تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد سیزدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۹
۱۲۳۱-۱۲۴۳
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.2285.1589

مقاله پژوهشی

بررسی اثر بیوچار و همزیستی میکوریز در کاهش اثرات تنش آبی در ذرت (*Zea mays* L.)

امید رضا سالی[۱]، احسان اله زیدعلی[۲*]، محمدرضا اردکانی[۳]، زهرا طهماسبی[۲]، حمیدرضا دری[۴]، مهرشاد براری[۲]

۱. دانشجوی دکترا، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام
۲. استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام
۳. گروه زراعت، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران
۴. استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۲/۰۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۱/۲۸

چکیده

منظور بررسی اثرات بیوچار و قارچ میکوریزا بر کاهش تنش آبی در گیاه ذرت، آزمایشی به‌صورت کرت‌های دو بار خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار در سال زراعی ۹۴ـ ۹۵ در مرکز تحقیقات کشاورزی استان مرکزی اجرا شد. فاکتور اصلی شامل و سطح آبیاری (تنش و آبیاری نرمال)، فاکتور فرعی شامل چهار سطح میزان استفاده از بیوچار (صفر (شاهد)، ۷، ۱۴ و ۲۱ تن در هکتار) و فاکتور فرعی فرعی شامل دو سطح قارچ میکوریزا (بدون قارچ و کاربرد قارچ میکوریزا) بود. نتایج نشان داد تنش آب روی صفات تعداد دانه در ردیف، وزن هزار دانه و محتوای کلروفیل a اثر معنی‌داری داشت و با اعمال تنش این صفات کاهش یافتند. کاربرد بیوچار روی صفات وزن هزار دانه و محتوای کلروفیل a و b اثر معنی‌داری نداشت اما بر سایر صفات اثر معنی‌دار داشت و در سطح کاربرد ۱۴ تن در هکتار بیوچار موجب افزایش ۱/۳۱ تن در هکتار عملکرد دانه در مقایسه با شاهد شد. کاربرد قارچ میکوریزا اثر معنی‌داری بر صفات تعداد دانه در ردیف، وزن هزار دانه، عملکرد نهایی دانه و شاخص برداشت داشت و موجب افزایش ۳/۸، ۳/۹، ۷ و ۱۱/۸ درصدی آن‌ها به ترتیب شد. اثرات متقابل دوگانه تنش و بیوچار تنها روی صفات تعداد دانه در بلال و وزن هزار دانه معنی‌دار بود و در حالت تنش و کاربرد سطح ۷ تن در هکتار بیوچار موجب افزایش ۱۰/۸ درصدی وزن هزار دانه نسبت به شاهد شد. هم‌چنین اثرات متقابل دوگانه تنش و قارچ بر صفات تعداد دانه در ردیف، تعداد دانه در بلال، عملکرد نهایی دانه و شاخص برداشت اثر معنی‌دار داشته است و اثر متقابل بیوچار و قارچ تنها روی صفت تعداد ردیف در بلال اثر معنی‌دار داشت؛ و در آخر اثر متقابل سه‌گانه تنش، بیوچار و قارچ روی صفات تعداد دانه در بلال، وزن هزار دانه و عملکرد دانه اثر معنی‌دار داشت. درنهایت مشخص گردید کاربرد سطح ۱۴ تن در هکتار بیوچار بیش‌ترین تأثیر را بر اکثر صفات مورد آزمایش (تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در ردیف، تعداد دانه در بلال، عملکرد نهایی دانه و شاخص برداشت) داشته است. در همین مورد، در حالت تنش، بیش‌ترین مقدار عملکرد نهایی دانه با میانگین ۱۳/۸۷ تن در هکتار با کاربرد سطح ۱۴ تن در هکتار بیوچار و عدم کاربرد قارچ مشاهده شد که این میزان اختلاف معنی‌داری باحالت آبیاری نرمال نداشت.

***واژه‌های کلیدی:* اجزاء عملکرد، تنش خشکی، شاخص برداشت، محتوای کلروفیل**

مقدمه

در بین عوامل بازدارنده محیطی مؤثر بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی، خشکی مهم‌ترین عامل کاهش تولید به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌رود (Reddy et al., 2004). ازآنجایی‌که در ایران بخش کشاورزی با مصرف بیش از ۹۰ درصد از منابع آب، عمده‌ترین مصرف‌کننده آب به شمار می‌رود، هرگونه صرفه‌جویی در این بخش کمک مؤثری در حفظ منابع آب خواهد بود (Tadayyoun and Emam, 2009).

یکی از مواردی که در جهان تحقیقات وسیعی روی آن در حال انجام است بیوچار یا زغال زیستی است که در مواردی

* نگارنده پاسخگو: احسان اله زیدعلی. پست الکترونیک: e.zeidali@ilam.ac.ir

مانند تنش خشکی، شوری، علف‌های هرز، اصلاح خاک‌های تخریب‌شده توسط عوامل مختلف، ترسیب کربن، مقابله با گسترش گازهای گلخانه‌ای و... کاربرد دارد (Mubshar hussain et al., 2016). در کشور ایران تحقیقات روی بیوچار به‌طور گسترده‌ای در موضوعات و کاربردهای مختلف در حال شکل‌گیری و گسترش است (Gavili et al., 2019a, 2019b, 2018; Abbaspor et al., 2018; Nikravesh et al., 2018; Najafian and Zahedifar, 2018; Zahedifar, 2017; Rajabi et al., 2016).

بیوچار طی فرآیند پیرولیز، به‌وسیله تجزیه گرمایی از مواد آلی در محیطی با کمبود اکسیژن به دست می‌آید (Joseph et al., 2010). بیوچار کربن خالص نبوده و شامل خاکستر، هیدروژن، اکسیژن، نیتروژن و سولفور نیز است. بیوچار را می‌توان از موادی همچون بقایای گیاهان زراعی، بقایای جنگل، جلبک، لجن فاضلاب و کودها تولید نمود (Lehmann and Joseph, 2015; Duku et al., 2011). اخیراً در پژوهش‌های کشاورزی و منابع طبیعی بر روی اثر کارایی استفاده از بیوچار تحقیقات وسیعی در جهان در حال انجام است. کاربرد بیوچار در زمین‌های کشاورزی به‌عنوان رهیافتی برای ترسیب کربن (C) و به‌عنوان بهبوددهنده کیفیت خاک و سیکل عناصر غذایی کاربرد دارد (Lehmann, 2007؛ Powlson et al., 2011). بیوچار هنگامی‌که در خاک قرار می‌گیرد می‌تواند موجب ذخیره کربن در درازمدت شود. به‌علاوه شواهد نشان می‌دهد که کاربرد بیوچار در خاک موجب افزایش عملکرد محصول، کاهش آبشویی مواد غذایی در خاک و تحریک فعالیت‌های میکروبی خاک می‌شود (Abbaspour et al., 2019; Gavili et al., 2019a; 2019b, 2018; Nikravesh, et al., 2018; Jeffery et al., 2010; Singh et al., 2010; Kolb et al., 2009). پتانسیل سودمندی‌های کاربرد بیوچار در خاک‌های کشاورزی شامل جذب و تثبیت محلول‌ها و یون‌های غذایی، بهبود ساختمان خاک و نگهداری رطوبت خاک است (Gavili et al., 2019a; 2019b; Nikravesh et al., 2018; Forouhar et al., 2018; Moradi et al., 2017; Clough and Condron, 2010; Laird et al., 2010; Brodwski et al., 2006)؛ بنابراین، ویژگی‌های ذاتی بیوچار و برهمکنش پیچیده آن با خاک‌های مختلف می‌تواند بر روی اثرات متقابل خاک، گیاه و میکروارگانیسم‌ها تأثیر داشته باشد. بیوچار معمولاً توانایی جذب بالایی نسبت به مواد آلی خاک به علت بالا بودن نسبت سطح به حجم، بار سطحی منفی و تراکم بار دارد (Liang et al., 2006). بیوچار می‌تواند نه‌تنها به‌عنوان نگه‌دارنده برخی کاتیون‌های شیمیایی ازجمله یون‌های فلزی، بلکه عامل جذب عناصر آنیونی مانند یون‌های فسفات نیز عمل کند (Lehman, 2007). اضافه شدن بیوچار به خاک موجب بهبود حاصلخیزی و با ترسیب کربن موجب تخفیف اثرات تغییر اقلیم می‌شود. با توجه به کمبود منابع آب شیرین و مناسب برای کشاورزی و تغییرات اقلیمی استفاده از بیوچار و امکان‌سنجی استفاده همزیستی میکوریزایی می‌تواند در کاهش آب موردنیاز برای حصول عملکرد قابل‌قبول بسیار مؤثر باشد.

