دو فصلنامه‌ی علوم به زراعی گیاهی
دوره یازدهم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۴۰۰

ارزیابی تغییرات عملکرد و اجزای عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) در شرایط تغییر مقدار بیوچار و میکوریزا

سید محمد امین سبحانی[۱]،مجتبی علوی فاضل[۱]*محمد رضا اردکانی[۲]، عادل مدحج[۳]،شهرام لک[۱]

۱- گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
۲- گروه زراعت، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران
۳- گروه زراعت، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران

مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی:mojtaba_alavifazel@yahoo.com

(تاریخ دریافت:۲۵ تیرماه ۱۴۰۰، تاریخ پذیرش: ۱۴شهریورماه ۱۴۰۰)
(این مقاله مستخرج از رساله دکتری می باشد)

چکیده

همزیستی قارچی با افزایش جذب مواد معدنی و استفاده از بیوچار می‌تواند به عنوان یک اصلاح کننده خاک که سبب بهبود شرایط فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک شده و برای رشد و تغذیه گیاه مفید باشد. این پژوهش به‌منظور بررسی اثر مقادیر بیوچار و میکوریزا بر عملکرد و برخی صفات مورفوفیزیولوژیکی گندم طی سال‌های زراعی ۱۳۹۵-۹۶ و ۱۳۹۶-۹۷ در شهرستان زهره در جنوب غربی ایران انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل قارچ میکوریزا در دو سطح شامل عدم استفاده (شاهد) و استفاده از گونه *Glomus intradiaces* و مقادیر بیوچار حاصل از زیست توده گیاهی و ضایعات کشاورزی به عنوان اصلاح‌کننده خاک در سه سطح عدم کاربرد (شاهد) و کاربرد چهار و هشت تن در هکتار بود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر میکوریزا و بیوچار بر عملکرد زیستی، عملکرد دانه، شاخص برداشت و برخی اجزای عملکرد دانه از جمله تعداد سنبله در متر مربع و دانه در متر مربع معنی‌دار نبود. برهم‌کنش مقادیر متفاوت بیوچار و میکوریزا بر وزن هزار دانه، تعداد سنبلچه در سنبله، تعداد دانه در سنبلچه و درصد پروتین دانه در سطح یک درصد معنی‌دار شد. میزان پروتین دانه (هشت درصد) تعداد سنبلچه در سنبله (۱۱ درصد) و وزن هزار دانه (۱۶ درصد) نسبت به گیاهان شاهد افزایش معنی‌دار نشان داد. در این تحقیق کاربرد چهار تن در هکتار بیوچار در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا بیشترین میزان عملکرد (۲۳ درصد) را در مقایسه با شاهد داشت.

واژه های کلیدی : عملکرد دانه، عملکرد زیستی، شاخص برداشت، پروتئین دانه

مقدمه

گندم به عنوان یک محصول استراتژیک شناخته می‌شود. متوسط مصرف سرانه گندم در جهان ۱۳۰ کیلوگرم و در ایران ۲۲۰ کیلوگرم است (۱۶). مطالعات نشان می‌دهند که استفاده فشرده از کودهای شیمیایی عملکرد گیاهان زراعی را کاهش می‌دهد. این کاهش نتیجه اسیدی شدن خاک، کاهش فعالیت‌های بیولوژیک خاک، کاهش ویژگی‌های مطلوب فیزیکی خاک و عدم وجود ریزمغذی‌ها در کودها می‌باشد (۱۱). اصطلاح کود زیستی بیان کننده رابطه همزیستی به وجود آمده بین ریشه گیاه میزبان و قارچ‌های میکوریزی است که جایگزین مناسبی برای بخشی از کودهای شیمیایی مختلف هستند (۵). پال و پاندی (۲۴) با بررسی اثر قارچ میکوریزا بر رشد گیاه و عملکرد گیاه گندم گزارش نمودند، قارچ میکوریزا موجب افزایش ارتفاع بوته، طول ریشه، زیست توده ریشه، گره حاصل از همزیستی ریشه گیاهان با قارچ میکوریزا شد. به عبارتی قارچ میکوریزا باعث بهبود کیفیت خاک و رشد گیاه گندم گردید. نوری و همکاران (۲۳) با بررسی اثر میکوریزا و کود نیتروژن بر عملکرد کمی گندم گزارش کردند که سطوح مختلف نیتروژن و قارچ میکوریزا باعث افزایش تعداد دانه در سنبله، ارتفاع گیاه و عملکرد دانه شد. امرایی و همکاران (۱) گزارش کردند که قارچ‌های میکوریزا از طریق افزایش جذب عناصر غذایی و تولید هورمون‌های محرک رشد، موجب تولید مواد غذایی بیشتر، بهبود رشد گیاه، تولید ویتامین و در نتیجه افزایش عملکرد خواهد شد.

