دو فصلنامه‌ی علوم به زراعی گیاهی
دوره یازدهم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۴۰۰

اثر کاربرد گونه‌های مختلف بیوچار و ریزجانداران حل کننده فسفات بر عملکرد دانه و صفات زراعی گلرنگ

ابراهیم حیدری [۱]،*خسرو محمدی [۱]،بابک پاساری [۱] ،اسعد رخزادی [۱]،یوسف سهرابی [۲]
۱- گروه زراعت، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، ایران
۲- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان

مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی:Khosromohammadi60@yahoo.com
(تاریخ دریافت:۱۴ آبان ماه ۱۴۰۰ ، تاریخ پذیرش: ۱۰ آذرماه ۱۴۰۰)

چکیده

به منظور بررسی اثر کاربرد گونه‌های مختلف بیوچار و ریزجانداران حل کننده فسفات بر عملکرد دانه و صفات زراعی گلرنگ آزمایشی در دو سال زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در بخشی از اراضی کشاورزی بخش سردرود شهرستان رزن استان همدان به صورت کرتهای خرد شده (اسپلیت پلات) بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. عامل اصلی در چهار سطح بیوچار شامل: بیوچار کود گاوی، بیوچار کاه و کلش گندم، بیوچار درخت و شاهد بود. عامل فرعی نیز در پنج سطح شامل کاربرد ریزجانداران حل کننده فسفات شامل دو گونه میکوریزا (***Glumus etunicatum*** ،***G. mossea***)، ***Bacillus lentus*** و ***Pseudomonas fluorescence*** و شاهد در نظر گرفته شد. نتایج مقایسه میانگین گویای آن است که بیشترین تعداد طبق در بوته (۸/۱۲ و ۸/۱۴) و وزن دانه (۲۴/۶۰ گرم) در تیمارهای تلقیح میکوریزایی و کم‌ترین در تیمار شاهد مشاهده شد، همچنین بیشترین تعداد طبق در بوته (۸/۲۶) و وزن دانه (۲۴/۱۸ گرم) نیز در تیمار بیوچار کود دامی بود. نتایج نشان داد که بالاترین عملکرد بیولوژیک (۵۴۵۴ کیلوگرم در هکتار) در تیمارهای تلقیح میکوریزایی حاصل گردید، همچنین کاربرد سایر باکتری‌های حل کننده فسفات نیز عملکرد بیولوژیک گلرنگ را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: باکتری حل کننده فسفات, عملکرد دانه, گلرنگ، میکوریزا.

مقدمه

ماده آلی کلید حاصلخیزی و باروری خاک است. برای حفظ سطح حاصلخیزی خاک، میزان ماده آلی آن باید در سطح مناسبی حفظ شود. متاسفانه سطح مواد آلی خاک‌های زراعی کشور عمدتاً کمتر از یک درصد است که این امر معلول مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی به ویژه کودهای حاوی نیتروژن و عدم استفاده از کودهای آلی در چند سال اخیر است (۲).گونه‌های مختلفی از کودهای آلی در سال‌های اخیر در مزارع کشاورزی مورد استفاده قرار گرفته اند که مهمترین آن‌ها کود دامی، کمپوست، ورمی کمپوست و کود سبز می‌باشد. یکی از نهاده‌های آلی که در چند سال اخیر استفاده از آن در برخی از نقاط دنیا رایج شده است بیوچار است. بیوچار زغال تهیه شده از زیست توده‌های گیاهی و ضایعات کشاورزی است که سوختن آن‌ها در حضور کم و یا عدم حضور اکسیژن انجام می‌شود (۸). طی این فرآیند نوعی سوخت زیستی به صورت مایع یا گاز هم تولید می‌شود که برای مصارف مختلف قابل استفاده است. بیوچار به عنوان ماده‌ای که سبب کاهش تصاعد کربن به اتسمفر می‌گردد و قابلیت کاهش پدیده گرمایش زمین را دارد توجه زیادی را به خود جلب کرده است (۵). این ماده به علت سرعت تجزیه بسیار کند نسبت به سایر مواد آلی ظرفیت زیادی برای کاهش گازهای گلخانه‌ای از قبیل دی اکسید کربن و متان که از ضایعات آزاد می‌شود را دارد. می‌تواند کربن را برای دوره‌های طولانی مدت در خاک ذخیره کند (۲۰). گزارش‌های متعددی در مورد اثر مثبت بیوچار بر ویژگی‌های بیولوژیک خاک نیز منتشر شده است (۲۰ و ۲۱).