گزارش‌های متعددی در رابطه با تأثیر همزیستی قارچ میکوریزا در بهبود رشد گیاهان و افزایش تحمل آن‌ها به تنش شوری و خشکی وجود دارد (Azcon and El-Atrach, 1997). گیاهان میکوریزایی در شرایط تنش، کارایی مصرف آب را در مقایسه با گیاهان شاهد تلقیح نشده افزایش می‌دهند که این خود منجر به افزایش رشد و عملکرد آن‌ها می‌شود (Kafi et al., 2003). هم‌چنین گزارش شده است همزیستی گیاهان با قارچ‌های میکوریزایی سبب افزایش عملکرد گیاهان زراعی به‌ویژه در خاک‌های با حاصلخیزی کم می‌شود (Porras-Soriano et al., 2009). هم‌چنین در پژوهشی مشخص شد که کاربرد بیوچار موجب افزایش عملکرد در ذرت از طریق کاهش تنش عناصر غذایی و متعادل کردن اسیدیته خاک در نپال شد. (Pandit et al., 2018) گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا نسبت به گیاهان تلقیح نشده ذرت میزان ریشه بیشتری تولید کردند (Bai et al., 2009).

ذرت پس از گندم و برنج، مهم‌ترین ماده‌ی غذایی دنیا را تشکیل می‌دهد. گرچه دامنه سازگاری آن گسترده است، ولی در اقلیم‌های گرمسیری و نیمه گرمسیری رشد بهتری می‌کند (Evans and Dunstone, 1970).

با توجه به خشکی گسترده در کشور ایران و هم‌چنین کاهش شدید انواع بارندگی‌ها و نیز اُفت سطح آب‌های زیرزمینی، هرگونه کاهش میزان مصرف آب در بخش کشاورزی می‌تواند بسیار مهم و حائز اهمیت باشد. هدف از انجام این پژوهش بررسی اثر مقادیر مورداستفاده بیوچار و کارایی استفاده از قارچ میکوریزا در شرایط تنش آبی در گیاه ذرت است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۴ـ ۹۵ در ایستگاه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی (اراک) انجام شد. بافت خاک مزرعه لومی رسی شنی بوده و ویژگی‌های نمونه خاک مزرعه به شرح جدول (۱) است.

ابتدا زمین طرح، به ابعاد موردنیاز آماده‌سازی شد. بذر ذرت از شرکت توسعه کشت ذرت کرمانشاه و رقم

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1. Soil physical and chemical properties of experimental site

عمق Depth	قابلیت هدایت الکتریکی	اسیدیته خاک pH	فسفر قابل‌جذب Phosphorus Absorbable	پتاسیم قابل‌جذب Absorbable potassium	ازت کل N Total	کربن آلی Organic carbon	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand
(cm)	($dS.m^{-1}$)		---------- ($mg.kg^{-1}$) ----------		---------- (%) ----------				
30	8.8	8	7.4	200	0.04	0.44	31	19	50

جدول ۲. مشخصات بیوچار مورد استفاده در آزمایش

Table 2. Features of biochar used in the experiment

Properties	مشخصه	Value	مقدار
Iodine number	عدد ید	160-180 mg/g	۱۸۰ـ ۱۶۰ میلی گرم بر گرم
Surface area according to standard ASTM	مساحت سطح بر اساس استاندارد ASTM*	170±5 m^2/g	حدود ۱۷۰ مترمربع بر گرم ± ۵ درصد
Methylene blue number	عدد متیلن بلو	30 mg/g	حدود ۳۰ میلی گرم بر گرم
amount of humidity	میزان رطوبت	3-4%	۴ـ ۳ درصد
pH	اسیدیته	8-8.5	بین ۸ تا ۸/۵
Percentage of ash	درصد خاکستر	4-5	۵ـ ۴
Grading	دانه‌بندی	180 µ	۱۸۰ میکرون و کمتر
basis	پایه		مواد سلولزی از چوب جنگل‌های مازندران

* Active standard ASTM D5768| Developed by subcommittee: D01.34.

موردستفاده BC678 بود. قارچ میکوریزای موردستفاده (*Glomus mosseae*) است که از کلینیک گیاه‌پزشکی ارگانیک واقع در اسدآباد همدان تهیه شد. بیوچار موردنیاز از شرکت صنعت کربن فعال بشل واقع در شمال کشور (سوادکوه) تأمین شد که مشخصات بیوچار استفاده‌شده در جدول ۲ آورده شده است:

آزمایش به‌صورت کرت‌های دو بار خردشده و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار انجام شد. دو سطح آبیاری (کامل و محدودشده) به‌عنوان عامل اصلی، چهار سطح مقدار استفاده بیوچار به‌عنوان عامل فرعی و دو سطح استفاده و عدم استفاده از قارچ میکوریزا به‌عنوان عامل فرعی فرعی در نظر گرفته شد.

در مورد عامل اصلی که دو سطح آبیاری نرمال و آبیاری محدودشده (تنش) بود که با توجه به امکانات موجود، با استفاده از تشتک تبخیر کلاس A (برای آبیاری نرمال پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر و برای تنش، آبیاری پس از ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر) در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است زمان اعمال تنش آبی از مرحله ۸ برگی در نظر گرفته شد.

استفاده از بیوچار به‌عنوان عامل فرعی در چهار سطح شامل کاربرد صفر (شاهد)، ۷، ۱۴ و ۲۱ تن در هکتار بود که هرکدام از سطوح با اضافه کردن ۷ تن در هکتار بیوچار به سطح قبلی محاسبه شد که بتوان روندی مشخص برای بررسی سطوح فراهم آورد. در هر کرت آزمایشی بر اساس ۷ تن در هکتار مقدار ۱۲/۶ کیلوگرم، ۱۴ تن در هکتار مقدار ۲۵/۲ کیلوگرم و در ۲۱ تن در هکتار به میزان ۳۷/۸ کیلوگرم بیوچار موردستفاده قرار گرفت. استفاده و عدم استفاده از قارچ میکوریزا به‌عنوان عامل فرعی فرعی بود که زمان کاربرد آن هم‌زمان با کشت بذر به میزان توصیه‌شده توسط شرکت تولیدکننده قارچ میکوریزا (معادل ۸۰ کیلوگرم در هکتار) انجام گرفت.