حبیبی و همکاران (۳) با بررسی تأثیر قارچ میکوریزا بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم گزارش دادند که تلقیح با سه گونه قارچ میکوریزا موفقیت آمیز بوده و در میان تیمارهای تلقیح قارچ، به‌طور میانگین ۱۵ تا ۳۲ درصد گره حاصل از همزیستی ریشه گیاهان با قارچ میکوریزا و هفت تا ۱۳ درصد وابستگی میکوریزایی مشاهده-و سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه، تعداد سنبله و تعداد دانه در بوته شد. استفاده از بیوچار به عنوان یک اصلاح کننده خاک سبب بهبود شرایط فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک می‌گردد. این ترکیب که در دمای زیاد به ذغال زیستی تبدیل می‌شود، دارای ساختار ریز و سطح ویژه بالاست. منافذ ریز بیوچار می‌تواند یک محیط امن را برای میکروب‌های مسئول تغییر شکل عناصر غذایی فراهم آورد و سبب کاهش زمان گردش و افزایش زیست فراهمی عناصر غذایی شود. بیوچار یک فرم پایدار ذغال تولید شده از حرارت دادن مواد طبیعی تحت دمای بالا و یا بدون اکسیژن است. بیوچار با تأمین بخشی از عناصر مورد نیاز گیاه موجب افزایش عملکرد گیاه می‌شود. مصرف بیوچار در اغلب موارد باعث بهبود ویژگی-های خاک شده هرچند در مواردی نیز آثار منفی آن مشاهده شده است (۴). واکاری و همکاران (۲۸) با کاربرد ۶۰ تن در هکتار بیوچار تولید شده از چوب جنگلی در دمای ۵۰۰ درجه سا نتیگراد، ۳۰ درصد افزایش در عملکرد گندم را گزارش کردند. سطح ویژه زیاد بیوچار سبب افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و جذب عناصر غذایی شده و همچنین در کنترل آلودگی مؤثر است. میزان آب جذب شده به طور مستقیم به سطح ویژه بیوچار بستگی دارد و به همین دلیل کاربرد بیوچار در خاک موجب جذب مقادیر زیادی آب می‌شود. با افزودن بیوچار به خاک به دلیل افزایش سطح ویژه خاک، در خاک‌های رسی از تجمع زیاد آب جلوگیری شده و هوادهی خاک‌های رسی افزایش می‌یابد و در خاک‌های شنی نیز ظرفیت نگهداری آب بیشتر شده و از هدر رفت آب جلوگیری می‌شود (۱۸). بیوچار دارای یک ساختمان منحصر به فرد فیزیکوشیمیایی است که منجر به افزایش باروری خاک و عملکرد محصولات به ویژه در خاک‌های تخریب یافته و سبب بهبود کیفیت و سلامت خاک و افزایش عملکرد محصول می‌شود (۱۵). جبرمدین و همکاران (۱۸) نیز به افزایش عملکرد گندم در تیمارهای حاوی بیوچار اشاره کرده و دلیل این امر را نگهداری بهتر آب و عناصر غذایی توسط بیوچار و تغذیه بهتر گیاه عنوان کردند. عباس و همکاران (۱) با بررسی بیوچار بر رشد گندم گزارش کردند که تیمارهای بیوچار باعث اصلاح ویژگی‌های خاک، کاهش سمیت کادمیوم در خاک، افزایش pH و افزایش ظرفیت نگهداری آب همراه با بهبود قابلیت دسترسی عناصر غذایی، باعث افزایش رشد و عملکرد گیاه می‌شود. در مطالعه‌ای پژوهش‌گران با بررسی اثر بیوچار بر عملکرد گندم گزارش نمودند که کاربرد بیوچار باعث افزایش ۵۶

درصدی عملکرد دانه، بهبود ویژگی‌های خاک و افزایش زیست‌توده گردید (۱۹). سان و همکاران (۲۶) با بررسی بیوچار (صفر، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ تن در هکتار) بر عملکرد دانه گندم گزارش نمودند که کاربرد بیوچار به میزان ۵ تا ۲۰ تن در هکتار موجب افزایش عملکرد دانه به میزان ۲/۹ تا ۱۹/۴ درصد شد. این تحقیق به منظور شناخت اثرات قارچ میکوریزا و بیوچار بر ویژگی‌های کمی و کیفی گندم به دلیل اهمیت تولید آن به عنوان یکی از مهمترین منابع غذای بشر صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در شهر زهره واقع در جنوب غربی ایران (استان خوزستان) با طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۱۸ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و ارتفاع ۳۴ متر از سطح دریا در دو سال زراعی ۱۳۹۵-۹۶ و ۱۳۹۶-۹۷ اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل قارچ میکوریزا (M) در دو سطح شامل عدم استفاده (M۱) و استفاده (M۲) از گونه (*Glomus intradiaces*) و مقادیر بیوچار حاصل از زیست توده گیاهی و ضایعات کشاورزی به عنوان اصلاح‌کننده خاک در سه سطح عدم کاربرد (B۱) و کاربرد چهار (B۲) و هشت (B۳) تن در هکتار بود. بیوچار مورد استفاده از ترکیب درختان جنگلی شمال ایران تهیه شده بود (جدول ۲). قبل از انجام آزمایش، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک از چندین نقطه زمین نمونه‌هایی به روش نمونه‌برداری تصادفی تهیه و پس از مخلوط کردن و تهیه نمونه مرکب، یک نمونه یک کیلوگرمی جهت تعیین برخی ویژگی‌های خاک به آزمایشگاه منتقل شد. نتایج آزمون خاک در جداول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات شیمیایی و برخی دیگر از ویژگی‌های مهم خاک زمین مورد آزمایش

کربن آلی (درصد)	EC (دسی زیمنس بر متر)	pH	درصد اشباع	عمق خاک (سانتی متر)	سال زراعی
۰/۸۴	۴/۱	۶/۹	۳۵/۷۴	۳۰-۰	۹۶-۱۳۹۵
۰/۹	۳/۹	۶/۸	۳۴/۸	۳۰-۰	۹۷-۱۳۹۶

جدول ۲ - ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بیوچار

عدد ید	۹۵۰ - ۱۱۰ میلی‌گرم بر گرم
مساحت سطح بر اساس استاندارد ASTM	۹۵۰-۱۱۰۰ متر مربع برگرم
عدد متیلن بلو	۱۵۰-۲۵۰ میلی‌گرم برگرم
میزان رطوبت	۸-۱۰ درصد
اسیدیته	۵/۸ درصد
خاکستر	۴-۶ درصد
کربن	۸۴-۸۸ درصد
دانه‌بندی	۰/۱ میلی‌متر و کمتر

عملیات تهیه زمین شامل شخم، ماخار، دو دیسک عمود برهم و ماله در اواخر مهرماه انجام شد. در بخش کاشت با استفاده از نهرکن دو جوی آب، یکی برای جریان ورودی آب در ابتدای کرت‌ها و دیگری برای خروج آب مازاد در انتهای کرت‌ها جهت جلوگیری از اختلاط آب تیمارها و انتقال ریزجانداران احداث گردید. هر بلوک دارای ۲۴ کرت و هرکرت

