ۲ و جدول ۴). به‌تدریج با افزایش میزان رشد گیاهان رقابت برای جذب منابع افزایش می‌یابد و کمبود آب و نور موجب کاهش رشد و گسترش برگ‌ها خواهد گردید که باعث محدود شدن فتوسنتز و ماده‌سازی و نتیجتاً کاهش سرعت رشد محصول می‌شود. از طرفی به دلیل پیرشدن برگ‌ها و کاهش تولید در آنها از مرحله گلدهی به بعد کاهش میزان سرعت رشد اتفاق افتاد. لیک و سادراس (Lake and Sadras, 2016) بیان نمودند که کاهش CGR در انتهای مراحل رشد گیاه در نخود به‌دلیل پیر شدن و افزایش زاویه برگ‌ها که اصلی‌ترین منبع فتوسنتزی گیاه هستند می‌باشد. سرعت رشد محصول به‌طور مؤثر تحت تنش خشکی قرار می‌گیرد. از آنجا که سطح برگ عامل مهمی در جذب کربن می‌باشد در شرایط تنش خشکی، به دلیل تغییر در سطح برگ، سرعت رشد محصول نیز دچار تغییر می‌شود (Lak *et al.*, 2007). افزون بر این در اثر تنش خشکی، هدایت روزنه‌ای و رشد سلولی کاهش می‌یابد و سلول‌های کوچک‌تر و کمتری تولید می‌شوند. تمامی این موارد در کاهش سرعت رشد محصول در اثر تنش خشکی دخیل می‌باشد (Kafi and Keshmiri, 2016). جمالی (Jamali, 2013) عنوان نمود تنش خشکی از طریق افزایش تنفس و کاهش فتوسنتز سبب کاهش رشد محصول می‌گردد. نتایج بررسی‌های سایر محققین نیز موید این مطلب هستند (Hamidvand *et al.*, 2013). افزایش سرعت رشد محصول به هنگام کشت مخلوط خرفه و بالنگوی شهری در ۵۰ درصد کودهای اوره و نیتروکسین توسط قمری و همکاران نیز (Ghamari *et al.*, 2016) گزارش شده است.

روند تغییرات سرعت رشد نسبی: بالاترین سرعت رشد نسبی (RGR_{max}) که در مراحل اولیه رشد حاصل می‌شود نیز علاوه بر اثرات اصلی تحت تاثیر برهم کنش آبیاری در بیوچار قرار گرفت (جدول ۲). روند تغییرات این شاخص در لوبیا چشم‌بلبلی نشان داد ایجاد محدودیت آبی و کاربرد تیمار بیوچار موجب افزایش شدت تغییرات در این شاخص شد (شکل ۱). در شرایط بدون تنش و عدم استفاده از هیچ نوع تیماری بالاترین سرعت رشد نسبی در لوبیا در حدود ۰/۱۰۰ گرم بر گرم در روز می‌باشد که با گذشت زمان از مقدار آن کاسته شده و در ۶۵/۷ روز بعد از کاشت به ۵۰٪ مقدار اولیه خود (۰/۰۵ گرم بر گرم در روز) می‌رسد. اعمال سطوح رطوبتی مختلف موجب کاهش RGR_{max} در لوبیا چشم‌بلبلی شده به‌طوری‌که در آبیاری بعد از ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر RGR_{max} در حدود ۱۸٪ و در آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر در حدود ۲۲٪ کاهش نشان داد (جدول ۳). مدت زمان افت بالاترین سرعت رشد نسبی نیز تحت تأثیر دور آبیاری قرار گرفته به‌طوری‌که در سطح آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر $T_{50\%}$ در مقایسه با سطح آبیاری ۶۰ میلی‌متر در حدود ۵ روز افزایش پیدا کرد که این نشان‌دهنده کاهش

شیب تغییرات در اثر گذر زمان در این شرایط می‌باشد. کاربرد بیوچار موجب بهبود RGR_{max} در لوبیا شد. کاربرد ۸ تن در هکتار بیوچار در شرایط بدون تنش و تنش شدید موجب بهبود ۶۳ و ۴۳ درصدی RGR_{max} و کاهش ۱۲ و ۸ روزه T50% شد (جدول ۳). روند تغییرات این شاخص در اثر کاربرد نیتورکسین مشخص کرد که این تیمار موجب بهبود ۱۴درصدی RGR_{max} و افزایش ۷ روزه در مدت زمان افت ۵۰٪ این شاخص در اثر گذر زمان شد (شکل ۲ و جدول ۴). سرعت رشد نسبی پس از جوانه‌زنی به‌کندی آغاز و سپس به‌سرعت شروع به افزایش می‌کند که در واقع نمایانگر رشد سریع‌تر گیاه در اوایل فصل رشد می‌باشد. با افزایش زمان، سرعت رشد نسبی کاهش خواهد یافت (Mohammad and Mukhtar, 2018). دلیل این کاهش سایه‌اندازی برگ‌های مسن بر روی برگ‌های جوان، افزایش سن اندام‌های فتوسنتزی خصوصاً برگ‌ها و افزایش میزان بافت‌های ساختمانی که در فرایند فتوسنتز نقشی ندارند نسبت به بافت‌های فعال در رشد و فتوسنتز مانند مریستم‌ها مربوط می‌باشد. شیب کاهش RGR در نخود بقدری است که گاهی در انتهای فصل رشد، می‌تواند RGR منفی نیز داشته باشد (Amiri Deh Ahmadi *et al.*, 2010). ساکی‌نژاد (Sakinezhad, 2004) گزارش داد که افزایش شدت تنش خشکی احتمالاً از طریق سرعت بخشیدن به تشکیل بافت‌های بالغ و یا کاهش سرعت تشکیل بافت‌های مریستمی، روند کاهشی سرعت رشد نسبی را افزایش می‌دهد. استفاده از کودهای آلی باعث بهبود رشد گیاه از طریق فراهم کردن عناصر غذایی و بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک می‌شود (Dejene and Lemlem, 2012; Mahajan *et al.*, 2008).

روند تغییرات وزن خشک کل بوته: بالاترین ماده خشک بوته لوبیا چشم بلبلی (DMT_{max}) تحت تاثیر اثر متقابل آبیاری در بیوچار قرار گرفت (جدول ۲). نتایج مربوط به روند تغییرات ماده خشک بوته در زمان‌های مختلف بعد از کاشت در شکل ۱ نشان داده شد. بالاترین ماده خشک تجمع یافته در این گیاه در حدود ۴۸۵ گرم بر مترمربع بوته که در ۵۶/۴ روز بعد از کاشت به ۵۰٪ مقدار خود و در ۱۱۲۱/۸ روز به مقدار نهایی خود دست پیدا می‌کنند (جدول ۳). مشاهده شد که تنش خشکی موجب کاهش بالاترین ماده خشک تجمع یافته و افزایش مدت زمان رسیدن به بالاترین میزان ماده خشک ($2T_{50\%}$) شد. به‌طوری‌که در سطح آبیاری ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک بالاترین ماده خشک تجمع یافته نسبت به شاهد ۷٪ و در سطح آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک ۳۳٪ کاهش یافت. متوسط زمان رسیدن به بالاترین ماده خشک ($2T_{50\%}$) نیز در این سطوح آبیاری ۴ روز افزایش یافت. کاربرد بیوچار دارای اثر مثبت بر تجمع ماده خشک در لوبیا چشم‌بلبلی هم در شرایط بدون تنش (آبیاری بعد از ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک) و در شرایط تنش (آبیاری بعد از ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک) شد. به‌طوری‌که در اثر مصرف ۸ تن در هکتار بیوچار بالاترین ماده خشک تجمع یافته در شرایط بدون تنش به ۷۷۹ گرم بر مترمربع رسید که در مقایسه با شاهد ۶۰٪ افزایش داشت. مدت زمان رسیدن به بالاترین تولید نیز در اثر این تیمارها ۵/۴ روز بیشتر شد. کاربرد بیوچار در سطح آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک در مقایسه با عدم کاربرد آن موجب افزایش ۳۷

درصدی DMT_{max} در مقایسه با عدم کاربرد بیوچار شد (جدول ۲). نتایج مربوط به کاربرد نیتروکسین نشان داد که این تیمار موجب بهبود ۱۷ درصدی DMT_{max} و ۴ روز در مدت زمان رسیدن به این شاخص شد (جدول ۴).