در این بررسی، طول هر کرت آزمایشی ۶ متر و عرض آن ۳ متر بود. در هر کرت ۴ ردیف کشت بافاصله خطوط کشت از هم ۷۵ سانتی‌متر و فاصله بوته روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. تراکم گیاه در هکتار معادل ۶۷ هزار بوته

و عمق کشت بذر نیز ۵ سانتی‌متر بود. حاشیه در نظر گرفته‌شده در این طرح به این شرح بود: حاشیه بین تیمارهای آبیاری ۲ متر، حاشیه بین تیمارهای مقدار بیوچار ۱ متر و حاشیه بین تیمارهای میکوریزا نیز ۰/۵ متر برای جلوگیری از تداخل عامل‌ها در نظر گرفته شد. روش آبیاری از نوع آبیاری با استفاده از نوارهای پلاستیکی یا تیپ بوده است. عمل کشت ابتدای تیرماه سال ۱۳۹۵ انجام شد. روش کشت به‌صورت دستی و با استفاده از کارگر انجام شد. در طول رشد گیاه از هیچ نوع کود شیمیایی و علف‌کشی استفاده نشد و جهت کنترل علف‌های هرز طی دو مرحله، در مراحل ۶ برگی و ۱۲ برگی از کارگر و به روش دستی استفاده شد. برداشت محصول در تاریخ ۱۵ شهریورماه به روش دستی انجام شد.

صفات موردبررسی شامل تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در ردیف، تعداد دانه در بلال، وزن هزار دانه، عملکرد نهایی دانه، محتوای کلروفیل a و b و شاخص برداشت بود.

برای اندازه‌گیری مقدار کلروفیل a و b از روش آرنون (۱۹۶۷) استفاده شد. چگالی جذبی عصاره‌های تهیه‌شده به‌طور جداگانه در طول‌موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a و ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل b یادداشت و میزان کلروفیل a و b برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر نمونه با استفاده از روابط زیر به دست آمد:

$$\text{Chlorophyll a}= (19.3\times A663-086\times A645)V/100W \quad [۱]$$

$$\text{Chlorophyll b}= (19.3\times A645-3.6\times A663)V/100W \quad [۲]$$

که در آن‌ها V: حجم محلول صاف‌شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ)، A: جذب نور در طول‌موج موردنظر، W: وزن تر نمونه برحسب گرم هستند

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه دانکن در سطح ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

تعداد ردیف در بلال

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که عامل بیوچار و هم‌چنین اثر متقابل دوگانه بیوچار و قارچ، اثر معنی‌داری روی صفت تعداد ردیف در بلال دارد (جدول ۲). مقایسه میانگین اثرات متقابل کاربرد بیوچار و قارچ میکوریزا نشان داد که بیش‌ترین مقدار در سطح ۱۴ تن در هکتار بیوچار و عدم کاربرد قارچ میکوریزا با میانگین ۱۶/۰۰ حاصل شد و هم‌چنین کم‌ترین مقدار آن در سطح اول و دوم بیوچار و در هر دو با عدم کاربرد قارچ، با میانگین ۱۴/۶۶ به دست آمد (جدول ۵). نتایج نشان می‌دهد که سطح ۱۴ تن در هکتار بیوچار بیش‌ترین تأثیر را بر این صفت داشته است اما بدون کاربرد قارچ میکوریزا، هرچند اختلاف معنی‌داری بین حالت عدم استفاده و استفاده از قارچ میکوریزا مشاهده نشد.

تعداد دانه در ردیف

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تیمارهای تنش، بیوچار، قارچ و اثر متقابل دوگانه تنش و قارچ روی صفت تعداد دانه در ردیف اثر معنی‌داری داشته است (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که در کاربرد بیوچار، بیش‌ترین مقدار تعداد دانه در ردیف، در سطح ۱۴ تن در هکتار بیوچار با میانگین ۴۵/۶۶ به دست آمد و کم‌ترین مقدار آن در سطح عدم کاربرد بیوچار (شاهد) مشاهده شد (جدول ۴) و در مورد اثر متقابل دوگانه تنش و قارچ نیز بیش‌ترین مقدار در آبیاری نرمال و عدم استفاده از قارچ به میزان ۴۶/۱۶ مشاهده شد (جدول ۵).

تعداد دانه در بلال

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که عوامل بیوچار، اثرات متقابل دوگانه تنش و بیوچار، تنش و قارچ و هم‌چنین اثر متقابل سه‌گانه تنش، بیوچار و قارچ روی صفت تعداد دانه در بلال اثر معنی‌داری داشته‌اند (جدول ۳). بیش‌ترین تعداد دانه در بلال در مورد اثرات متقابل سه‌گانه، با میانگین ۷۶۲ عدد در حالت آبیاری نرمال، کاربرد سطح ۱۴ تن در هکتار بیوچار و عدم استفاده از قارچ حاصل شد. هم‌چنین در همین مورد در حالت تنش، بیش‌ترین مقدار با میانگین ۷۵۷ عدد در سطح سوم بیوچار و عدم کاربرد قارچ حاصل گردید که اختلاف معنی‌داری با بیش‌ترین مقدار در حالت آبیاری نرمال نداشت (جدول ۶).

وزن هزار دانه

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که عوامل تنش، قارچ میکوریزا و اثرات متقابل دوگانه تنش و بیوچار و هم‌چنین اثرات متقابل سه‌گانه تنش، بیوچار و قارچ روی صفت وزن هزار دانه اثر معنی‌داری داشته است (جدول ۳). بیش‌ترین مقدار در حالت اثر متقابل سه‌گانه با میانگین ۲۹۸ گرم در

حالت آبیاری نرمال، سطح عدم کاربرد بیوچار (شاهد) و کاربرد قارچ میکوریزا مشاهده شد و هم‌چنین در همین مورد در حالت تنش، بیش‌ترین مقدار در حالت کاربرد سطح ۷ تن در هکتار بیوچار و عدم کاربرد قارچ به مقدار ۲۸۷ گرم مشاهده شد (جدول ۶).

جدول ۳. تجزیه واریانس صفات مورد آزمون

Table 3. Analysis of variance of tested traits

			Mean Squares		میانگین مربعات	
S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	تعداد ردیف در بلال row number per ear	تعداد دانه در ردیف seed number per row	تعداد دانه در بلال seed number per ear	وزن هزار دانه 1000-seed Weight (gr)
Replication	تکرار	2	0.25	26.39	10205.06	2147.82
Stress (S)	تنش	1	0.02 ^{ns}	85.33 **	17480.33 ^{ns}	4119.21 *
Error a	خطای الف	2	1.08	0.89	1281.39	137.71
Biochar (B)	بیوچار	3	2.57 **	6.58 *	12234.52 **	457.61^{ns}
B*S	تنش× بیوچار	3	085 ^{ns}	4.83 ^{ns}	763.66 *	725.89 *
Error b	خطای ب	12	0.36	1.81	719.95	196.7
Mycorrhiza (M)	قارچ	1	0.02 ^{ns}	36.75 *	7650.75 ^{ns}	1431.61 **
S*M	تنش× قارچ	1	0.52 ^{ns}	27.0 *	1241.33 *	23.77 ^{ns}
B*M	بیوچار× قارچ	3	0.40 **	7.91 ^{ns}	4734.97 ^{ns}	95.27^{ns}
M*B*S	تنش× بیوچار× قارچ	3	0.90 ^{ns}	11.83 ^{ns}	7493.88 *	306.64**
Error c	خطای ج	16	0.31	5.81	2099.14	50.38
CV (%)	ضریب‌تغییرات (٪)		*3.71*	*5.39*	*6.79*	*2.58*

Table 3. Continued

جدول ۳. ادامه

			Mean Squares		میانگین مربعات	
S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	عملکرد نهایی دانه seed yield (Ton/ha)	محتوی کلروفیل a Chlorophyll a (mg/gr)	محتوی کلروفیل b Chlorophyll b (mg/gr)	شاخص برداشت harvest index (%)
Replication	تکرار	2	16.12	0.05	0.001	43.0
Stress (S)	تنش	1	28.34^{ns}	0.34**	0.01 ^{ns}	0.6 ^{ns}
Error a	خطای الف	2	1.59	0.001	0.001	17.55
Biochar (B)	بیوچار	3	4.56 **	0.02 ^{ns}	0.002 ^{ns}	40.88 *
B*S	تنش× بیوچار	3	1.6^{ns}	0.03 ^{ns}	0.001 ^{ns}	1.85^{ns}
Error b	خطای ب	12	0.49	0.02	0.001	7.07
Mycorrhiza (M)	قارچ	1	9.9**	0.005 ^{ns}	0.0003 ^{ns}	63.5 *
S*M	تنش× قارچ	1	4.57*	0.01 ^{ns}	0.001 ^{ns}	57.4*
B*M	بیوچار× قارچ	3	1.53^{ns}	0.01 ^{ns}	0.001 ^{ns}	3.09^{ns}
M*B*S	تنش× بیوچار× قارچ	3	5.36**	0.01 ^{ns}	0.0003 ^{ns}	22.4^{ns}
Error c	خطای ج	16	0.86	0.01	0.001	11.45
CV (%)	ضریب‌تغییرات (٪)		*7.49*	*11.31*	*11.43*	*18.59*

*، ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطوح آماری ۵، ۱ درصد و ns: غیرمعنی دار

*, ** andns: significant at the 5%, 1% levels and non –significant, respectively.