آزمایشی شامل هفت خط کشت به طول شش و عرض دو و نیم متر و فاصله ردیف‌های کاشت ۲۰ سانتی متر در نظر گرفته شد. بذر مصرفی براساس تراکم ۴۰۰ بوته در مترمربع و رقم چمران بود. برای تأمین عناصر غذایی مورد نیاز، نیتروژن خالص از منبع اوره (۴۶ درصد نیتروژن) به میزان ۱۵۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار، سوپرفسفات‌تریپل به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار و سولفات پتاسیم به مقدار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار مطابق آزمون خاک در کلیه تیمارها پیش از کشت استفاده شد. همچنین تمام بیوچار در تیمارهای قید شده قبل از کاشت در عمق ۲۰ سانتی‌متری با خاک مخلوط شد. جهت تلقیح نمودن بذور گندم با اسپورها، هیف‌ها و ریشه‌های میکوریزی به عنوان مایه تلقیح قارچی، ابتدا بذرها توسط محلول هیپوکلریت سدیم ۰/۵ درصد استریل گردید. این بذرها در آب مقطر استریل به مدت دو ساعت خیسانده و به دنبال آن به نسبت‌های مساوی تقسیم و درون سطل‌های جداگانه ریخته شد و سپس جهت باقی نگه داشتن اندام‌های فعال قارچ بر روی بذرها از محلول غلیظ ۲۰ درصد شکر و صمغ عربی استفاده شد. یک ساعت قبل از کاشت با مایع تلقیح بذور کاملا آغشته شدند و همراه تیمار شاهد (بدون تلقیح با اسپور) مورد استفاده قرار گرفتند، به طوری که ابتدا تیمار شاهد و سپس سایر تیمارها به ترتیب نقشه‌ی آزمایش کشت شدند. جهت اعمال تیمار میکوریزا گونه (*Glomus intradiaces*) از کود میکوریزای با تراکم اسپور ۱۰۵ عدد در هر گرم ماده حامل به میزان یک کیلوگرم در هکتار که زمان مصرف آن مصادف با زمان کاشت و به صورت تلقیح با بذر استفاده شد. اولین آبیاری پس از کاشت و پخش کود نیتروژن درون جوی‌ها انجام و سپس به طور مرتب برحسب نیاز گیاه هر هفت الی ۱۰ روز یکبار صورت گرفت. وجین علف‌های هرز به صورت دستی در دو مرحله در ابتدای ساقه‌رفتن و مرحله شکم خوش و بدون هیچ گونه علف‌کشی به منظور جلوگیری از اثر نامطلوب سموم علف‌کش روی ریزجانداران انجام شد. در زمان برداشت، از مساحت دو متر مربع هر کرت (از چهار خط میانی با حذف نیم‌متر از ابتدا و انتهای هر خط) گیاهان از سطح خاک برداشت و صفات عملکرد زیستی، عملکرد دانه ، شاخص برداشت ، تعداد سنبله و دانه در متر مربع ، وزن هزار دانه و درصد پروتین دانه اندازه‌گیری شد. جهت تعیین عملکرد زیستی، حدود ۵۰۰ گرم از گیاهان جدا و پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه در آون تهویه‌دار با دمای ۷۵ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند و بعد از خشک شدن وزن آن‌ها محاسبه شد (۸). به‌منظور تعیین عملکرد دانه، با انجام خرمن‌کوبی، دانه از کاه جدا و پس از توزین و تعیین درصد رطوبت دانه، عملکرد دانه با رطوبت ۱۲ درصد بر حسب گرم بر مترمربع محاسبه شد (۱). شاخص برداشت از تقسیم عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک، به صورت درصد، محاسبه شد (۸). برای تعیین تعداد سنبله در واحد سطح، تعداد کل سنبله‌های برداشت شده در سطح دو مترمربع (از چهار خط میانی) را مورد شمارش قرار داده و به عنوان تعداد سنبله در متر مربع در نظر گرفته شدند (۱). در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی از سطح برداشت هر کرت بطور تصادفی ۲۰ نمونه انتخاب و تعداد سنبلچه‌های هر سنبله شمارش و میانگین آن‌ها به عنوان تعداد سنبلچه در سنبله در نظر گرفته شد (۶). برای به دست آوردن تعداد دانه در سنبله، به طور کاملاً تصادفی ۲۰ سنبله را از کل سنبله‌های همان دو مترمربع (از چهار خط میانی) جدا و پس از جدا کردن همه دانه‌ها، آن‌ها را شمارش نموده و از تقسیم تعدد دانه بر تعداد سنبله‌ها، تعداد دانه در سنبله بدست آمد (۱۰). وزن هزار دانه پس از توزین ۲ مجموعه‌ی ۵۰۰ تایی با محاسبه‌ی ساده به دست آمد. در صورتی که اختلاف دو نمونه کمتر از شش درصد باشد مجموع به صورت وزن هزار دانه محاسبه می‌گردد (۱). به‌منظور اندازه‌گیری میزان پروتئین دانه ابتدا درصد نیتروژن دانه به وسیله دستگاه کجدال اندازه‌گیری و پس از تعیین درصد نیتروژن، عدد به دست آمده در ضریب ثابت ۶/۲۵ ضرب گردید تا درصد پروتئین دانه محاسبه شود (۱۰). تجزیه واریانس داده‌ها توسط نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۱) انجام و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح احتمال پنج و یک درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

عملکرد و اجزای عملکرد دانه

نتایج جدول (۳) نشان داد که اثر میکوریزا، بیوچار و برهمکنش آنها بر عملکرد دانه، عملکرد زیستی، شاخص برداشت و برخی اجزای عملکرد از جمله تعداد سنبله بر متر مربع و تعداد دانه در متر مربع معنی‌دار نبود.
کاربرد میکوریزا و بیوچار اثر معنی‌داری بر تعداد سنبلچه در سنبله نداشت ولی برهمکنش آن‌ها بر این صفت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). برهمکنش میکوریزا و بیوچار بر تعداد سنبلچه در سنبله نشان داد بیشترین تعداد سنبلچه در سنبله به تیمارعدم کاربرد میکوریزا و چهار تن در هکتار بیوچار به میزان ۱۰ عدد اختصاص یافت و کمترین تعداد سنبلچه در سنبله به تیمار عدم کاربرد میکوریزا و بیوچار به میزان هشت عدد اختصاص یافت (جدول ۴). به نظر می‌رسد کاربرد بیوچار و میکوریزا علاوه بر تولید هورمون‌های محرک رشد با افزایش وزن ریشه‌ای موجب افزایش دسترسی گیاه به عناصر غذایی، نگهداری بهتر آب و عناصر غذایی، افزایش رشد رویشی و افزایش سهم اندام‌های زایشی از جمله تعداد سنبلچه در سنبله شده است، که این نتایج با نتایج خلوتی و همکاران (۱۹)، یوللاه و همکاران (۲۷) و امرایی و همکاران (۱) مطابقت داشت. در این تحقیق می‌توان اظهار داشت علیرغم تاثیر مثبت بیوچار در اصلاح ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب و عناصر غذایی در خاک، به‌نظر می‌رسد مصرف مقادیر زیاد بیوچار به‌دلیل قدرت جذب بسیار قوی آن می‌تواند منجر به عدم توازن یون‌های خاک و اثرات منفی بر دسترسی گیاه به آب و عناصر غذایی داشته باشد و همین امر سبب کاهش تعداد سنبلچه در سنبله گردید. در این رابطه راب و همکاران (۲۵) به کاهش عملکرد و اجزای عملکرد گیاه در مقادیر بالای بیوچار اشاره نموده‌اند. آنان دلیل این امر را افزایش بیشتر نسبت C به N در تیمارهایی با میزان مصرف بیوچار زیادتر و غیرمتحرک شدن نیتروژن و آمونیوم عنوان کردند که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت.