تجمع ماده خشک در ابتدای فصل کند است که دلیل آن عدم استفاده از منابع محیطی خصوصاً نور می‌باشد، چرا که گیاهان از سطح برگ اندکی در این زمان برخوردارند و توانایی فتوسنتز آنها اندک است. افزایش سریع ماده خشک همراه با افزایش سطح برگ آغاز می‌شود و حداکثر آن در زمانی است که سطح برگ به نقطه مطلوب گیاه برسد. تنش خشکی، با محدود کردن میزان دسترسی آب و در نتیجه اختلال در جذب عناصر غذایی و همین‌طور فیزیولوژی گیاه، باعث شد که میزان و همین‌طور روند تجمع ماده خشک کاهش یابد. سزبلاگی (Szilagyi, 2003) عنوان کرد که مهم‌ترین عامل محدود کننده تولید لوبیا در سراسر جهان، تنش خشکی می‌باشد. تنش خشکی با محدودیت‌هایی که در جذب آب و عناصر غذایی برای گیاه ایجاد می‌کند باعث کاهش تولید ماده خشک می‌شود (Ashraf and Foolad, 2007). در این مطالعه مشاهده شد که تنش خشکی به‌دلیل کاهش سطح فعال برگ و کاهش سرعت فتوسنتز، راندمان انتقال مواد به دانه و تجمع ماده خشک را کاهش داد که این موضوع با یافته‌های سایر محققین مطابقت دارد (Hajmohamadnia Ghalibaf *et al.*, 2016). استفاده از بیوچار به‌خصوص تیمار ۸ تن در هکتار، توانست به‌طور موفقیت آمیزی از اثرات نامطلوب تنش خشکی بر روند تجمع ماده خشک لوبیا چشم‌بلبلی بکاهد. میزان افزایش ماده خشک گیاهی در تیمارهای حاوی نیتروکسین بیشتر از تیمار شاهد بود که دلیل اصلی آن فراهمی مواد غذایی و کاهش رقابت برای به‌دست آوردن منابع مورد نیاز برای رشد گیاه توسط این کود می‌باشد. بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که بیوچار یک ماده اصلاح‌کننده مفید برای بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، مؤثر در حفظ ماده آلی خاک، افزایش بهره‌وری کود استفاده شده و افزایش تولید محصول به‌ویژه برای خاک‌های مناطق نیمه گرمسیری و گرمسیری که طولانی مدت کشت شده‌اند، می‌باشد (van Zwieten *et al.*, 2010). اینال و همکاران (Inal *et al.*, 2015) گزارش کردند افزودن بیوچار به کود مرغی سبب بهبود ویژگی‌های شیمیایی خاک‌های آهکی و افزایش رشد لوبیا و ذرت شد. در پژوهشی اثر بیوچار تولید شده از پوسته درخت کاج بر رشد و محصول گیاه کاهو بررسی و گزارش شد که وزن خشک گیاه با کاربرد ۲ درصد وزنی بیوچار افزایش یافت (Artiola *et al.*, 2012). قمری و همکاران (Ghamari *et al.*, 2016) کاربرد تلفیقی ۵۰ درصد کود اوره و نیتروکسین را در بهبود ماده خشک خرفه و بالنگوی شهری موثر دانستند. نامور و همکاران (Namvar *et al.*, 2011) و مکی‌زاده و همکاران (Makkizadeh *et al.*, 2012) نیز نتایج مشابهی گزارش کردند.

عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک: نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک لوبیا چشم‌بلبلی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح مختلف رژیم‌های آبیاری، بیوچار و کود زیستی نیتروکسین قرار گرفت. همچنین اثر متقابل آبیاری × بیوچار، آبیاری × نیتروکسین در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه و آبیاری × بیوچار و آبیاری × بیوچار× نیتروکسین بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار

بود (جدول ۲). مقایسه میانگین آبیاری در نیتروکسین در مورد عملکرد دانه نشان داد با افزایش فاصله بین آبیاری (افزایش شدت تبخیر از تشتک) از عملکرد دانه کاسته شده و این تیمار علاوه بر کاهش عملکرد موجب کاهش تأثیرات مثبت نیتروکسین در عملکرد نیز شد. به‌عنوان مثال، در سطح آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک عملکرد دانه در مقایسه با ۶۰ میلی‌متر تبخیر در حدود ۳۳٪ افت داشت. همچنین، کاربرد نیتروکسین در شرایط نرمال موجب افزایش ۱۹٪ عملکرد دانه شده ولی در سطح آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر تأثیر معنی‌دار بر عملکرد دانه نداشت (شکل ۳). نتایج مقایسه میانگین مربوط به اثر متقابل آبیاری در بیوچار نشان داد که کاربرد بیوچار در شرایط بدون تنش موجب افزایش ۳۷ درصدی عملکرد دانه شد که این تغییرات در سطح آبیاری ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک به ۲۹٪ رسید. به‌طورکلی، بیشترین عملکرد دانه با میانگین ۲۶۶ گرم بر مترمربع از آبیاری ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک و استفاده از ۸ تن در هکتار بیوچار حاصل شد (شکل ۴).

برهم‌کنش آبیاری × بیوچار × نتیروکسین در مورد عملکرد بیولوژیک نشان داد کاربرد هم‌زمان بیوچار و نیتروکسین موجب بهبود عملکرد بیولوژیک از یک سو و کاهش تأثیرات منفی تنش بر لوبیا از سوی دیگر می‌شود (جدول ۳). در شرایط بدون تنش، کاربرد ۸ تن در هکتار بیوچار و نیتروکسین موجب بهبود ۶۸ درصدی عملکرد بیولوژیک شد که این افزایش رشد در شرایط تنش (آبیاری در ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک) به ۴۴٪ رسید. همچنین مشخص شد که در شرایط عدم استفاده از این تیمارها تنش موجب کاهش ۳۲٪ در عملکرد بیولوژیک شده ولی با کاربرد این تیمارها تأثیر تنش به ۵٪ رسید (جدول ۴). به‌طورکلی، بالاترین عملکرد بیولوژیک از آبیاری ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک و کاربرد ۸ تن در هکتار بیوچار و عدم استفاده از نیتروکسین (۸۰۹ گرم بر مترمربع) و استفاده از نیتروکسین (۷۸۳ گرم بر مترمربع) حاصل شد (شکل ۵).