جدول ۴. مقایسه میانگین‌های تنش و قارچ میکوریزا روی صفات مورد آزمون

Table 4. Mean comparison of Stress and Mycorrhiza of tested traits

تیمار Treatment	تعداد ردیف در بلال row number per ear	تعداد دانه در ردیف seed number per row	تعداد دانه در بلال seed number per ear	وزن هزار دانه (gr) 1000-seed weight	عملکردنهایی دانه (ton/ha) seed yield	محتوی کلروفیل a (mg.gr) Chlorophyll a	محتوی کلروفیل b (mg.gr) Chlorophyll b	شاخص برداشت ٪ harvest index
(**S1**)†	15.08 a	43.37 b	654 a	265 b	11.66 a	1.05 b	0.3 a	18.31a
(**S2**)	15.04 a	46.04 a	692 a	283 a	13.19 a	1.22 a	0.32 a	18.09 a
(**B1**)	14.75 b	44.08 b	650 b	273 ab	11.99 b	1.11 a	0.29 b	18.41 ab
(**B2**)	14.83 b	44.16 b	655 b	282 a	12.41 b	1.2 a	0.33 a	16.97 b
(**B3**)	14.91 b	45.66 a	720 a	274 ab	13.30 a	1.11 a	0.31 ab	20.70 a
(**B4**)	15.75 a	44.91 ab	669 b	267 b	12.0 b	1.1 a	0.31 ab	16.71 b
(**M1**)	15.08 a	43.83 b	661 a	269 b	11.97 b	1.12 a	0.31 a	17.05 b
(**M2**)	15.04 a	45.58 a	686 a	280 a	12.88 a	1.14 a	0.31 a	19.35 a

میانگین‌هایی که در هر ستون، دارای حرف مشترک میباشند، براساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی داری ندارند.

† S1: آبیاری محدود شده؛ S2: آبیاری نرمال؛ B1: بدون بیوچار؛ B2: ۷ تن بیوچار در هکتار؛ B3: ۱۴ تن بیوچار در هکتار؛ B4: ۲۱ تن بیوچار در هکتار؛ M1: بدون قارچ؛ M2: قارچ میکوریزا

S1: water stress, S2: irrigation (control), B1: non application of biochar (control), B2: 7 ton biochar per hectare, B3: 14 ton biochar per hectare, B4: 21 ton biochar per hectare, M1: non application of mycorrhiza fungus (control), M2: application of mycorrhiza fungus.

Means in each column, followed by similar letters are not significant different at the%5 probability level using Duncan's Multiple range test.

عملکرد نهایی دانه

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که عوامل بیوچار، قارچ، اثرات متقابل دوگانه تنش و قارچ و نیز اثرات متقابل سه‌گانه تنش، بیوچار و قارچ اثر معنی‌داری روی صفت عملکرد نهایی دانه داشته‌اند (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در مورد اثرات متقابل سه‌گانه تنش، بیوچار و قارچ میکوریزا، بیش‌ترین مقدار با میانگین ۱۴/۶۹ تن در هکتار در حالت آبیاری نرمال، کاربرد سطح ۱۴ تن در هکتار بیوچار و نیز عدم کاربرد قارچ حاصل شده است و هم‌چنین در حالت تنش نیز بیش‌ترین مقدار عملکرد نهایی دانه با میانگین ۱۳/۸۷ تن در هکتار با کاربرد سطح ۱۴ تن در هکتار بیوچار و عدم کاربرد قارچ مشاهده شد که این میزان اختلاف معنی‌داری باحالت آبیاری نرمال نداشت (جدول ۶).

محتوای کلروفیل a

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تنها عامل تنش بر صفت محتوای کلروفیل a اثر معنی‌داری داشته است (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که در مورد تیمار آبیاری اختلاف معنی‌داری وجود داشته و بیش‌ترین مقدار کلروفیل a در حالت آبیاری نرمال به میزان ۱/۲۲ میلی‌گرم بر گرم مشاهده شد و در حالت تنش این مقدار با کاهش، به ۱/۰۵ میلی‌گرم بر گرم رسیده است (جدول ۴).

محتوای کلروفیل b

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که هیچ‌یک از عوامل، اثر معنی‌داری بر صفت محتوای کلروفیل b نداشته‌اند (جدول ۳).

شاخص برداشت

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تنها عوامل بیوچار، قارچ و نیز اثرات متقابل دوگانه تنش و قارچ بر شاخص برداشت اثر معنی‌داری داشته است (جدول ۳). بیش‌ترین مقدار شاخص برداشت در مورد کاربرد بیوچار، در سطح ۱۴ تن در هکتار بیوچار با میانگین ۲۰/۷ درصد و کم‌ترین آن در کاربرد سطح ۲۱ تن در هکتار بیوچار به میزان ۱۶/۷۱ درصد مشاهده شد (جدول ۴). هم‌چنین در مورد اثرات متقابل دوگانه، بیش‌ترین مقدار در حالت تنش و عدم کاربرد قارچ میکوریزا با میانگین ۲۰/۵۵ درصد مشاهده شد (جدول ۵).

بحث

عامل تنش در این پژوهش موجب کاهش صفات تعداد دانه در ردیف، عملکرد نهایی دانه و محتوای کلروفیل a در ذرت

شد. تحقیقات پیشین نیز نشان داده‌اند که تنش خشکی موجب کاهش رشد و درنهایت عملکرد کمی و کیفی گیاهان زراعی می‌شود (Reddy et al., 2004). ازآنجاکه قارچ میکوریزا به جذب منیزیم در گیاه کمک می‌کند، می‌تواند سنتز کلروفیل را افزایش دهد (Giri and Mukerji, 2004). دمیر (Demir, 2004) نشان داد که در فلفل تلقیح شده با قارچ ((*Glomus intraradices*) به‌طور معنی‌داری نسبت کلروفیل a و b در مقایسه با گیاهان غیرمیکوریزایی افزایش یافت.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود استفاده از قارچ میکوریزا اثر مطلوبی بر عملکرد نهایی دانه نداشته است. گزارش‌های متفاوتی در مورد اثرات بیوچار بر زیست‌توده و کلونیزاسیون ریشه گیاهان توسط قارچ‌های اکتو و اندو موجود است. به‌عنوان نمونه، طبق گزارش (Ishii and Kadoya, 1994) و (Matsubara et al., 2002) افزودن بیوچار موجب بهبود سلامتی گیاه از طریق افزایش فراهمی عناصر غذایی و مقاومت در برابر پاتوژن‌ها می‌شود، درحالی‌که برخی دیگر از گزارش‌ها کاهش معنی‌داری در کلونیزاسیون ریشه، طول هیف‌ها و دسترسی به فسفر را نشان می‌دهد (Warnock et al., 2010). هم‌چنین تحقیقات نشان می‌دهد که بیوچار ممکن است موجب تحریک فعالیت قارچ Arbuscular Mycorrhizal خاک (Ishii and Kadoya, 1994) و درنتیجه می‌تواند نقش مهمی در چرخه عناصر غذایی ایفا کند (Lambers et al., 2008).