نتایج تجزیه واریانس در جدول(۳) نشان داد که وزن هزار دانه تحت اثر تیمارهای میکوریزا و بیوچار قرار نگرفت ولی برهمکنش آنها بر وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند.

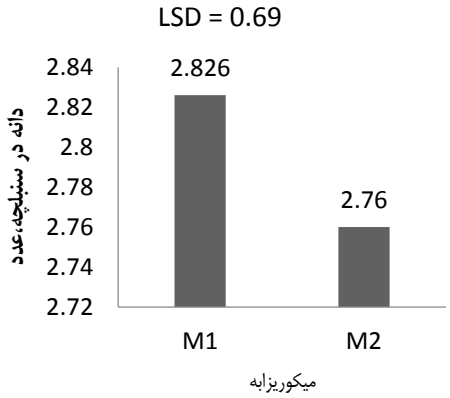
در بررسی برهمکنش میکوریزا و بیوچار نیز دامنه تغییرات میانگین‌های صفت وزن هزار دانه به ترتیب از مقدار ۲۸/۴۳ گرم در تیمار عدم مصرف میکوریزا و هشت تن در هکتار بیوچار تا مقدار این صفت در تیمار مصرف میکوریزا و ۸ تن در هکتار به مقدار ۲۳/۸۴ گرم متغیر بود (جدول۴). کاربرد بیوچار، به دلیل افزایش دسترسی عناصرغذایی در خاک و بهبود رشد و به‌دلیل دارا بودن سطح ویژه بالا از طریق افزایش عرضه مواد غذایی به گیاه منجر به بهبود وزن هزار دانه گردید که با نتایج گویلی و همکاران (۹) و اریف و همکاران (۱۴) مطابقت داشت. افزایش وزن هزار دانه در تیمارهای حاوی بیوچار و کود نیتروژن به‌دلیل تأثیر بیوچار در نگهداری عناصر غذایی و جلوگیری از آبشویی نیترات و در نتیجه دسترسی بهتر گیاه به عناصر غذایی می‌باشد. به‌طوری که مصرف همزمان بیوچار و کود شیمیایی نیتروژن بهتر از مصرف هر یک از این مواد به تنهایی بود. به‌علاوه اینکه بیوچار با بهینه کردن اسیدیته خاک شرایط مناسبی را برای جذب عناصر فراهم می‌کند (۱۵). این امر به منافذ و سطح ویژه بیشتر در بیوچار نسبت داده می‌شود که از هدررفت و آبشویی کودها جلوگیری کرده و به دستیابی بهتر گیاه برای عناصر غذایی و کاهش مصرف کودهای شیمیایی کمک می‌کند که با نتایج اریف و همکاران (۱۴) و چادهاری و همکاران، (۱۵) مطابقت داشت.

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد تعداد دانه در سنبلچه تحت اثر ساده تیمار میکوریزا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دارشد ولی برهمکنش بیوچار میکوریزا ومقادیر بیوچار براین صفت اثر معنی‌دار نداشت.

جدول۳- تجزیه واریانس اثر بیوچار ومیکوریزا بر عملکرد ، اجزای عملکرد و پروتین دانه گندم

منابع تغیر	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		عملکرد بیولوژیکی	عملکرد دانه	شاخص برداشت	تعداد سنبلچه در سنبله	تعداد سنبله	تعداد دانه در سنبلچه	تعداد دانه	وزن هزار دانه	پروتین دانه
سال	۱	۵۸۴۰۳۹^{ns}	۵۰۸۹۸۴^{ns}	۳۸۵۳/۹۶^{ns}	۳۲/۹۸۴۳^{ns}	۱۸۸۴/۳^{ns}	۰/۲۱۴۶۴^{ns}	۱۱۲۷۶۲۳۴۲^{ns}	۲۶۱۰/۰۱^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}
تکرار(سال)	۶	۳۰۳۴	۱۰۰۴	۱۶/۲۰	۰/۰۰۱۳	۷۲/۹	۰/۰۴۱۷۹	۷۲۴۳۸۶	۱/۹۲	۰/۰۱۰۰
میکوریزا(M)	۱	۴۴۸۹۰^{ns}	۱۵۸۱۸^{ns}	۱۵/۵۷^{ns}	۰/۰۲۷۶^{ns}	۳۲۱۴/۸^{ns}	۰/۰۵۱۷۸^{ns}	۷۸۴۵۲۵۴^{ns}	۲۸/۱۴^{ns}	۴/۶۳۴۵۳**
سال میکوریزا	۱	۲۳۴۲۳^{ns}	۱۶۵۹۸^{ns}	۵۵/۳۱^{ns}	۰/۰۶۸۳^{ns}	۸۳۳/۳^{ns}	۰/۰۰۰۷۰**	۷۲۳۵۰۸^{ns}	۷۵/۸۸^{ns}	۰/۰۰۰۰۰**
بیوچار(B)	۲	۲۳۸۶۷^{ns}	۲۰۶۷۴^{ns}	۱۶۹/۸۹^{ns}	۱۲/۱۹۲۰^{ns}	۱۶۶/۴^{ns}	۰/۰۷۱۵۳^{ns}	۲۳۰۰۳۶۹۷^{ns}	۷/۵۶^{ns}	۰/۱۳۹۶۶**
سال بیوچار	۲	۵۷۳۴^{ns}	۷۷۹۴^{ns}	۹۶/۰۳^{ns}	۰/۸۷۳۰^{ns}	۳۵۴/۱^{ns}	۰/۱۵۲۰۵^{ns}	۷۳۱۱۵۶۶^{ns}	۳/۳۲^{ns}	۰/۰۰۰۰۰**
میکوریزا بیوچار	۲	۳۵۶۴^{ns}	۱۶۹۹^{ns}	۲۴/۱۷^{ns}	۰/۴۲۴۰^{ns}	۴۷۶۳/۷^{ns}	۰/۰۴۳۹۱^{ns}	۵۰۵۶۶۵۴^{ns}	۱۶/۵۴^{ns}	۰/۰۲۶۸۴**
سال میکوریزا بیوچار	۲	۴۱۱^{ns}	۱۸۳۴^{ns}	۴۲/۴۷^{ns}	۰/۲۵۵۸**	۵۳۵/۷^{ns}	۰/۰۱۵۶۶^{ns}	۷۴۳۹۷۹ns	۳۷/۶۰**	۰/۰۰۰۰۰**
خطا	۳۰	۱۲۰۹	۵۰۶	۱۳/۴۶	۰/۰۰۲۲	۱۱۱	۰/۰۴۳۸۵	۵۹۱۵۵۹	۰/۹۴	۰/۰۰۷۱۲
ضریب تغییرات(درصد)		۴/۸	۸/۴	۱۰/۴۵	۰/۵	۲/۷	۷/۵۰	۷/۶	۳/۷۹	۰/۰۱