کاهش عملکرد لوبیا چشم‌بلبلی به‌دلیل اثرات منفی تنش خشکی بر سطح برگ‌ها می‌باشد که منجر به کاهش توان فتوسنتزی گیاه و در در نتیجه کاهش تولید آسیمیلات‌ها می‌شود (Singh and Matsui, 2002). تنش خشکی با تاثیر بر کاهش رشد رویشی و زایشی در گیاه، افت عملکرد را در پی دارد (Shabanzadeh *et al.*, 2011). کاربرد بیوچار باعث افزایش عملکرد لوبیای بالدار می‌شود اما اگر میزان مصرف آن به بیش از ۵۰ تن در هکتار برسد، آنگاه باعث کاهش عملکرد خواهد شد (Rab *et al.*, 2016). بیوچار سبب می‌شود تا هدایت الکتریکی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک افزایش پیدا کند که باعث بهبود حاصلخیزی خاک و افزایش عملکرد می‌شود (Bavariani *et al.*, 2016). کاربرد بیوچار باعث افزایش پتاسیم قابل مصرف برای گیاه می‌شود (Boostani and Najafighiri, 2018). پتاسیم از مهم‌ترین عناصر غذایی برای گیاه است و برای مواجه شدن با تنش‌های محیطی و تولید عملکرد بیشتر به گیاه کمک می‌نماید. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که علیرغم تأثیر بیوچار بر عملکرد دانه، اما کاربرد تلفیقی آن با نیتروکسین نتایج به‌مراتب بهتری را ارایه می‌کند. افزایش عملکرد در تیمارهای دارای بیوچار و نیتروکسین می‌تواند به علت تأثیر مثبت بیوچار در جلوگیری از آب‌شویی نیترات و دسترسی بهتر گیاه به عناصر غذایی باشد. همچنین، بیوچار با بهبود اسیدیته خاک، شرایط

مناسبی را برای جذب عناصر غذایی فراهم می‌کند (Ding *et al.*, 2016). چان و همکاران (Chan *et al.*, 2008) افزایش عملکرد ذرت در تیمارهای بیوچار را به افزایش فراهمی عناصر غذایی و بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند فیزیکی خاک و چگالی ظاهری نسبت داد. یوسف‌پور و یدوی (Yousefpoor and Yadavi, 2014) گزارش کردند کاربرد نیتروکسین باعث افزایش عملکرد و محتوای روغن آفتابگردان شد. ویولنت و پورتوگال (Violent and Portugal, 2007) بیان کردند که آزوسپریلیوم و ازتوباکتر که از میکروارگانیسم‌های تثبیت کننده نیتروژن مولکولی محسوب می‌شوند، در کود زیستی نیتروکسین وجود داشته و در همیاری با ریشه گیاهان، رشد آنها را تقویت می‌کنند، ضمن اینکه با افزایش جذب عناصر غذایی در گیاه، رشد و نمو و فعالیت‌های بیوشیمیایی گیاه را افزایش می‌دهند و این امر موجب افزایش عملکرد بیولوژیک می‌شود. در پژوهش دیگر نیز مشخص گردید در شرایط تنش ملایم، گیاهان برخوردار از کود زیستی نیتروکسین بهترین عملکرد دانه را داشتند (Pirasteh Anousheh *et al.*, 2010). مطالعات مختلفی بیانگر تاثیر مضاعف بیوچار در ترکیب با کودهای آلی و معدنی بوده است که این امر با توانایی در جذب و نگهداری عناصر غذایی و در نتیجه دسترسی بهتر گیاه به عناصر غذایی مرتبط می‌باشد (Chaudhry *et al.*, 2016). به نظر می‌رسد در این مطالعه کاربرد بیوچار و نیتروکسین با جذب بیشتر آب و مواد غذایی، از میزان خسارت تنش خشکی در گیاه لوبیا چشم‌بلبلی کاسته است.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که ایجاد محدودیت در آبیاری موجب کاهش محتوای آب نسبی، میزان سطح برگ، سرعت رشد و تجمع ماده خشک در گیاه و در نهایت کاهش میزان بیوماس تولیدی و عملکرد دانه می‌شود. کاربرد همزمان بیوچار و نیتروکسین نیز با اثر هم‌افزایی بر یکدیگر موجب کاهش تاثیرات منفی تنش بر لوبیا چشم بلبلی شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، در شرایط محدودیت آب آبیاری می‌توان با استفاده از ۸ تن در هکتار بیوچار و تلقیح بذرهای لوبیا چشم بلبلی با نیتروکسین در شرایط تنش متوسط یا تبخیر ۹۰ میلی‌متر از تشتک کلاس A، ضمن حفظ رشد مناسب گیاه، عملکرد قابل قبولی از مزرعه برداشت نمود.

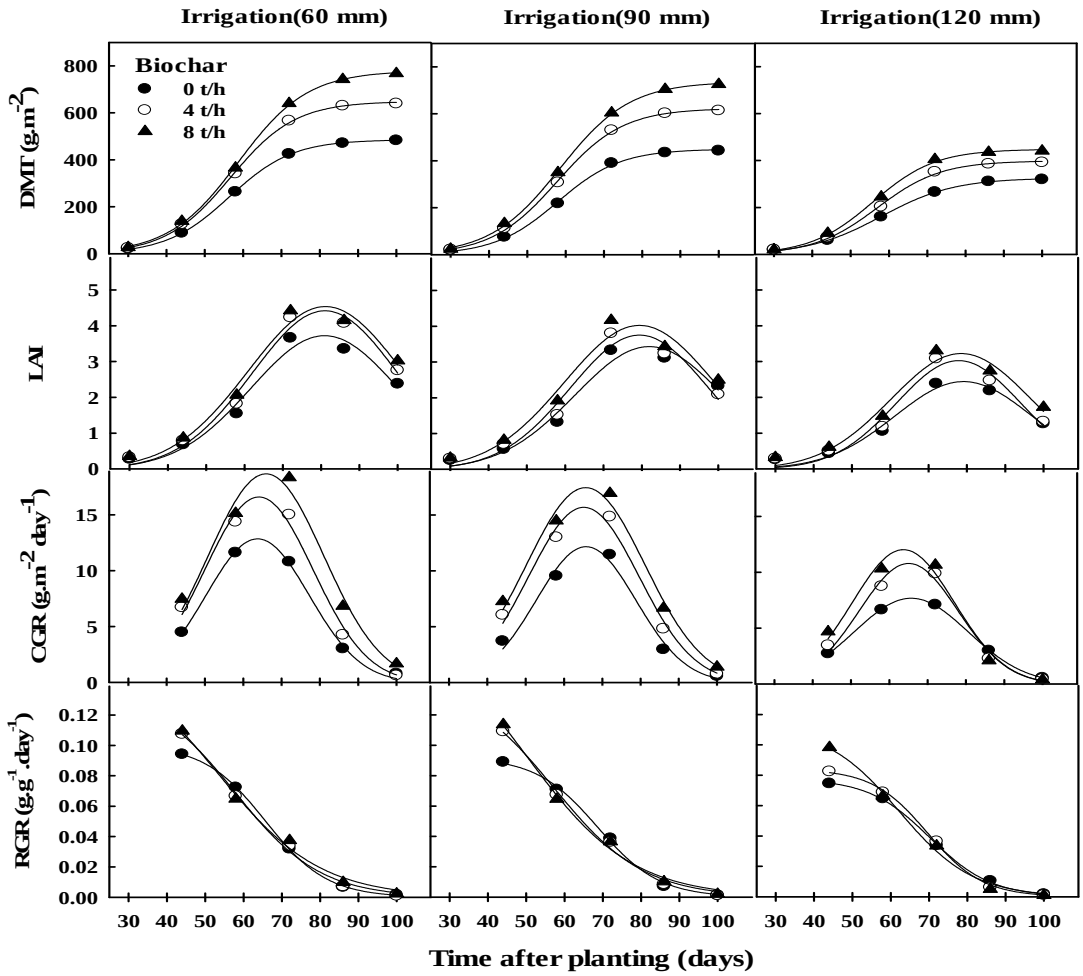
جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل انجام آزمایش و بیوچار مورد استفاده