جدول ۵. مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل دوگانه تنش، قارچ میکوریزا و بیوچار، قارچ میکوریزا روی صفات مورد آزمون

Table 4. Mean comparision of intraction of stress- Mycorrhiza and biochar- Mycorrhiza of tested traits

تیمار Treatment	تعداد ردیف در بلال row number per ear	تعداد دانه در ردیف seed number per row	تعداد دانه در بلال seed number per ear	وزن هزاردانه 1000-seed weight (gr)	عملکردنهایی دانه seed yield (ton/ha)	محتوی کلروفیل a Chlorophyll a (mg.gr)	محتوی کلروفیل b Chlorophyll b	شاخص برداشت harvest index (%)
S1 * B1†	15 bc	41.83 d	628 c	254 c	10.76 e	1.1 bcd	0.294 b	18.97 abc
S1 * B2	14.66 c	43.33 cd	635 c	282 ab	12.01 ab	1.06 bcd	0.307 b	17.27 bc
S1 * B3	15.5 ab	44.66 bc	693 b	266 bc	12.43 bc	1.02 cd	0.3 b	20.39 ab
S1 * B4	15.16 bc	43.66 c	661 bc	258 c	11.43 de	1.01 d	0.29 b	16.61 c
S2 * B1	14.5 c	46.33 ab	672 b	293 a	13.22 b	1.12 bcd	0.3 b	17.85 abc
S2 * B2	15 bc	45 abc	675 b	282 ab	12.81 bc	1.34 a	0.35 a	16.67 c
S2 * B3	16 a	46.66 a	746 a	282 ab	14.18 a	1.21 ab	0.33 ab	21.02 a
S2 * B4	14.66 c	46.16 ab	677 b	276 ab	12.57 bc	1.2 abc	0.32 ab	16.81 c
S1*M1	15.16 a	45.0 a	683 a	271 c	12.42 b	1.07 b	0.30 ab	20.55 a
S1*M2	15 a	41.75 b	626 b	259 d	10.89 c	1.02 b	0.29 b	16.07 b
S2*M1	14.91 a	46.16 a	689 a	288 a	13.34 a	1.21 a	0.32 a	18.4 ab
S2*M2	15.16 a	45.91 a	696 a	279 b	13.05 ab	1.22 a	0.33 a	18.03 ab
B1*M1	14.66 c	45.33 ab	665 b	276 bc	12.32 b	1.13 ab	0.3 ab	19.56 ab
B1*M2	14.83 bc	42.83 b	635 b	271 cd	68.31 ab	1.09 ab	0.28 b	17.26 abc
B2*M1	14.66 c	44.5 b	652 b	291 a	69.52 ab	1.16 ab	0.32 ab	18.76 abc
B2*M2	15.0 bc	43.83 b	657 b	273 bc	79.76 a	1.24 a	0.34 a	15.18 c
B3*M1	16.0 a	47.5 a	760 a	280 b	68.69 ab	1.15 ab	0.31 ab	21.25 a
B3*M2	15.5 ab	43.83 b	680 b	268 cd	62.49 b	1.08 ab	0.31 ab	20.16 a
B4*M1	14.83 bc	45 ab	667 b	271 cd	69.44 ab	1.14 ab	0.32 ab	17.82 abc
B4*M2	15.0 bc	44.83 ab	671 b	263 d	76.72 a	1.07 b	0.3 ab	15.59 bc

میانگین هایی که در هر ستون، دارای حرف مشترک میباشند، براساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی داری ندارند.

S1: آبیاری محدود شده؛ S2: آبیاری نرمال؛ B1: بدون بیوچار؛ B2: ۷ تن بیوچار در هکتار؛ B3: ۱۴ تن بیوچار در هکتار؛ B4: ۲۱ تن بیوچار در هکتار؛ M1: عدم کاربرد قارچ میکوریزا M2: کاربرد قارچ میکوریزا

S1: water stress, S2: irrigation (control), B1: non application of biochar (control), B2: 7 ton biochar per hectare, B3: 14 ton biochar per hectare, B4: 21 ton biochar per hectare, M1: non application of mycorrhiza fungus (control), M2: application of mycorrhiza fungus.

Means in each column, followed by similar letters are not significant different at the%5 probability level using Duncans Multiple range test.

جدول ۶. مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل دوگانه تنش، بیوچار و بیوچار، قارچ میکوریزا روی صفات مورد آزمون

Table 5. Mean comparision of intraction of stress-Biochar-Mycorrhiza of tested traits

تیمار Treatment	تعداد دانه در بلال seed number per ear	وزن هزار دانه (gr) 1000-seed weight	عملکرد نهایی دانه (ton/ha) seed yield
S1*B1*M1†	686 abcd	264 efg	12.19 cd
S1*B1*M2	570 e	244 e	9.33 e
S1*B2*M1	615 de	287 ab	11.85 d
S1*B2*M2	655 bcd	276 cde	12.17 cd
S1*B3*M1	757 a	273 cde	13.87 ab
S1*B3*M2	630 cde	259 fg	10.99 d
S1*B4*M1	675 bcd	260 fg	11.78 d
S1*B4*M2	648 cde	256 gh	11.09 d
S2*B1*M1	644 cde	288 ab	12.46 bcd
S2*B1*M2	700 abc	298 a	13.99 ab
S2*B2*M1	690 abcd	295 a	13.67 abc
S2*B2*M2	660 bcd	269 def	11.94 d
S2*B3*M1	762 a	287 ab	14.69 a
S2*B3*M2	730 ab	278 bcd	13.67 abc
S2*B4*M1	660 bcd	282 bc	12.54 bcd
S2*B4*M2	694 abcd	270 cdef	12.60 bcd

میانگین هایی که در هر ستون، دارای حرف مشترک میباشند، براساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی داری ندارند.

† S1: آبیاری محدود شده؛ S2: آبیاری نرمال؛ B1: بدون بیوچار؛ B2: ۷ تن بیوچار در هکتار؛ B3: ۱۴ تن بیوچار در هکتار؛ B4: ۲۱ تن بیوچار در هکتار؛ M1: بدون قارچ M2: قارچ میکوریزا

S1: water stress, S2: irrigation (control), B1: non application of biochar (control), B2: 7 ton biochar per hectare, B3: 14 ton biochar per hectare, B4: 21 ton biochar per hectare, M1: non application of mycorrhiza fungus (control), M2: application of mycorrhiza fungus.

Means in each column, followed by similar letters are not significant different at the%5 probability level using Duncans Multiple range test.

قارچ‌های مایکوریزا تحمل گیاهان زراعی را به عوامل نامساعد محیطی مانند تنش‌های خشکی و شوری افزایش می‌دهند (Zarea et al., 2014) اما با توجه به استفاده از بیوچار در این بررسی و برهمکنش آن با قارچ میکوریزا تا حدود زیادی اثرات مثبت این قارچها مشاهده نشد؛ اما در حالت کاربرد تنهای قارچ میکوریزا، اثر معنی‌داری از این قارچها مشاهده می‌شود. در پژوهشی که توسط یعقوب‌نیا و همکاران (Yaaghoobian et al., 2012) انجام شد، گزارش شده است که تلقیح همزمان قارچ‌های پیریفورموسپورا ایندیکا و گلوموس موسه، عملکرد دانه و بیولوژیک گندم را به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش داد. یافته‌های سایر پژوهشگران نیز نشان داد که قارچ‌های میکوریزا و شبه میکوریزا از طریق همزیستی با ریشه گیاهان موجب افزایش معنی‌دار رشد و عملکرد آن‌ها می‌شود. در همین رابطه در مطالعه‌ای در عربستان مشخص شد که کاربرد بیوچار و میکوریزا موجب بهبود طول انجام هوایی، ریشه، سطح برگ و تعداد انشعابات در نخودفرنگی شد. (Abeer et al., 2018).