در بین عناصر مورد نیاز گیاه، فسفر به عنوان یکی از سه عنصر اصلی مورد نیاز گیاه، سبب افزایش عملکرد می‌گردد، زیرا با تنظیم هورمون‌های گیاهی نقش مهمی در تقسیم سلولی دارد. از طرفی دیگر، فسفر نقش مهمی در تولید مواد فتوسنتزی داشته و سبب تولید انرژی در گیاه می‌شود. هر ساله بین ۷۵ الی ۹۰ درصد فسفر اضافه شده به خاک به دلیل آهکی بودن بیشتر خاک‌ها، وجود اسیدیته بالا، تنش خشکی، وجود بیکربنات در آب آبیاری و کمبود مواد آلی موجود در خاک و در اثر ترکیب با یون‌های کلسیم، آلومینیوم و آهن در خاک به صورت رسوب در می‌آید. از جمله راه‌های عملی برای استفاده از فسفر تجمع پیدا کرده در اراضی، به کارگیری کودهای زیستی فسفره می‌باشد. این نهادهای زیستی در واقع حاوی ریز جاندارانی هستند که از طریق فرآیندهای ویژه ای می‌توانند حلالیت ترکیبات فسفره رسوب کرده در خاک را افزایش دهند و بخشی از فسفر مور نیاز گیاه را تأمین نمایند. این ریز جانداران به دو گروه باکتری‌ها و قارچ‌های حل کننده فسفات و قارچ‌های میکوریزی تقسیم می‌شوند (۱۴).

توانایی سویه‌های مختلف باکتریایی برای انحلال فسفات‌های معدنی نامحلول همچون، تری کلسیم فسفات، دی کلسیم فسفات، دی هیدرو کسی آپانت و خاک فسفات، نشان می‌دهد که در میان انواع باکتری‌هایی که توانای حل کردن فسفات آن‌ها ثابت شده است، می‌توان جنس‌های سودوموناس و باسیلوس را نام برد. تولید اسیدهای آلی توسط باکتری‌های حل کننده فسفات‌های معدنی مشخص شده است و به عنوان مکانیسم اصلی انحلال فسفات‌های معدنی توسط باکتری‌های خاک به شمار می‌رود. مجموعه‌های میکوریزایی نیز از اجزاء بسیار مهم اثر گذار بر ساختار و عملکرد زیست بوم‌ها می‌باشند. شواهد بسیار زیادی وجود دارد که نشان‌گر این است که میکوریزا می‌توانند سبب تغییراتی در روابط آبی گیاه و بهبود تحمل به خشکی در گیاه میزبان شود (۲۳). از دیگر مزایای مایکوریزا، بالا بردن قابلیت استفاده ذخیره‌های فسفر خاک است که به راحتی قابل استفاده توسط ریشه نمی‌باشند. ترشح مواد آلی توسط مایکوریزا که سبب ایجاد ترکیبات محلول آلی و معدنی فسفر از طریق فعالیت آنیون‌هایی با وزن مولکولی کم همچون اگزالات می‌گردد از علت‌های افزایش جذب فسفر می باشد. سازوکارهای این افزایش جذب عبارتند از: جایگزینی فسفر جذب شده در سطح هیدروکسیدهای فلزی از طریق فرآیندهای تبادل یونی،