Table 1- Physical and chemical properties of the soil and sugarcane biochar at the test site

عمق خاک Depth soil (cm)	عناصر Elements (ppm)			نوع خاک Type soil	pH	EC($ds.m^{-1}$)
	K	P	N			
0-30	145	4	0.060	Silty Clay	7.9	2.5

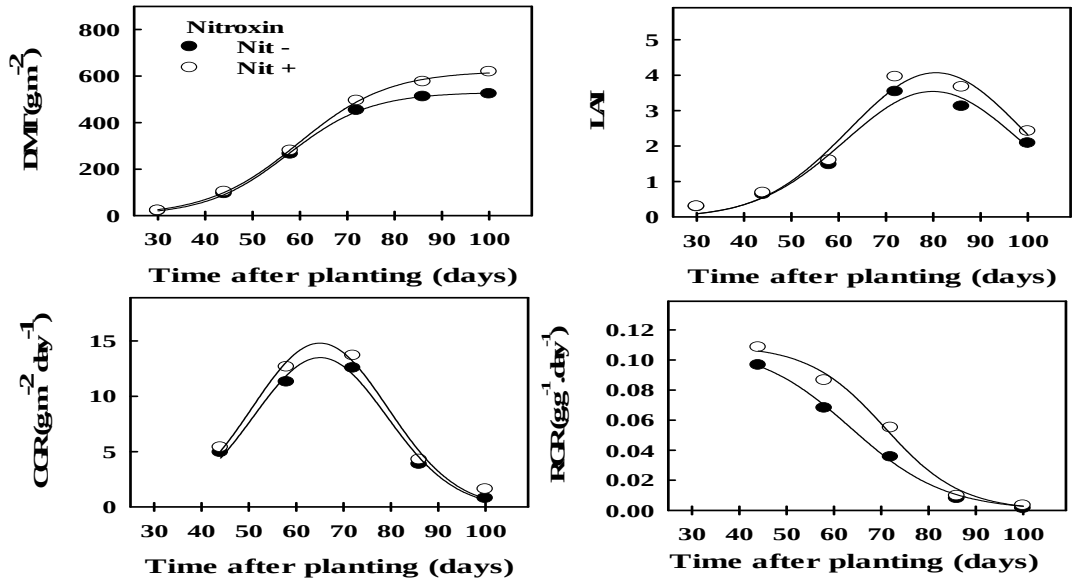
خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بیوچار نیشکر مورد استفاده

pH	هدایت الکتریکی ($ds.m^{-1}$)	کربن (٪)	نیتروژن (٪)	فسفر ($mg.mg^{-1}$)	O/C	C/N	چگالی ظاهری (g/cm^3)	خاکستر (٪)	CEC (cmol/kh)	سطح ویژه ($m^3.kg^{-1}$)
7.5	0.84	69.65	0.27	459	0.28	249.31	0.13	5.6	36.3	164



شکل ۱- روند ماده خشک، شاخص سطح برگ، سرعت رشد و رشد نسبی در اثر برهمکنش آبیاری در بیوچار در زمان‌های بعد از کاشت

Figure 1- Change of dry matter, LAI, CGR and RGR influenced by irrigation, and biochar at times after planting



شکل ۲- روند ماده خشک، شاخص سطح برگ، سرعت رشد و سعت رشد نسبی در اثر نیتروکسین در زمان‌های بعد از کاشت

Figure 2 –Change of dry matter, LAI, CGR and RGR influenced by nitroxin at times after planting

جدول ۲- تجزیه واریانس و میانگین مربعات صفات مورد بررسی تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری، بیوچار و نیتروکسین

Table 2- Analysis of variance and mean squares of the studied traits under the influence of irrigation, biochar and nitroxin regimes

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	Means Square میانگین مربعات						
		محتوای آب نسبی RWC	بلاترین شاخص سطح برگ LAI_{max}	بالاترین سرعت رشد CGR_{max}	بالاترین سرعت رشد نسبی RGR_{max}	بالاترین ماده خشک DMT_{max}	عملکرد زیست‌توده Biological yield	عملکرد دانه Grain yield
بلوک Block (R)	2	5.20^{ns}	0.051^{ns}	1.31^{ns}	6.5×10^{-6ns}	897.4^{*}	748.96^{ns}	167.23^{ns}
آبیاری Irrigation(I)	2	976.08^{**}	6.646^{**}	146.91^{**}	0.000149^{**}	316676.2^{**}	361702.8^{**}	38650.9^{**}
خطا اصلی I*R	4	40.03	0.055	1.01	4.5×10^{-6}	1604.0	952.50	160.12
بیوچار Biochar(B)	2	287.43^{**}	3.330^{**}	87.92^{**}	0.000115^{**}	239323.5^{**}	230804.4^{**}	16108.5^{**}
نیتروکسین Nitroxin(N)	1	53.18^{ns}	0.188^{*}	3.31^{**}	$3.78\times10^{-5*}$	8433.5^{**}	13289.1^{**}	4265.0^{**}
I*B	4	48.90^{*}	0.171^{**}	1.45^{*}	$2.89\times10^{-5*}$	13216.5^{**}	21486.6^{**}	698.7^{*}
I*N	2	4.41^{ns}	0.008^{ns}	0.04^{ns}	7.4×10^{-7ns}	549.7^{ns}	1903.6^{ns}	1819.6^{**}
B*N	2	0.84^{ns}	0.002^{ns}	0.62^{ns}	5×10^{-7ns}	98.0^{ns}	136.33^{ns}	119.00^{ns}
I*B*N	4	1.88^{ns}	0.007^{ns}	0.64^{ns}	7.86×10^{-6ns}	137.6^{ns}	2767.5^{*}	63.43^{ns}
خطا Error	30	15.00	0.038	0.42	7.48×10^{-6ns}	171.8	754.06	239.15
ضریب تغییرات C.V. (%)		5.34	5.41	5.26	2.65	2.44	5.16	7.91

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال خطای آماری پنج و یک درصد

ns, * and **: nonsignificant and significant at the level of five and one percent statistical error, respectively

جدول ۳- مقایسه میانگین نتایج پارامترهای مدل‌های مورد استفاده برای پیش‌بینی شاخص‌های رشد، محتوای آب نسبی و عملکرد زیست توده در اثر برهمکنش آبیاری در بیوچار

Table 3- Results of parameters of models used to predict growth indices under irrigation stress, application of nitroxin and biochar