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که با افزایش میزان مصرف بیوچار، برخی صفات مورد آزمون کاهش یافتند که این موضوع با یافته‌های پژوهشی که عنوان داشت یک کاهش خطی در عملکرد دانه ذرت با افزایش میزان کاربرد بیوچار قابل مشاهده است (Gaskin et al., 2010)، مطابقت دارد. در تحقیق ما، با افزایش میزان کاربرد بیوچار از ۱۴ تن در هکتار، این کاهش قابل‌مشاهده است. در همین رابطه، مطالعه‌ای که روی سویا انجام شد نشان داد که در مقادیر زیاد کاربرد بیوچار موجب کاهش رشد و عملکرد شد و از طرف دیگر کاربرد مقادیر کم بیوچار اثرات مثبتی بر سویا داشت (Gavili et al., 2019a). در این مورد به نظر می‌رسد که می‌بایست آزمایش‌ها و بررسی‌های بیشتری بر روی خاک، میزان مصرف کودها و غیره انجام شود. همان‌طور که از نتایج این پژوهش نیز برمی‌آید، کاربرد بیوچار می‌تواند اساساً موجب بهبود حاصلخیزی خاک و تولید گیاهان زراعی شود که با یافته‌های (Abbaspour et al., 2019; Abeer et al., 2018; Lehmann and Joseph, 2015) مطابقت دارد. بیوچار احتمالاً موجب افزایش بهره‌وری برنج آپلند در لائوس شد، اما اثرات بستگی به وضعیت حاصلخیزی خاک و مدیریت کود دارد (Asai et al., 2009). پژوهش‌های متعددی نشان داده‌اند که کاربرد بیوچار برای بهبود عملکرد گیاهان زراعی، به‌ویژه در خاک‌های فقیر ازلحاظ حاصلخیزی مفید است (Zhang et al., 2012; van Zwieten et al., 2010). تأثیر بیوچار بر عملکرد گیاهان زراعی در خاک‌های غنی از مواد غذایی هنوز نامشخص است و نیازمند بررسی‌های بیشتری، به‌ویژه در شرایط مزرعه دارد.

بیوچار از طریق تجزیه گرمایی هر نوع زیست‌توده تحت شرایط بدون اکسیژن یا حضور جزئی آن‌که در اصطلاح پیرولیز گفته می‌شود، به دست می‌آید. فرآیند پیرولیز و تبدیل بیوچار به ماده آلی منجر به تبدیل حدود ۵۰ درصد کربن فعال ذخیره‌شده در بافت‌های گیاهی به منبعی از کربن

آلی می‌شود (Lehmann and Joseph, 2015)، لذا افزایش عملکرد دانه ذرت که در این پژوهش مشاهده شد، می‌تواند ناشی از این مکانیسم باشد.

افزایش عملکرد گیاهان زراعی از شناخته‌شده‌ترین ویژگی‌های کاربرد بیوچار است؛ هرچند، عکس‌العمل گیاهان زراعی بسیار متغیر و تحت تأثیر نوع بیوچار، میزان مصرف، ویژگی‌های خاک و شرایط اقلیمی است (Lehmann and Joseph., 2015). در مطالعه‌ای سه‌ساله که توسط فنگ و همکاران (Feng et al., 2014) انجام شد، گزارش کردند که عملکرد یک‌ساله هر دو گیاه ذرت تابستانه یا گندم زمستانه افزایش معنی‌داری با کاربرد بیوچار مشاهده نشد، اگرچه عملکرد تجمعی در طی چهارفصل با استفاده از بیوچار به‌طور قابل‌توجهی بیشتر بود. علاوه بر این، بررسی‌های بلندمدت بیشتری باید برای پایش اثرات کاربرد بیوچار بر عملکرد گیاهان زراعی انجام شود. بررسی ۴۴ مقاله منتشرشده در مورد بیوچار نشان داده است که در حدود نیمی از مقالات، کاربرد بیوچار عملکرد زراعی را بهبود می‌بخشند، درحالی‌که باقی مقالات دارای اثر منفی و یا بی‌تأثیر بر عملکرد بودند (Spokas et al., 2012).

مطالعات نشان داده‌اند که بیوچار موجب افزایش در سطح ویژه، CEC، تخلخل خاک (Thies and Riling, 2009)، ظرفیت نگهداری آب (WHC)، نگهداری عناصر غذایی (Glaser et al., 2002; Lehmann and Rondon, 2006; Yamato et al., 2006) و تأثیر آهکی (Rondon et al., 2007; Liu et al., 2013)، عمدتاً مسئول بهبود بهره‌وری گیاهان زراعی می‌باشند. بیوچار نه‌تنها باعث بهبود تولید گیاهان زراعی تحت شرایط نرمال می‌شود، بلکه عملکرد گیاهان زراعی را تحت شرایط بد مانند شوری و خشکی نیز افزایش می‌دهد (Thomas et al., 2013; Haider et al., 2013) که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج کلی آزمایش نشان داد که تحت شرایط تنش، بیوچار ازنظر آماری اثر معنی‌داری بر روی عملکرد نهایی دانه ذرت داشته، به این ترتیب که میزان عملکرد دانه با میانگین ۱۳/۸۷ تن در هکتار و در حالت عدم استفاده از قارچ و سطح کاربرد ۱۴ تن در هکتار بیوچار حاصل شد که نشان‌دهنده افزایش ۱۲ درصدی عملکرد نهایی دانه تحت شرایط تنش، نسبت به حالت عدم کاربرد بیوچار در حالت تنش است.

به‌طورکلی به نظر می‌رسد تلقیح گیاهان به قارچ میکوریزا در شرایط تنش موجب بهبود عملکرد فیزیولوژیکی و تحمل گیاه به تنش شد اما در حالت استفاده هم‌زمان و اثرات متقابل با بیوچار، این حالت مشاهده نگردید که احتیاج به بررسی‌های بیشتری در زمینه خاک، عناصر غذایی، سویه مورداستفاده قارچ و غیره دارد.

در مورد سایر صفات مورد آزمون نیز مشاهده شد که در حالت تنش و استفاده از سطوح بیوچار به‌ویژه سطح ۱۴ تن در هکتار آن بیش‌ترین بازده و کارایی را با توجه به اقلیم، شرایط خاک و اکولوژیک منطقه موردمطالعه داشته است و موجب افزایش این صفات گردیده است؛ که این نتایج نوید استفاده مؤثر از بیوچار را در شرایط خشک کشور و حتی شرایط خاک‌های شور می‌دهد و می‌تواند با تحقیقات گسترده‌تر و کامل‌تر نسبت به استفاده کارا از بیوچار امیدوار بود. این تحقیق می‌تواند شروع این راه و جهت‌گیری جدید برای بهبود عملکرد گیاهان زراعی در شرایط تنش‌های محیطی باشد.

منابع

Abbaspor, F., Asghari, H.R., Rezvanimoghadam P., Abbasdokht, H., Shabahang, J., Bigbabai, A., 2018. Effects of biochar on soil fertility and water use efficiency of black seed (*Nigella sativa* L.) under water stress conditions. Iranian Journal of Field Crops Research. 17(1), 39-52. https://doi.org/10.22067/gsc. v17i1.63344. [In Persian with English Summary].

Abeer, H., Ashwani, K., Abeer, M., Al-Dbass, Abdulaziz, A., Alqarawi, Al-Bandari Fahad Al-Arjani, Garima Singh, Muhammad, F., Elsayed, F., 2018. Arbuscular mycorrhizal fungi and biochar improves drought tolerance in chickpea. Saudi Journal of Biological Sciences. 1-11. DOI: 10.1016/j.sjbs.2018.11.005.