**، * : به‌ترتیب بیانگرمعنی دار در سطح احتمال یک و پنج درصد؛ $^{n.s.}$غیر معنی دار

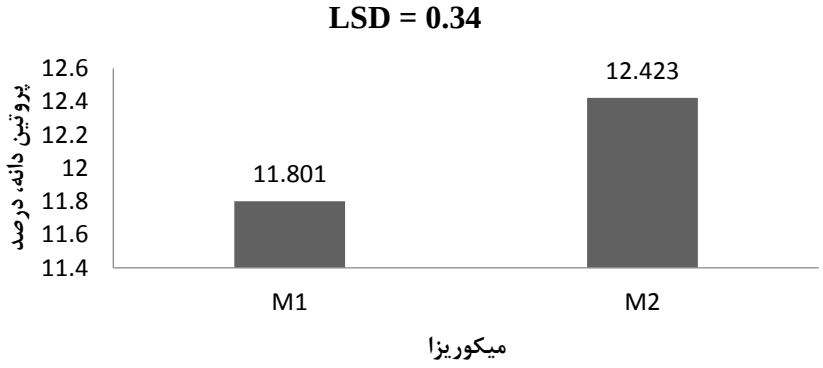


شکل۱ - اثر میکوریزا بر تعداد دانه در سنبلچه
(عدم استفاده (M۱) و استفاده (M۲) از میکوریزا)

بیشترین و کمترین تعداد دانه در سنبلچه با میانگین‌های ۴ و ۳ به‌ترتیب به تیمارهای کاربرد میکوریزا و ۴ تن در هکتار بیوچار و عدم کاربرد میکوریزا و بیوچار مربوط بود (جدول ۴). در یک تحقیق کاربرد میکوریزا و بیوچار با بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک، موجب تغییر ترکیبات علامت‌دهنده بین قارچ و گیاه و کاهش مسمومیت ترکیبات سمی سبب افزایش کلونیزاسیون ریشه گیاهان با قارچ‌های میکوریزی و در نتیجه افزایش فراهمی آب و عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان شده و این عوامل نیز در مجموع سبب افزایش اجزای عملکرد گیاه گردید (۶). رابطه امرایی و همکاران (۱) اظهار داشتند که همزیستی گیاه گندم با گونه‌های قارچ میکوریزا سبب استفاده گیاه از فسفر غیرقابل جذب خاک توسط هیف‌های قارچ شده که می‌تواند در تعداد دانه در سنبله گندم موثر باشد. در این رابطه حبیبی و همکاران (۳) و عباس و همکاران (۱۱) نیز به افزایش تعداد دانه در سنبلچه اشاره کرده و دلیل این امر را نگهداری بهتر آب و عناصر غذایی توسط بیوچار و تغذیه بهتر گیاه توسط میکوریزا عنوان کردند که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت.

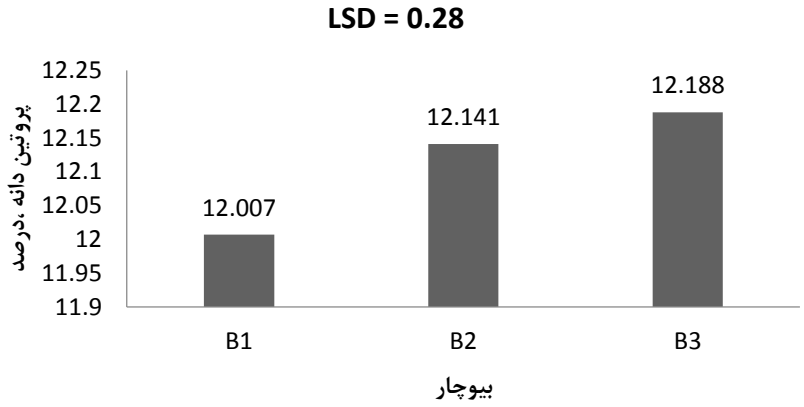
درصد پروتین دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده تیمارهای بیوچار و میکوریزا بر درصد پروتئین دانه گیاه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. بیشترین و کمترین درصد پروتئین به‌ترتیب به تیمارهای کاربرد میکوریزا و عدم‌مصرف میکوریزا مربوط بود. بیشترین میزان پروتئین دانه از مصرف هشت تن در هکتار بیوچار حاصل شد که نسبت به عدم مصرف بیوچار دو درصد افزایش نشان داد (شکل۳). که این امر با توانایی بیوچار در حفظ و نگهداری عناصر غذایی و جلوگیری از آبشویی آن‌ها مرتبط است (۲۰). در این پژوهش کاربرد میکوریزا با بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک، تغییر ترکیبات علامت‌دهنده بین قارچ و گیاه و کاهش مسمومیت ترکیبات سمی سبب افزایش کلونیزاسیون ریشه گیاهان با قارچ‌های میکوریزی و در نتیجه افزایش فراهمی آب و عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان می‌شود که این عوامل سبب افزایش درصد پروتئین می‌گردد (۱۵). نتایج سایر پژوهشگران نظیر جیریایی و همکاران (۲) مؤید نتایج این تحقیق بود.