آبیاری Irrigation	بیوچار Biochar	محتوای آب نسبی RWC	شاخص سطح برگ LAI		سرعت رشد محصول CGR		سرعت رشد نسبی RGR		ماده خشک DMT		عملکرد زیست‌توده Biological yield	
			LAI_{max}	T_{max} (day)	CGR_{max} ($g.m^{-2}.day^{-1}$)	T_{max} (day)	RGR_{max} ($g.g^{-1}.day^{-1}$)	$T_{50\%}$ (day)	DMT_{max} ($g.m^{-2}$)	$T_{50\%}$ (day)	Nit^{-}	Nit^{+}
60 mm	0	78.28^{b}	3.72^{bc}	80.9^{ab}	12.85^{cd}	63.7^{b}	0.100^{cd}	65.7^{bc}	485.7^{e}	56.4^{b}	464.3^{de}	498.6^{d}
	4	81.10^{a}	4.42^{a}	81.0^{ab}	16.61^{b}	64.1^{ab}	0.138^{bc}	57.9^{cd}	648.8^{c}	56.7^{b}	628.4^{b}	649.8^{bc}
	8	82.20^{a}	4.54^{a}	81.1^{a}	18.68^{a}	65.9^{a}	0.163^{ab}	53.3^{d}	779.0^{a}	58.7^{a}	809.8^{a}	783.1^{a}
90 mm	0	65.73^{cd}	3.43^{bc}	81.9^{a}	12.16^{cd}	65.8^{a}	0.092^{d}	68.6^{ab}	449.8^{f}	57.9^{a}	434.7	474.8^{de}
	4	68.97^{c}	3.75^{b}	79.4^{bc}	15.68^{bc}	65.2^{a}	0.144^{bc}	57.3^{cd}	623.3^{d}	57.8^{ab}	546.2^{cd}	616.4^{bcd}
	8	78.43^{b}	4.02^{ab}	79.4^{bc}	17.45^{ab}	65.7^{a}	0.187^{a}	50.0^{d}	736.4^{b}	58.5^{a}	705.1^{b}	746.5^{ab}
120 mm	0	61.35^{d}	2.44^{d}	79.1^{b}	7.67^{e}	65.7^{a}	0.078^{d}	70.2^{a}	325.8^{h}	58.1^{a}	315.5^{g}	316.3^{g}
	4	68.06^{c}	3.03^{c}	77.8^{c}	10.78^{d}	65.0^{ab}	0.084^{d}	69.6^{a}	398.7^{g}	57.0^{b}	385.5^{fg}	395.5^{fg}
	8	68.68^{c}	3.22^{bc}	78.5^{c}	12.02^{cd}	63.7^{b}	0.112^{c}	62.2^{bc}	448.2^{f}	55.8^{b}	363.4^{g}	454.3^{de}

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده اختلاف معنی‌دار توسط آزمون دانکن در سطح ۵ درصد می‌باشد.

The different letters in each column indicate a significant difference by the Duncan test at the 5% level.

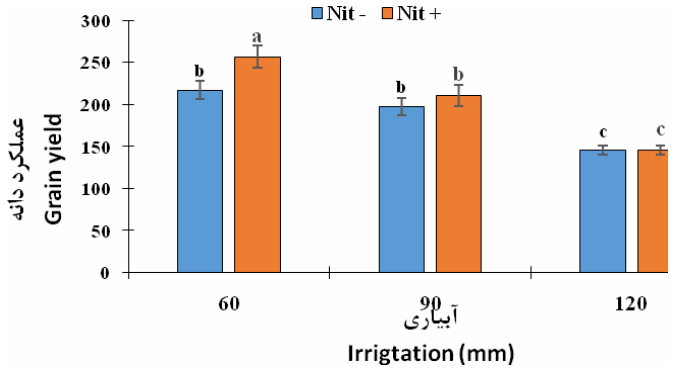
جدول ۴- مقایسه میانگین نتایج پارامترهای مدل‌های مورد استفاده برای پیش‌بینی شاخص‌های رشد با کاربرد نیتروکسین

Table 4- Results of parameters of models used to predict growth indices under irrigation stress, application of nitroxin and biochar

نیتروکسین Nitroxin	ماده خشک DMT		شاخص سطح برگ LAI		سرعت رشد محصول CGR		سرعت رشد نسبی RGR	
	DMT_{max} $g \cdot m^{-2}$	$T_{50\%}$ day	LAI_{max}	T_{max} day	CGR_{max} $g.m^{-2}\ day^{-1}$	T_{max} (day)	RGR_{max} $g.g^{-1}.day^{-1}$	$T_{50\%}$ day
Nit^-	530.7b	57.6b	3.54b	79.9a	13.09b	65.1a	0.105b	63.7b
Nit^+	622.2a	59.6a	4.21a	80.5a	14.90a	65.0a	0.120a	70.8a

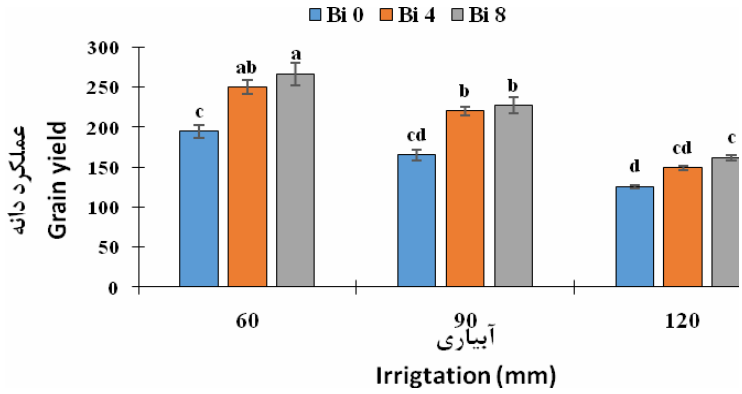
حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده اختلاف معنی‌دار توسط آزمون دانکن در سطح ۵ درصد می‌باشد.

The different letters in each column indicate a significant difference by the Duncan test at the 5% level.



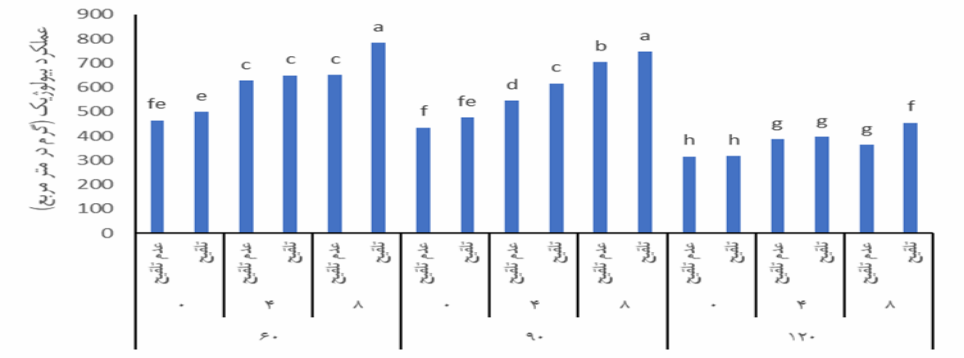
شکل ۳- مقایسه میانگین برهم‌کنش آبیاری در نیتروکسین بر عملکرد لوبیا

Figure 3- Comparison of the average irrigation interaction of nitroxin on bean yield



شکل ۴- مقایسه میانگین برهمکنش آبیاری در بیوچار بر عملکرد لوبیا چشم‌بلبلی

Figure 4- Comparison of average irrigation interaction in biochar on yield of cowpea



شکل ۵- مقایسه میانگین برهمکنش آبیاری، بیوچار و نیتروکسین بر عملکرد بیولوژیک لوبیا چشم‌بلبلی

Figure 5- Comparison of average irrigation biochar and nitroxin interactions on yield of cowpea