حل نمودن اکسیدهای فلزی که فسفر را جذب می‌نمایند، و افزایش حلالیت ترکیبات فلزی در محلول که در نتیجه فسفات‌های فلزی رسوب نمی‌نمایند. مکانیسم دیگری که از آن طریق بعضی از قارچ‌های مایکوریزا فسفر معدنی آزاد می‌نمایند، معدنی شدن مواد آلی می‌باشد. مایکوریزا قادر به تولید آنزیم فسفاتاز می‌باشد و فعالیت آن به اندازه ریشه مربوط می‌شود (۱۶). عبدالسلام و همکارن (۳) نیز گزارش گزارش کردند که کاربرد میکوریزا باعث بهبود فتوسنتز، جذب آب و عناصر غذایی و در نتیجه کاهش اثرات منفی تنش خشکی گردید. گزارش‌های متعددی در مورد اثر بیوچار بر رشد و عملکرد گیاهان گزارش شده است (۶ و ۱۹). در این مطالعه نیز برای اولین بار اثر کاربرد گونه‌های مختلف بیوچار و ریزجانداران حل کننده فسفات بر عملکرد دانه و صفات زراعی گلرنگ بررسی و ارزیابی خواهد شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در دو سال زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در بخشی از اراضی مزروعی بخش سردرود شهرستان رزن استان همدان با مختصات جغرافیایی $35°23′\ N,\ 49°1′\ E$ و ارتفاع ۱۶۷۸ متر از سطح دریا به اجرا درآمد. آب و هوای شهر رزن سرد و نیمه‌خشک است. متوسط دمای رزن در بهار ۱۶، در تابستان ۲۳، در پاییز ۱۰ و در زمستان ۲ درجه سانتی‌گراد است. حداکثر دما در تیر حدود ۴۴ درجه سانتی‌گراد و حداقل آن در بهمن ۱۳/۵- درجه سانتی‌گراد است. بارندگی سالانه به‌طور متوسط ۳۶۱/۷ میلی‌متر بوده و حداکثر روزانه، ۵۹ میلی‌متر است. به‌لحاظ وضعیت طبیعی و اقلیمی رزن یک شهر با آب و هوای سرد کوهستانی است که دارای تابستان‌های ملایم و زمستان‌های سرد می‌باشد. قبل از اجرای طرح آزمایشی به‌منظور تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، محل آزمایش، سه نمونه از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک تهیه و نمونه‌ها به‌صورت مرکب جهت تعیین ویژگی‌های خاک به آزمایشگاه ارسال گردید. نتایج حاصل از تجزیه خاک در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول۱: نتایج فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

سال	EC	pH	ماده آلی (درصد)	رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)	فسفر (میلی گرم در کیلوگرم)	پتاسیم (میلی گرم در کیلوگرم)
سال اول	۱/۲۹	۷/۳۹	۰/۵۲	۲۸/۵	۳۶/۷	۳۴/۸	۵/۲	۲۸۰
سال دوم	۱/۳۲	۷/۱۴	۰/۷۳	۲۸/۴	۳۴/۵	۳۶/۶	۵/۹	۲۹۳

این آزمایش به صورت کرتهای خرد شده (اسپلیت پلات) بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. عامل اصلی در چهار سطح بیوچار شامل: بیوچار کود گاوی، بیوچار کاه و کلش گندم، بیوچار درخت و شاهد بود. عامل فرعی نیز در پنج سطح شامل کاربرد ریزجانداران حل کننده فسفات شامل دو گونه میکوریزا (*Glumus etunicatum*، *G. mossea*)، *Bacillus lentus* و *Pseudomonas fluorescence* و شاهد می‌باشد. گونه‌های باکتریایی و قارچی از موسسه خاک و آب استان تهران تهیه شد. رقم مورد استفاده گلرنگ در این آزمایش رقم سینا بود که از سازمان جهاد کشاورزی استان همدان تهیه گردید. لاین ۵۳۷۵۹۸ PI -تحت نام سینا، در سال۱۳۸۶ به عنوان اولین رقم گلرنگ مناسب شرایط دیم معرفی شد. نتایج بررسی در هفت استان نشان داد: رقم سینا از نظر سازگاری با میانگین۱۳۴۷ کیلوگرم درهکتار، نسبت به ارقام شاهد زرقان و محلی اصفهان، عملکرد بهتری دارد. گلرنگ رقم سینا زودرس تر از شاهد، با تیپ