شکل۲- اثر میکوریزا بر درصد پروتین دانه

(عدم استفاده (M۱) و استفاده (M۲) از میکوریزا)



شکل۳- اثر مقادیر بیوچار بر درصد پروتین دانه

جدول۴ - مقایسه میانگین برهمکنش تیمارهای میکوریزا و بیوچار بر صفات اندازه‌گیری شده

میکوریزا	بیوچار	تعداد سنبلچه در سنبله	پروتین دانه(درصد)	تعداد دانه در سنبلچه	وزن هزار دانه (گرم)
بدون	عدم کاربرد (شاهد)	**9/068**	**۱۲**	**2/85**	**24/87**
میکوریزا	۴ تن در هکتار	**10/26**	**۱۲**	**2/92**	**25/73**
(شاهد)	۸ تن در هکتار	**8/32**	**۱۲**	**2/69**	**27/64**
	عدم کاربرد (شاهد)	**8/77**	**۱۲**	**2/75**	**24/16**
میکوریزا	۴ تن در هکتار	**10/08**	**۱۴/۲۵**	**2/77**	**25/69**
	۸ تن در هکتار	**8/65**	**۱۲/۷۵**	**2/74**	**23/79**
LSD 5%		**۰/۰۹۵**	**۰/۸۵**	**0/402**	**2/49**

میانگین تیمارهایی که اختلافشان از عدد LSD بزرگتر است در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار دارند.

مطابق نتایج جدول ها از تجزیه رگرسیون چند متغییره خطی به روش گام به گام (جدول ۵) مشاهده شد که Y= عملکرد دانه تابعی از X۱= شاخص برداشت و X۲= عملکرد زیستی است که با وارد شدن این صفات به مدل رگرسیونی انجام شد، این مدل حدود ۹۸/۴۷درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه نمود. در این مدل وزن هزار دانه و تعداد سنبله در مترمربع بر روی عملکرد دانه بسیار تأثیرگذار بودند و به ترتیب بیشترین و کمترین تأثیر مستقیم و مثبت را، وزن هزار دانه و تعداد سنبله در مترمربع بر روی عملکرد دانه داشتند.

جدول ۵- تجزیه رگرسیون گام به گام جهت بررسی تاثیر اجزای عملکرد گندم بر عملکرد دانه گندم

منابع اضافه شده به مدل	مراحل رگرسیون گام به گام	
	مرحله ۱	مرحله ۲
عدد ثابت	-۶۵/۶۴	-۲۵۰/۱۳
شاخص برداشت	۹/۴۲**	۷/۲۴**
عملکرد زیستی		۰/۳۶۲**
ضریب تبیین (R^2)	۸۷/۳۲	۹۸/۴۷

نتایج جدول همبستگی بین عملکرد و اجزای عملکرد صفات اندازه گیری شده (جدول۶) نشان داد عملکرد دانه با تعداد دانه در مترمربع مثبت و معنی‌دار بود. وزن هزار دانه جزء دیگری از اجزای عملکرد بود که همبستگی آن با عملکرد دانه معنی دار شد و به نظر می رسد در بین اجزای عملکرد تعداد دانه در مترمربع و وزن هزار دانه سهم بیشتری در افزایش عملکرد دانه داشته اند. بین تعداد سنبله در مترمربع و تعداد دانه در سنبله همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد که با افزایش تعداد سنبله، بر تعداد دانه در سنبله نیز افزوده می‌شود. همچنین همبستگی معنی‌داری بین تعداد سنبله در واحد سطح با تعداد دانه در مترمربع و عملکرد نهایی دانه در گندم مشاهده شد.

جدول۶ - همبستگی بین عملکرد و اجزای عملکرد صفات اندازه گیری شده

	عملکرد بیولوژیکی	عملکرد دانه	تعداد سنبله در مترمربع	شاخص برداشت	تعداد سنبلچه در سنبله	تعداد دانه در سنبله	وزن هزار دانه
عملکرد دانه	۰/۷۹**						
تعداد سنبله در مترمربع	۰/۵۵*	۰/۶۰*					
شاخص برداشت	۰/۵۵*	۰/۹۳**	۰/۵۳ns				
تعداد سنبلچه در سنبله	۰/۵۴ns	۰/۶۵*	۰/۰۳n.s	۰/۶۲*			
تعداد دانه در سنبله	۰/۴۴ns	۰/۶۲*	۰/۲۶n.s	۰/۶۴*	۰/۴۶ns		
وزن هزار دانه	۰/۲۸n.s	۰/۴۷*	۰/۰۶n.s	۰/۴۷ns	۰/۰۸n.s	۰/۰۹n.s	
تعداد دانه در مترمربع	۰/۷۸**	۰/۹۲**	۰/۶۷**	۰/۸۵**	۰/۷۰**	۰/۶۸**	۰/۱۲n.s