References منابع مورد استفاده

- Aminifar, J., M. Ramroudi, M. Galavi, and G. Mohsenabadi. 2017. Advantage of sesame and cowpea intercrops in different fertilizer application systems. *Journal of Crop Ecophysiology*. 40(4): 1039-1054.
- Amiri Deh Ahmadi, S.R., M. Parsa, A. Nezami, and A. Ganjeali. 2010. The effects of drought stress at different phenological stages on growth indices of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in greenhouse condition. *Iranian Journal Pulses Research*. 1(2): doi: 10.22067/ijpr.v1i2.9244 (In Persian).
- Anonymus. 2021. Irimo. Islamic Republic of Iran Meteorological Organization (IRIMO), http://irimo.ir/english/monthly&annual.
- Artiola, J.F., C. Rasmussen, and R. Freitas .2012. Effects of a biochar-amended alkaline soil on the growth of romaine lettuce and bermudagrass. *Soil Science*. 177: 561-570. doi: 10.1097/SS.0b013e31826ba908
- Ashraf, M., and M.R. Foolad. 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*. 59: 206-216. doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.12.006
- Aynehband, A., F. Gerami, and E. Fateh. 2012. Effect of different green manure crops and nitrogen levelson biomass production efficiency and nitrogen concentration in wheat (*Triticum aestivum* L.) and soil. *Advances in Environmental Biology*. 6(1): 362-367.
- Bakhshaie, S., P. Rezvani Moghaddam, and M. Goldani. 2014. The effects of nitroxin and nitrogen fertilizer on yield and yield components of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*. 12(3): 360-368. doi: 10.22067/GSC.V12I3.42211. (In Persian).
- Batista, E.M., J. Shultz, T.T. Matos, M.R. Fornari, T.M. Ferreira, B. Szpoganicz, R.A. de Freitas, and A.S. Mangrich. 2018. Effect of surface and porosity of biochar on water holding capacity aiming indirectly at preservation of the Amazon biome. *Scientific Reports.* 8(1): 1-9. doi:10.1038/s41598-018-28794-z
- Bavariani, M.Z., A. Ronaghi, N. Karimian, R. Ghasemi, and J. Yasrebi. 2016. Effect of poultry manure derived biochars at different temperatures on chemical properties of a calcareous soil. *Journal of Water and Soil Science*. 20(75): 105-117. doi:10.22092/IJSR.2021.343399.535
- Boomsma C.R., and T.J. Vyn. 2008. Maize drought tolerance: Potential improvements through arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Field Crops Research*. 108: 14-31. doi.org/10.1016/j.fcr.2008.03.002
- Boostani, H., and M. Najafighiri. 2018. Effect of biochar and natural zeolite application on desorption kinetic and chemical fractions of zinc in a zn-contaminated calcareous soil. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*. 23:8(1):69-88. doi: 10.22069/EJSMS.2018.11548.1664
- Chan, K., L. van Zwieten, I. Meszaros, A. Downie, and S. Joseph. 2008. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Soil Research*. 45: 629- 634. doi.org/10.1071/SR07109

- Charkhab, A., and M. Mojaddam. 2018. Investigation growth indices analysis and sorghum (*Sorghum bicolor* L.) crop production affected different level of nitrogen and nitroxin bio-fertilizer. *Journal of Crop Nutrition Science*. 4(3): 1-14.
- Chaudhry, U.K., S. Shahzad, M.N. Naqqash Abdul Saboor, S. Yaqoob, M. Salim, and M. Khalid. 2016. Integration of biochar and chemical fertilizer to enhance quality of soil and wheat crop (*Triticum aestivum* L.). *Peer Journal PrePrints.* 4: e1631v1. doi:10.7287/peerj.preprints.1631v1
- Colom, M.R., and C. Vazzana. 2003. Photosynthesis and PSII functionality of drought-resistant and drought-sensitive weeping love grass plants. *Environmental and Experimental Botany.* 49: 135-144. doi:10.1016/S0098-8472(02)00065-5
- Dardanelli, M.S., F.J.F. de Cordoba, M.R. Espuny, M.A.R. Carvajal, M.E.S. Díaz, A.M.G. Serrano, Y. Okon, and M. Megías. 2008. Effect of *Azospirillum brasilense* coinoculated with rhizobium on *Phaseolus vulgaris* flavonoids and nod factor production under salt stress. *Soil Biology and Biochemistry*. 40(11): 2713-2721. doi:10.1016/j.soilbio.2008.06.016
- Dejene, M., and M. Lemlem. 2012. Integrated agronomic crop managements to improve Teff productivity under terminal drought, water stress. Tech Open Science, London, UK. doi: 10.5772/30662
- Ding, Y., Y. Liu, S. Liu, Z. Li, X. Tan, X. Huang, G. Zeng, L. Zhou, and B. Zheng. 2016. Biochar to improve soil fertility. A review. *Agronomy for Sustainable Development.* 36(2): 1-18. doi:10.1007/s13593-016-0372-z
- Farooq, M., A. Wahid, N. Kobayashi, D. Fujita, and S.M.A. Basra. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*. 29(1): 185-212. doi: 10.1007/978-90-481-2666-8_12
- Gebremedhin, G.H., H. Bereket, B. Daniel, and B. Tesfaye. 2015. Effect of biochar on yield and yield components of wheat and post-harvest soil properties in Tigray, Ethiopia. *Journal of Fertilizers and Pesticides.* 6(2): 2-5. doi: 10.4172/2471-2728. 1000158
- Ghamari, H., J. Shafagh, H. Sabaghpoor, and A. Dabbagh Mohammadi Nasab. 2016. Effects of biological and chemical fertilizers on some growth indexes of purslane (*Portulaca Oleracea* L.) and dragon's head (*Lallemantia iberica* Fisch. & C.A. Mey.) in mono and intercropping. *Journal of Sustainable Agriculture and Production Science*. 25(4): 25-45. (In Persian).
- Ghassemi-Golezani, K., S. Ghanehpoor, and A. Dabbagh Mohammadi-Nasab. 2009. Effects of water limitation on growth and grain filling of faba bean cultivars. *Journal of Food, Agriculture and Environment*. 7(3): 442-447. doi:10.1234/4.2009.2623
- Hajmohamadnia Ghalibaf, K., F.S. Hossaini, A. Nezami, and M. Parsa. 2016. Effects of supplementary irrigation at phenological stages on some growth indices of lentil (*Lens culinaris* Medik.) cultivars in Mashhad region. *Iranian Journal Pulses Research*. 7(1): 105-120. doi: 10.22067/ijpr.v7i1.40052. (In Persian).
- Hamidvand, Y., M.R. Abdollahi, and M. Shaban. 2013. Investigation of growth analysis in chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under drought stress and Zn

fertilizer. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. 5(5): 517-521. doi: 10.3126/ijls.v9i5.12705