Arnon, A. N., 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal. 23, 112-12.

Asai, H., Samson, BK., Stephan, H.M., Songyikhangsuthor, K., Homma, K., Kiyono,

Y., Inoue, Y., Shiraiwa, T., Horie, T., 2009. Biochar amendment techniques for upland rice production in northern Laos 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. Field Crops Research. 111, 81–84.

Azcon, R., El-Atrach, F., 1997. Influence of arbuscular mycorrhizae and phosphorus fertilization on growth, nodulation and N2 fixation in (*Medicago sativa*) at four salinity levels. Biology and Fertility of Soils. 24, 81-86.

Bai, C., He, X., Tang, H., Zhao, L., 2009. Soil spatial distribution of AMF, glomalin and soil enzymes under the canopy of *Astragalus adsurgens* Pall. In the Mu Us sandland, China. Soil Biology and Biochemistry. 41, 941-947.

Brodowski, S., John, B., Flessa, H., Amelung, W., 2006. Aggregate-occluded black carbon in soil. European Journal of Soil Science. 57, 539–546.

Clough, T.J., Condron, L.M., 2010. Biochar and the nitrogen cycle: introduction. Journal of Environmental Quality. 39, 1218–1223.

Copetta A., Lingua, G., Berta, G., 2006. Effects of three AM fungi on growth, distribution of glandular hairs, and essential oil production in *Ocimum basilicum* L. var. Genovese. Mycorrhiza. 16, 485-494.

Duku, M.H., Gu, S., Hagan, E.B., 2011. Biochar production potential in Ghana—a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 15, 3539–3551.

Evans, L.T., Dunstone, R.L., 1970. Some physiological aspects of evolution in wheat. Australian Journal of Biological Sciences. 23, 725-741.

FAO. 2000. Tropical Maize, Improvement and production. Food and Agriculture Organization of the Unite Nations Production and Protection Series. No. 28. 363pp.

Feng, L., Gui-tong, L., Qi-mei, L., Xiao-rong, Z., 2014. Crop yield and soil properties in the first 3 years after biochar application to a calcareous soil. Journal of Integrative Agriculture. 13, 525–532.

Forouhar, M., Khorassani, R., Fotovat, A., Shariatmadari, H., Khavazi, K., 2018. The Influence of Different Biochars and Their Feedstock on Some Soil Chemical Properties and Nutrients over the Time in a Calcareous Soil. Journal of Water and Soil. 32(2), 299-312. https://doi.org/10.22067/jsw.v32i2.66097. [In Persian with English Summary].

Gaskin, J.W., Speir, R.A., Harris, K., Das, K.C., Lee, R.D., Morris, L.A., Fisher, D.S., 2010. Effect of peanut hull and pine chip biochar on soil nutrients, corn nutrient status, and yield. Agronomy Journal. 102, 623–633.

Gavili, E., Moosavi, A. A., Zahedifar, M., 2019b. Integrated effects of cattle manure-derived biochar and soil moisture conditions on soil chemical characteristics and soybean yield. Archives of Agronomy and Soil Science. (In press) https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1576864.

Gavili, E., Moosavi, A. A., Kamgar Haghighi, A. A., 2019a. Does biochar mitigate the adverse effects of drought on the agronomic traits and yield components of soybean? Industrial Crops & Products. 128, 445–454.

Gavili, E., Moosavi, A. A., Moradi Choghamarani, F., 2018. Cattle manure biochar potential for ameliorating soil physical characteristics and spinach response under drought. Archives of Agronomy and Soil Science. 64, 1714-1727.

Glaser, B., Lehmann, J., Zech, W., 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal— a review. Biology and Fertility of Soils. 35, 219–230.

Haider, G., Koyro, H.W., Azam, F., Steffens, D., Müller, C., Kammann, C., 2014. Biochar but not humic acid product amendment affected maize yields via improving plant-soil moisture relations. Plant Soil. 395, 141–157

Ishii, T., Kadoya, K., 1994. Effects of charcoal as a soil conditioner on citrus growth and vesicular arbuscular mycorrhizal development. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science. 63,529–535.

Jeffery, S., Verheijen, F.G.A., van der Velde, M., Bastos, A.C., 2010. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. Agriculture Ecosystems & Environment. 144, 175–187.

Joseph, S.D., Camps-Arbestain, M., Lin, Y., Munroe, P., Chia, C.H., Hook, J., Van Zwieten, L., Kimber, S., Cowie, A., Singh, B.P., Lehmann, J., Foidl, N., Smernik, R.J., Amonette, J.E., 2010. An investigation into the reactions of biochar in soil. Australian Journal of Soil Research. 48, 501–515.

Kafi, M., Stewart, W., Borland, A., 2003. Carbohydrate and proline contents in leaves, roots and apices of salt tolerant and salt–sensitive wheat cultivars 1. Russian Journal of Plant Physiology. 50, 155-162.

Kolb, S.E., Fermanich, K.J., Dornbush, M.E., 2009. Effect of charcoal quantity on microbial biomass and activity in temperate soils. Soil Science Society of America Journal. 73, 1173–1181.

Laird, D.A., Fleming, P., Davis, D.D., Horton, R., Wang, B., Karlen, D.L., 2010. Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil. Geoderma. 158, 443–449.

Lambers, H., Raven, J.A., Shaver, G.R., Smith, S.E., 2008. Plant nutrient-acquisition strategies change with soil age. Trends in Ecology & Evolution. 23, 95–103.

Lehmann, J., Joseph, S., 2015. Biochar for environmental management: an introduction. In: Lehmann J, Joseph S (eds) Biochar for environmental management: science, technology and implementation, 2nd edn. Earthscan from Routledge, London, pp 1–1214.

Lehmann, J., Rondon, M., 2006. Bio-char soil management on highly weathered soils in the humid tropics. In: Uphoff, N., Ball, A.S., Herren, H., Husson, O., Laing, M., Palm, C., Pretty, J., Sanchez, P., Sanginga, N., Thies, J. (eds.), Biological Approaches to Sustainable Soil sSystems. Taylor & Francis, Boca Raton, pp. 517–530.

Lehmann, J., 2007. Bio-energy in the black. Frontiers in Ecology and the Environment. 5, 381-387.

Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyangi, J., Grossman, J., O'Neill, B., Skjemstad, J. O., Thies, J., Luizão, F. J., Petersen, J., Neves, E. G., 2006. Black carbon increases cation exchange capacity in soils. Soil Science Society of America Journal. 70, 1719-1730.

Liu, X.Y., Zhang, A.F., Ji, C.Y., Joseph, S., Bian, R.J., Li, L.Q., Pan, G.X., Paz- Ferreiro, J., 2013. Biochar's effect on crop productivity and the dependence on experimental conditions—a meta-analysis of literature data. Plant Soil. 373,583–594.

Matsubara YI, Hasegawa N, Fukui H. 2002. Incidence of Fusarium root rot in asparagus seedlings infected with arbuscular mycorrhizal fungus as affected by several soil amendments. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science. 71, 370–374.

Mau, A.E., Utami, S.R., 2014. Effects of biochar amendment and arbuscular mycorrhizal fungi inoculation on availability of soil phosphorus and growth of maize. Journal of Degraded and Mining Lands Management. 1, 69–74.

Moradi, N., Rasouli-Sadaghiani, M. H., Sepehr, E., 2017. Effect of Biochar Types and Rates on Some Soil properties and Nutrients Availability in a Calcareous Soil. Journal of Water and Soil. 31(4), 1232-1246. https://doi.org/10.22067/jsw.v31i4.61298. [In Persian with English Summary].

Mubshar, H., Muhammad, F., Ahmad, N., Abdullah, M., Zakaria, M., Salem, S., Ume, A., Young, S., 2016. Biochar for crop production: potential benefits and risks. Soils Sediments. Published online: 1-32.