*،** : به‌ترتیب بیانگرمعنی دار در سطح احتمال یک و پنج درصد؛ n.s.غیر معنی دار

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که مقادیر بیوچار وکاربرد میکوریزا به تنهایی و برهمکنش آنها بر عملکرد دانه، عملکرد زیستی و شاخص برداشت، معنی‌دار نبوده و این صفات را تحت تأثیر قرار نداد. از طرفی برهم‌کنش بیوچار و قارچ میکوریزی اثرهای مثبت و هم‌افزایی روی گیاه گندم و اجزا عملکرد داشتند. دلایل آن را می‌توان به اثرهای بلند مدت بیوچار بر بهبود ویژگی‌های خاک، کاهش تبخیر آب و نگهداری رطوبت در محیط ریشه و افزایش رشد ریشه‌های مویی دانست، که این امر امکان دسترسی گیاه به عناصر غذایی را افزایش می‌دهد. در رابطه با اجزای عملکرد مشاهده شد که بین هر کدام از این اجزاء رابطه نسبتاً قوی وجود دارد. همچنین نتایج نشان داد بیوچار به تنهایی نقش به‌سزایی در افزایش رشد گندم داشته بنابراین می‌توان اعلام کرد کاربرد بیوچار قادر است موجبات افزایش جذب آب و مواد معدنی را فراهم کرده و از این طریق باعث افزایش عملکرد-شود. این امر به منافذ و سطح ویژه بیشتر در بیوچار نسبت داده می‌شود که از هدررفت و آبشویی کودها جلوگیری کرده و به دستیابی بهتر گیاه برای عناصر غذایی کمک می‌کند. در این پژوهش استفاده از چهار تن در هکتار بیوچار، در بیشتر صفات اندازه‌گیری شده اثر بیشتری نسبت به هشت تن در هکتار داشت. بنابراین به نظر می‌رسد کاربرد مقدار متوسطی از بیوچار بدلیل ایجاد شرایط بهینه برای رشد گیاه، بهتر از مقادیر بالای آن باشد. تنظیم میزان pHو عناصر غذایی خاک در حد متعادل و در نتیجه رشد بهتر گیاه در تیمارهای مقدار متوسط بیوچار از دلایل بهتر بودن این تیمار نسبت به مصارف زیاد بیوچار در این تحقیق-است. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که کاربرد قارچ میکوریزا سبب کاهش صفات زایشی نظیر عملکرد دانه، تعداد سنبلچه، تعداد سنبله، تعداد دانه در سنبلچه و وزن هزار دانه نسبت به کاربرد بیوچار شد که این کاهش می‌تواند به دلیل اثر هم‌ناسازی (آنتاگونیستی) در رشد ریشه گندم ودر نهایت عملکرد واجزا عملکرد باشد.-از این رو با توجه به نتایج بدست آمده مصرف چهار تن در هکتار بیوچار به دلیل نقش مثبتی که بر ساختار ریشه و به دنبال آن افزایش عملکرد نشان داد می‌تواند قابل توصیه باشد.

منابع

۱-**امرایی، ب.، اردکانی، م. ر.، رفیعی، م.، پاکنژاد، ف.، رجالی، ف.** ۱۳۹۴. بررسی تاثیر کودهای زیستی (میکوریزا و ازتوباکتر) بر عملکرد و برخی خصوصیات زراعی ارقام مختلف گندم. مجله زراعت و اصلاح نباتات. ۱۲(۲): ۱۷-

۲- **جیریایی، م.، فاتح، ا.، و آینه‌بند، ا. ۱۳۹۳.** ارزیابی تأثیر مایکوریزا و آزوسپریلوم بر برخی خصوصیات ارقام گندم در مرحله استقرار. نشریه تولید گیاهان زراعی. ۷(۱): ۴۵-۶۲.

۳- **حبیبی، س.، مسکرباشی، م.، فرزانه، م. ۱۳۹۴.** تأثیر قارچ میکوریزا بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم تحت تأثیر کیفیت آب. نشریه پژوهشهای زراعی ایران. ۱۳(۳): ۴۷۱-۴۸۴.

۴- **خادم، ا.، رئیسی، ف.، بشارتی، ح. ۱۳۹۶.** مروری بر اثرات کاربرد بیوچار بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک. نشریه علمی ترویجی مدیریت اراضی. ۵(۱): ۱۳-۳۰.

۵- **رجالی، ف. ۱۳۸۴.** مروری اجمالی بر همزیستی میکوریزی مبانی و کاربردها. در ضرورت تولید صنعت کوددهی بیولوژیکی در کشور مؤسسه تحقیقات خاک و آب، مجموعه مقالات، چاپ دوم. تهران، ایران.

۶- **شهسواری، ن.، و صفاری، م. ۱۳۸۴.** اثر مقدار نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد سه رقم گندم در کرمان. مجله پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی، ۶۶: ۸۲-۸۷.

۷- **فتحی گردلیدانی، ا.، میرسیدحسینی، ح. ۱۳۹۴.** جنبه های مختلف اثرات بیوچار در اصلاح و بهبود کیفیت خاک. همایش بین المللی پژوهش های کاربردی در کشاورزی. خرداد ۱۳۹۴.

۸- **کوچکی، ع.، و سرمدنیا، غ. ح. ۱۳۸۷.** فیزیولوژیکی گیاهان زراعی (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۴۰۰ صفحه.

۹- **گویلی، ا.، موسوی، س. ع. ا.، و کامگارحقیقی، ع. ا. ۱۳۹۵.** اثر بیوچار کود گاوی و تنش رطوبتی بر ویژگی‌های رشد و کارایی مصرف آب اسفناج در شرایط گلخانه‌ای. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۳۰(۲): ۲۴۳-۲۵۹

۱۰- **ونایی، س.، سی‌وسه‌مرده، ع.، و حیدری، غ. ر. ۱۳۹۰.** اثرات تنش سرما در مرحله جوانه‌زنی و گیاهچه‌ای بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و برخی صفات فیزیولوژیکی در نخود (*Cicer arietinum*). مجله دانشگاه علوم پزشکی کرمان. ۳: ۵۲۴-۵۱۴.

۱۱- **یعقوبیان، ا.، قاسمی، س.، یعقوبیان، ی. ۱۳۹۶.** اثر تاریخ کاشت و کود اوره بر برخی صفات مورفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد گندم در شرایط آب و هوایی شهرستان هشترود. فصلنامه بوم‌شناسی گیاهان زراعی. ۱۳(۲): ۵۳-۶۴.

12- **Abbas, T., Rizwan, M., Ali, S., Rehman, M.Z., Qayyum, M.F., Abbas, F., Hannan, F., Rinklebe, J. and Ok, Y.S. 2017.** Effect of biochar on cadmium bioavailability and uptake in wheat (*Triticum aestivum* L.) grown in a soil with aged contamination. Ecotoxicology and Environmental Safety, 140, 37-47. doi: 10.1016/j. ecoenv.2017.02.028.

13- **Adediran, J. A., L. B. Taiwo, M. O. Akande, R. A. Sobulo, and O. J. Idowu. 2004.** Application of organic and inorganic fertilizer for sustainable maize and cowpea yields in Nigeria. Journal of Plant Nutrition. 27: 1163-1181.