- Hunt, R. 1978. Demography versus plant growth analysis. *New Phytologist*. 80(1). 269-272. doi:10.1111/j.1469-8137.1978.tb02286.x
- Inal, A., A. Gunes, O. Sahin, M. B. Taskin and E. C. Kaya. 2015. Impacts of biochar and processed poultry manure, applied to a calcareous soil, on the growth of bean and maize. *Soil Use Manage*. 31: 106–113. doi:10.1111/sum.12162
- Jamali, M.M. 2013. Investigate the effect of drought stress and different amount of chemical fertilizers on some physiological characteristics of coriander (*Coriandrum sativum* L.). *International Journal of Farming and Allied Sciences*. 2(20): 872-879.
- Kafi, M., and E. Keshmiri. 2016. The changes in the physiological growth and the react of the salinity and number of irrigation water of two cumin cultivars (*Cuminum cyminum* L.). *Jounal of Agroecology*. 8(3): 463-475. doi:10.22067/ JAG.V8I3.55968. (In Persian).
- Kammann, C.I., S. Linsel, J.W. Gößling, and H.W. Koyro. 2011. Influence of biochar on drought tolerance of *Chenopodium quinoa* Wild and on soil plant relations. *Plant and Soil*. 345: 195-210. doi:10.1007/s11104-011-0771-5
- Kapur, P., and S.R. Govil. 2004. Experimental plant ecology. New Delhi: CBS Publisher.
- Kartika, K., B. Lakitan, A. Wijaya, S. Kadir, L.I. Widuri, E. Siaga, and M. Meihana. 2018. Effects of particle size and application rate of rice-husk biochar on chemical properties of tropical wetland soil, rice growth and yield. *Australian Journal of Crop Science*. 12(5): 817-826. doi: 10.22067/JAG.V8I3.55968
- Kazemi, S., and S.K. Marashi. 2018. Effects of different sources of potassium on drought tolerance of maize under deficit irrigation management. *Applied Research of Plant Ecophysiology*. 4(2): 195-212.
- Kokalis-Burelle, N., J.W. Kloepper, and M.S. Reddy. 2006. Plant growth-promoting rhizobacteria as transplant amendments and their effects on indigenous rhizosphere microorganisms. *Applied Soil Ecology*. 31(1-2): 91-100. doi:10.1016/j.apsoil.2005. 03.007
- Kraska, P., P. Oleszczuk, S. Andruszczak, E. Kwiecińska-Poppe, K. Różyło, E. Pałys, P. Gierasimiuk, and Z. Michałojć. 2016. Effect of various biochar rates on winter rye yield and the concentration of available nutrients in the soil. *Plant, Soil and Environment*. 62(11): 483-489.
- Kusvuran, S., and H.Y. Dasgan. 2017. Effects of drought stress on physiological and biochemical changes in *Phaseolus vulgaris* L. *Legume Research.* 40(1): 55-62. doi:10.18805/lr.v0i0.7025
- Lak, Sh., A. Ahmadi, A. Siyadat, and Gh. Nourmohamadi. 2007. Effect of different levels of nitrogen and plant density on grain yield and its components and water use efficiency of maize (*Zea mays* L.). *Iranian Journal of Crop Science*. 7 (2): 153-170. doi: 20.1001.1.15625540.1385.8.2.5.6. (In Persian).

- Lake, L. and V.O. Sadras. 2016. Screening chickpea for adaptation to water stress: associations between yield and crop growth rate. *European Journal of Agronomy*. 81: 86-91. doi: 10.1016/j.eja.2016.09.003
- Lehman, J., and M. Rondon. 2006. Biochar soil management on highly weathered soil in the humid tropics. 517-530 in biological approaches to sustainable soil system (Norman Upholf *et al* Eds). Taylor & Francis Group. 113(517): 30384-9267.
- Liu, C., H. Wang, X. Tang, Z. Guan, B.J. Reid, A.U. Rajapaksha, Y.S. Ok, and H. Sun. 2016. Biochar increased water holding capacity but accelerated organic carbon leaching from a sloping farmland soil in China. *Environmental Science and Pollution Research*. 23(2): 995-1006. doi: 10.1007/s11356-015-4885-9
- Liu, Q., Y. Zhang, B. Liu, J.E. Amonette, Z. Lin, G. Liu, P. Ambus, and Z. Xie. 2018. How does biochar influence soil N cycle? A meta-analysis. *Plant and Soil.* 426(1-2): 211-225. doi: 10.1007/s11104-018-3619-4
- Lotfi, B., F. Fotohi, S.A. Siadat, and M. Sadeghi. 2018. The effect of using chemical nitrogen fertilizer and biological fertilizer on seed yield and protein percent of cowpea (*Vigna unguiculata* L.). *Journal of Crop Ecophysiology.* 45(1): 123-138.
- Mahajan, A.N.I.L., R.M. Bhagat, and R.D. Gupta. 2008. Integrated nutrient management in sustainable rice-wheat cropping system for food security in India. *SAARC Journal of Agriculture*. 6(2): 29-32.
- Mahanty, T., S. Bhattacharjee, M. Goswami, P. Bhattacharyya, B. Das, A. Ghosh, and P. Tribedi. 2017. Biofertilizers: a potential approach for sustainable agriculture development. *Environmental Science and Pollution Research*. 24(4): 3315-3335. doi: 10.1007/s11356-016-8104-0
- Majnoon Hosseini, N., and S.H. Hosseinian. 2013. Effect of drought stress on yield and yield components of cowpea genotypes under Karaj climatic condition. The 5th National Congress of Pulse Crops. University of Tehran, Karaj. Iran. doi: 10.22067/ijpr.v1394i2.36915. (In Persian).
- Makkizadeh, M, S. Nasrollahzadeh, S. Zehtab Salmasi, M.R. Chaichi, and K. Khavazi. 2012. The effect of organic, biologic and chemical fertilizers on quantitative and qualitative characteristics of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Sustainable Agriculture and Production Science*. 22(1): 1-12. (In Persian).
- Minhas, W.A., M. Hussain, N. Mehboob, A. Nawaz, S. UL-Allah, M.S. Rizwan, and Z. Hassan. 2020. Synergetic use of biochar and synthetic nitrogen and phosphorus fertilizers to improves maize productivity and nutrient retention in loamy soil. *Journal of Plant Nutrition*. 43(9): 1356-1368. doi:10.1080/01904167.2020. 1729804
- Mohammad, M., and F.B. Mukhtar. 2018. Effect of nitrogen fertilizer treatments on duration of senescense, harvest time and yield in some varieties of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp. *African Journal of Plant Science*. 12(3): 37-46. doi: 10.5897/AJPS2017.1623
- Namvar, A., R. Seyed Sharifi, and T. Khandan. 2011. Growth analysis and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in relation to organic and inorganic nitrogen fertilization. *Ekologija*. 57(3): 97–108. doi: 10.6001/ekologija.v57i3.1915