Najafian, S.h., Zahedifar, M., 2018. Productivity, essential oil components and herbage yield, of Sweet basil as a function of biochar and potassium-nano chelate. Journal of Essential Oil Bearing Plants. 21, 886 – 894.

Nikravesh, I., Boromand Nasab, S., Naseri, A., Soltani Mohammadi, A., 2018. Investigating the effect of wheat straw biochar and hydrochar on physical properties of a sandy loam soil. Journal of Water and Soil. 32(2), 387-397. hppt://doi.ogr/10.22067/jsw.v32i2.70445. [In Persian with English Summary].

Pandit, N.R., Mulder, J., Elizabeth Hal, S., Martinsen, V., Schmidt, H. P., Corneliseen, G., 2018. Biochar improves maize growth by alleviation of nutrient stress in a moderately acidic low-input Nepalese soil. Science of the total Environment. 625, 1380-1389.

Peoples, M.B., Beilharz, V.C., Waters, S.P. Simpson, R.J., Dalling, M.J., 1980. Nitrogen redistribution during grain growth in wheat (*Triticum aestivum* L.). Planta. 149, 241-251.

Porras-Soriano, A., Soriano-Martín, M. L., Porras-Piedra, A., Azcón, R., 2009. Arbuscular mycorrhizal fungi increased growth, nutrient uptake and tolerance to salinity in olive trees under nursery conditions. Journal of Plant Physiology. 166, 1350-1359.

Powlson, D.S., Whitmore, A.P., Goulding, K.W.T., 2011. Soil carbon sequestration to mitigate climate change: a critical re-examination to identify the true and the false. European Journal of Soil Science. 62, 42–55.

Rajabi, H., Safarzadeh Shirazi, S., Ronaghi, A. M., 2016. Effect of pistachio residue biochar prepared at two different temperatures and different nitrogen and phosphorus levels on some macronutrients concentration and spinach growth. Journal of Water and Soil. 31(2), 557-569. https://doi.org/ 10.22067/jsw.v31i2.5406. [In Persian with English Summary].

Reddy, A.R., Chaitanya, K.V., Vivekanandan, M., 2004. Drought Induced Response of Photosynthesis and Antioxidant Metabolism in Higher Plant. Journal of Plant Physiology. 161, 1189-1202.

Rondon, M.A., Lehmann, J., Ramírez, J., Hurtado, M., 2007. Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions. Biology and Fertility of Soils. 43:699–708

Singh, B.P., Hatton, B.J., Singh, B., Cowiea, A.L., Kathuria, A., 2010. Influence of biochars on nitrous oxide emission and nitrogen leaching from two contrasting soils. Journal of Environmental Quality. 39, 1224–1235.

Spokas, K.A., Cantrell, K.B., Novak, J.M., Archer, D.A., Ippolito, J.A., Collins, H.P., Boateng, A.A., Lima, I.M., Lamb, M.C., McAloon, A.J., Lentz, R.D., Nichols, K.A., 2012. Biochar: a synthesis of its agronomic impact beyond carbon sequestration. Journal of Environmental Quality. 41, 973–989.

Tadayyoun, M. R., Emam, Y., 2009. Cultural management under drought stress. National Drought Seminar, Issues and Mitigation, 13-15 May, College of Agriculture, Shiraz University, PP. 156-171. [In Persian].

Thies, J., Rillig, M.C., 2009. Characteristics of biochar: biological properties. In: Lehmann, J., Joseph, S. (eds.), Biochar for environmental management: science and technology. Earthscan, London, pp. 85–105.

Thomas, S.C., Frye, S., Gale, N., Garmon, M., Launchbury, R., Machado, N., Melamed, S., Murray, J., Petroff, A., Winsborough, C., 2013. Biochar mitigates negative effects of salt additions on two herbaceous plant species. Journal of Environmental Management. 129, 62–68.

Van Zwieten, L., Kimber, S., Morris, S., Chan, K.Y., Downie, A., Rust, J., Joseph, S., Cowie, A., 2010. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. Plant Soil. 327, 235-246.

Yaghobian, E., Perdashti, H., Mohammadi gol tapeh, A., Faysi Asli, V., Esfandiyari, E., 2012. Investigation of dryland wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Azar 2) plants response to symbiosis with arbuscular mycorrhiza and mycorrhiza like fungi under different levels of drought stress. Agroecology. 1, 63-73. [In Persian with English Summary].

Yamato, M., Okimori, Y., Wibowo, I.F., Anshori, S., Ogawa, M., 2006. Effects of the application of charred bark of *Acacia mangium* on the yield of maize, cowpea and peanut and soil chemical properties in south Sumatra, Indonesia. Soil Science and Plant Nutrition. 52, 489–495.

Zahedifar, M., 2017. Sequential extraction of zinc in the soils of different land use types as influenced by wheat straw derived biochar. Journal of Geochemical Exploration. 182 (2017), 22–31.

Zarea, M.J., Alikhani, H., Mohammadi Goltapeh, E., Ghalavand, A., 2014. Application of Mycorrhizal Fungi in Sustainable Agriculture and Saline, Dry Soil. Jahad Daneshgahi Tehran Press. 296 p. [In Persian]

Zhang, A., Bian, R., Pan, G., Cui, L., Hussain, Q., Li, L., Zheng, J., Zheng, J., Zhang, X., Han, X., Yu, X., 2012. Effects of biochar amendment on soil quality, crop yield and greenhouse gas emission in a Chinese rice paddy: a field study of 2 consecutive rice growing cycles. Field Crops Research. 127,153–160.

University of Birjand

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences
Vol. 13, No. 4, pp. 1231-1243
Winter 2021
http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.2275.1583

Original article

Investigation of biochar and mycorrhizal symbiosis in reduction water stress in corn (*Zea mays* L.)

O.R. Sali[1], E. Zeidali[2], M.R. Ardakani[3], Z. Tahmasebi[2], H.R. Dorri[4], M. Barary[2]

1. PhD Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran
2. Faculty member, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran
3. Department of Agronomy, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran
4. Agriculture and Natural Resources Research Center of Markazi Province, Arak, Iran

Received 23 February 2019; Accepted 17 April 2019

Abstract

In order to study evaluation the effects of biochar and mycorrhizal symbiosis application on reduction water stress in corn a field experiment was carried out a split split plot arranged in complete randomized blocks design with three replications in Agricultural Research Center of Markazi Province in 2014-2015 crop season, main plots consisted of two level of irrigation, water stress and irrigation (control), subplots consisted of four level of biochar, non-application of biochar (control), application of 7 ton biochar per hectare, 14 ton biochar per hectar, 21 ton biochar per hectare and sub-sub-plot consist of two level of mycorrhiza fungus, non-application of mycorrhiza fungus (control), application of mycorrhiza fungus, evaluated traits consist of row number per ear, seed number per row, seed number per ear, 1000-seed weight, seed yield, chlorophyll a and b and harvest index. Results showed that stress treatment seed number per row, 1000-seed weight and chlorophyll a had significant effect on this traits and in addition stress reduced the traits evaluated. Biochar treatment had only significant effect on 1000-seed weight. Mycorrhiza fungus treatment had significant effect on seed number per row, 1000-seed weight, seed yield and harvest index. Interaction effects of stress and biochar had significant effects on the seed number per ear and 1000-seed weight. So interaction effects of stress and fungus had a significant effect on seed number per row, seed number per ear, seed yield and harvest index and the interaction effects of biochar and fungus had a significant effects on row number per ear. Finally, the triple interaction effects had significant effects on seed number per ear, 1000-seed weight and seed yield. Finally, it was determined that application of third level biochar had the most impact on most traits tested.

Keywords: Chlorophyll Content, Drought, Harvest index, Yield components

*Correspondent author: Ehsan Zeidali; E-Mail: e.zeidali@ilam.ac.ir