14- **Arif, M., Asad, A., Umair, M., Munsif, F., Kawsar, A., Inamullah, M., Saleem, M. and Gohar, A. 2012.** Effect of biochar, FYM and mineral nitrogen alone and in combination on yield components of maize. Sarhad Journal of Agriculture, 28 (2): 191-195.

15- **Chaudhry, U.K., Shahzad, S., Naqqash, M.N., Saboor, A., Yaqoob, S., Abbas, M.S. and Saeed, F. 2016**. Integration of biochar and chemical fertilizer to enhance quality of soil and wheat crop (*Triticum aestivum* L.). Journal of Biodiversity and Environmental Sciences, 9 (1): 348-358.
16- **FAO. 2017.** Food outlook. Global Market Analysis. Available in: http://www. fao. foodoutlook. com. (accessed march 2016).
17- **Fiaz, K., Malik, S. A, Younis, U., Danish, S., Raza Shah, M. H. and Niaz, S. 2014.** Drought impact on Pb/Cd toxicity remediated by biochar in Brassica campestris. Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 14(4): 845-854.
18- **Gebremedhin, G.H., Haileselassie, B., Berhe, D., and Belay, T. 2015.** Effect of biochar on yield and yield components of wheat and post-harvest soil properties in Tigray, Ethiopia. Journal of Fertilizers and Pesticides. 6:158-162.
19- **Khalvati, M.A., Mozafar, A. and Schmidhalter, U. 2005.** Quantification of water uptake by arbuscular mycorrhizal hyphae and its significance for leaf growth, water relations, and gas exchange of barley subjected to drought stress. Plant Biology. Stuttgart. 7:706-712.
20- **Kathrin, A. 2016.** Biochar in soil: Effect on physical, chemical and hydrological properties in differently textured soils. M.Sc. thesis, Department of Agro ecology, AU.
21- **Mahmoud, E., Ibrahim, M., Abd El-Rahman, L., and Khader, A. 2019.** Effects of biochar and, phosphorus fertilizers on phosphorus fractions, wheat yield and microbial biomass carbon in *Vertic Torrifluvents.* Communications in Soil Science and Plant Analysis. 50(3): 362-372.
22- **Mosanaei, H., Ajamnorozi, H., Dadashi, M.R., Faraji, A., Pessarakli, M. 2017.** Improvement effect of nitrogen fertilizer and plant density on wheat (*Triticum aestivum* L.) seed deterioration and yield. Emirates Journal of Food and Agriculture. 2017. 29(11): 899-910.
23-**Noori, M., Mobasser, H. R., Rigi, Kh., Heidari, M., and Keykha, A. R. 2014.** Effects of mycorrhiza and nitrogen fertilizer on quantitative traits of wheat. Journal of Novel Applied Sciences. 3 (3): 295-297.
24-**Pal, A., and Pandey, S. 2017.** Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Plant Growth and Reclamation of Barren Soil with Wheat (*Triticum aestivum* L.) crop. International Journal of Soil Science. 12: 25-31.
25-**Rab, A., Rabnawaz Khan, M., Ul Haq, S., Zahid, S., Asim, M., Afridi, M.Z., Arif, M. and Munsif, F. 2016.** Impact of biochar on mungbean yield and yield components. Pure and Applied Biology, 5(3): 632-640.
26-**Sun, H. J., Zhang, H. C., Shi, W. M., Zhou, M. Y., Ma, X. F. 2019.** Effect of biochar on nitrogen use efficiency, grain yield and amino acid content of wheat cultivated on saline soil. Plant, Soil and Environment, 65(2): 83–89.
27-**Ullah, Z., Akmal, M., Ahmed, M., Ali, M., Zaib, A., Ziad, T. 2018.** Effect of biochar on maize yield and yield components in rainfed conditions. International Journal Agronomy Agricultur Research. 12(3): 46-51.
28-Vaccari, F., S. Baronti, E. Lugato, L. Genesio, S. Castaldi, F. Fornasier, and F. Miglietta. 2011. Biochar as a strategy to sequester carbon and increase yield in durum wheat. Europ. J. Agron. 34: 231-238.

Bi-Quarterly Journal of Plant Production
Vol. 11, Issue 1, Spring and Summer 2021

Evaluation of yield changes and yield components of wheat (Tritium aestivum L.) under changing conditions of biochar and mycorrhiza

Syed Mohammad Amin Sobhani[1], Mojtaba Alavi Fazel[1*], Mohammad Reza Ardakani[2], Adel Modhej[3], Shahram Lak[1]

1 - Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

2- Department of Agronomy, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran.

3- Department of Agronomy, Shoushtar Branch, Islamic Azad University, Shoushtar, Iran.

Corresponding Author; Email: : mojtaba_alavifazel@yahoo.com

(Received: 16 July 2021; Accepted: 5 September2021)

Abstract

Fungal symbiosis can be beneficial for plant growth and nutrition by increasing the absorption of nutrients and using biochar as a soil conditioner that improves the physical, chemical and biological conditions of the soil. Different amounts of biochar and mycorrhiza on yield and some morphophysiological traits in wheat were performed during the cropping years of 2016-2017 and 2017-17 in Zohreh city located in southwestern Iran. The experiment was performed as a factorial experiment in a randomized complete block design (CRBD) with four replications. mycorrhizal fungus at two levels including non-use (control) and use of Glomus intradiaces and biochar values from plant biomass and agricultural wastes as soil modifiers at three levels of non-use (control) and application 4 and 8 Tons per hectare. The results of analysis of variance showed that mycorrhiza and biochar at 1% level had no significant effect on biological yield, grain yield, harvest index and some components of grain yield such as number of spikes per square meter and grain per square meter. The interaction of different amounts of biochar and mycorrhiza on 1000-seed weight, number of spikelets per spike, numbers of seeds per spikelet and grain protein percentage were significant at the level of 1% probability. The results showed that the amount of grain protein (8%), number of spikelets per spike (11%) and 1000-seed weight (16%) showed a significant increase compared to control plants. the application of four tons per hectare of biochar in plants inoculated with mycorrhizal fungi had the best conditions and yield (23%).

***Keywords*: Grain yield, biological yield, harvest index, grain protein**