- Palansooriya, K.N., J.T.F. Wong, Y. Hashimoto, L. Huang, J. Rinklebe, S.X. Chang, N. Bolan, H. Wang, and Y.S. Ok. 2019. Response of microbial communities to biochar-amended soils: A critical review. *Biochar.* 1(1): 3-22. doi.10.1007/s42773-019-00009-2
- Pettit, R.E. 2004. Organic matter, humus, humate, humic acid, fulvic acid and humin: their importance in soil fertility and plant health. *CTI Research*.10: 1-17.
- Pirasteh Anousheh, H., Y. Emam, and F. Jamali Ramin. 2010. Comparative effect of biofertilizers with chemical fertilizers on sunflower (*Helianthus annuus* L.) growth, yield and oil percentage in different drought stress levels. *Journal of Agroecology*. 2(3): 492-501. doi: 10.22067/JAG.V2I3.7663. (In Persian).
- Rab, A., M.R. Khan, S.U. Haq, S. Zahid, M. Asim, M.Z. Afridi, M. Arif, and F. Munsif. 2016. Impact of biochar on mungbean yield and yield components. *Pure and Applied Biology*. 5(3): 632-640. doi: 10.19045/bspab.2016.50082
- Sajadi, N.R., and A.R. Yadavi. 2013. Effect of nitrogen fertilizer, vermicompost and nitroxin on growth indexes, phonological stages and grain yield of sesame. *Electronic Journal of Crop Production.* 6(2):73-99. (In Persian).
- Sakinezhad, T. 2004. Study the effect of absorption of N.P.K and Na elements at different growth stages to morphologic and physiologic characteristics of corn in Ahvaz condition. Ph.D. Thesis, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Khuzestan, Iran. 288 pp. (In Persian).
- Savci, S. 2012. Investigation of effect of chemical fertilizers on environment. *Apcbee Procedia*. 1: 287-292. doi:10.1016/j.apcbee.2012.03.047
- Shabanzadeh, Sh., M. Ramroudi, and M. Galavi. 2011. Influence of micronutrients foliar application on seed yield and quality traits of black cumin in different irrigation regimes. *Journal of Crop Production and Processing*. 1(2): 79-89. doi: 20.1001.1.22518517.1390.1.2.6.1
- Shahpary, Z., E. Fateh, and A. Aynehband. 2016. The effect of different residue type, management and nitrogen on yield, quality of durum wheat (*Triticum durum* L.) and soil macronutrients. *Journal of Crop Production.* 9(3): 87-104. doi: 10.22069/ ejcp.2016.9713.1756
- Singh, B.B., and T. Matsui. 2002. Cowpea varieties for drought tolerance. Challenges and opportunities for enhancing sustainable cowpea production. pp: 287-300.
- Suppadit, T., N. Phumkokrak, and P. Poungsuk. 2012. The effect of using quail litter biochar on soybean (*Glycine max* L. Merr.) production. *Chilean Journal of Agricultural Research.* 72: 244-251. doi:10.4067/S0718-58392012000200013.
- Szilagyi, L. 2003. Influence of drought on seed yield components in common bean. *Bulgarian Journal of Plant Physiology.* Special Issue. 320-330. doi: 10.3389/ fpls.2022.814325
- Tabari, H., and P.H. Talaee. 2011. Analysis of trends in temperature data in arid and semi-arid regions of Iran. *Global and Planetary Change*. 79(1-2): 1-10. doi: 10.1016/j.gloplacha.2011.07.008
- Tadesse, M., W.J.M. Lommen, P.E.L. van der Putten, and P.C. Struik. 2001. Development of leaf area and leaf number of micropropagated potato plants.

NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences. 49(1): 15-32. doi: 10.1016/S1573-5214(01)80013-0

- Timko, M.P., and B.B. Singh. 2008. Cowpea, a multifunctional legume. In 'Genomics of tropical crop plants'. Ch. 10. (Eds PH Moore, R Ming) pp. 227–258.
- Toosi, A.F., and M. Azizi. 2014. Effect of different sources of nitrogen fertilizer on yield and yield components of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Scientific Papers Series: A Agronomy*. 18: 364-366.
- van Zwieten, L., S. Kimber, S. Morris, K. Chan, A. Downie, J. Rust, S. Joseph, and A. Cowie. 2010. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant and Soil*. 327: 235-246. doi: 10.1007/s11104-009-0050-x
- Violent, H.G.M. and V.O. Portugal. 2007. Alternation of tomato fruit quality by root inoculation with plant growth-promoting rhizobactria (PGPR): Bacillussubtilis BEB-13bs. *Scientia Horticulture*. 113: 103-106. doi:10.1016/j.scienta.2007.01.031
- Wang, Y., L. Zhang, H. Yang, G. Yan, Z. Xu, C. Chen, and D. Zhang. 2016. Biochar nutrient availability rather than its water holding capacity governs the growth of both C_3 and C_4 plants. *Journal of Soils and Sediments*. 16(3): 801-810. doi.org/10.1007/s11368-016-1357-x
- Waraich, E.A., Z. Ahmed, R. Ahmad, and R.N. Shabbir. 2017. Modulating the phenology and yield of *Camelina sativa* L. by varying sowing dates under water deficit stress conditions. *Soil and Environment*. 36(1): 84-92. doi: 10.25252/SE/17/20937
- Yousefpoor, Z., and A.R. Yadavi. 2014. Effect of biological and chemical fertilizers of nitrogen and phosphorus on quantitative and qualitative yield of sunflower. *Sustainable Agriculture and Production Science*. 24(1): 95-112. (In Persian).
- Zhang, A., Y. Liu, G. Pan, Q. Hussain, L. Li, J. Zheng, and X. Zhang. 2012. Effect of biochar amendment on maize yield and greenhouse gas emissions from a soil organic carbon poor calcareous loamy soil from central China plain. *Plant and soil*. 351: 263-275. doi:10.1007/s11104-011-0957-x

Research Article DOI: 10.30495/JCEP.2023.1921202.1765

Effect of Integrated Application of Biochar and Nitroxin on Growth Traits and Grain Yield of Cowpea (*Vigna unguiculata* L.) under Different Irrigation Regimes

Seyed Afshin Moosavi[1], AliReza Shokuhfar[2*], Shahram Lak[3], Mani Mojaddam[2] and Mojtaba Alavifazel[4]

Received: January 2020 , Revised: 22 February 2020, Accepted: 31 March 2020

Abstract

According to Iranian water resource limitations it is mandatory to find water efficient strategies for crop production in accordance with reduction of chemical inputs. A split-factorial experiment was conducted in 2018 based on randomize complete block design with three replications to investigate the effects of biochar and nitroxin application on growth traits and yield of cowpea under different irrigation regimes. Experimental treatments were irrigation regimes (0, 90, 120 mm) evaporation from water pan class A which were considered as no stress, mild water stress and Sevier water stress, respectively. Irrigation treatments were arranged as main plot and three levels of biochar (0,4, 8 $t.ha^{-1}$) and nitroxin (inoculated and no inoculated) considered as factorial subplots. Results showed that dry matter accumulation and relative crop growth rate exhibited a sigmoid pattern while leaf area and growth rate followed gaussian pattern. Based on model output DMT_{max} was 467 $g.m^{-2}$ and RGR_{max} was 0/100 g, LAI_{max} 3.65 and CGR_{max} was 12.6 $g.m^{-2}$ which reach to 50% of final value in 55/9, 65.9, 40.5 and 31.7, respectively. Application 8 ton/ha biochar with nitroxxin resulted in 12% RWC and 10%, 27% improved nitrogen and phosphor status under severe stress condition. Irrigation at 120 mm evaporation caused 33% reduction of grain yield and nitroxin application at normal condition caused 19% increase in grain yield but at 120 mm evaporation it did not exhibit significant effect. Application of biochar at no stress condition led to 37% increase in grain yield and such changes reach to 29% at 120 mm evaporation from water pan class A. The highest grain yield (266 $g.m^{-2}$) obtained from 8 $t.ha^{-1}$ biochar at no stress condition and the maximum biological yield was obtained from 8 $t.ha^{-1}$ biochar with nitroxin (809 $g.m^{-2}$). Application of 8 $t.ha^{-1}$ biochar incorporated with nitroxin could provide satisfactory yield for cowpea crop under water limited condition.

Key words: Biological fertilizer, Dry matter, Drought stress, Leaf area.

1- Ph.D. Student, Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
2- Assistant Professor, Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
3- Professer, Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
4- Associate Professor, Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
Corresponding Authors: alireza_shokuhfar@yahoo.com*