رشد بینابین، مقاوم به تنش خشکی، خاردار، دارای گل‌های زرد نارنجی، با متوسط ارتفاع بوته ۱۰۳/ ۵ سانتی متر و وزن هزار دانه ۳۴/۷ گرم است.

در این آزمایش فاصله بین هر تکرار ۵ متر و ابعاد هر کرت اصلی ۱۵ در ۴ متر بود. فاصله بین ردیف‌های کاشت ۵۰ سانتیمتر بود و فاصله روی ردیف ۱۰ سانتی متر. به‌منظور آماده سازی مزرعه آزمایش جهت کشت، زمین توسط گاوآهن برگردان دار شخم زده شد و سپس دو دیسک عمود بر هم جهت خرد کردن کلوخه‌های حاصل از شخم صورت پذیرفت و بعد از آن عملیات تسطیح زمین برای از بین بردن پستی و بلندی‌های حاصل از شخم و دیسک زده شد. جهت تلقیح بذرها با ریزجانداران، هنگام کاشت میزان یکسان (یک پیمانه) در کنار بذر قرار گرفت. در مراحل مختلف اجرای آزمایش مراقبت‌های لازم از قبیل آبیاری با فواصل منظم و مناسب و مبارزه با علف هرز صورت گرفت. در هر کرت دو خط کاشت در طرفین به عنوان حاشیه و خطوط میانی به عنوان خطوط هدف جهت نمونه‌برداری در طول اجرای طرح آزمایشی در نظر گرفته شدند.

برای حصول تراکم مناسب در مرحله چهار تا هشت برگی تنک انجام شد. سرعت رشد بوته‌های گلرنگ در مراحل اولیه رشد بسیار کند است. در این مرحله توسط انواع علف‌های هرز تهدید می‌شود. به این علت دو ماه ابتدای دوره رشد گلرنگ مرحله‌ی بحرانی به شمار می‌رود. عملیات مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت وجین دستی در طی چند نوبت انجام گرفت. علف‌های هرز غالب در مزرعه خرفه، تاج خروس و پیچک صحرایی بود. هم‌چنین در طول فصل رشد آفاتی نظیر مگس گلرنگ و به‌ویژه شته مشاهده گردید که با استفاده از سم دیازینون به نسبت دو در هزار مبارزه صورت گرفت. لازم به ذکر است در طی فصل رویشی در مزرعه آزمایشی، بیماری خاصی مشاهده نگردید.

برای تهیه بیوچار کود گاوی از دامداری تهیه شد هوا خشک گردید و سپس به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۶۵ درجه در آون قرار داده شد. کاه گندم خشک تهیه شده از رقم سرداری خرد شده و از الک دو میلیمتری عبور داده شد. چوب درخت بلوط خرد گردید و سپس از الک عبور داده شد و آماده قرارگیری در کوره الکتریکی شدند. از کوره الکتریکی Heraeus مدل k1252 و دمای ۳۵۰ تا ۵۰۰ درجه سانتیگراد به منظور تهیه بیوچار استفاده شد. سپس خواص بیوشمیایی در بیوچار تعیین شد (جدول ۲) و بر اساس بررسی منابع و موازنه فسفر میزان مصرفی بیوچار در هر کرت تعیین شد. بدین صورت که ۳/۸ تن بیوچار کود گاوی، ۱۰ تن بیوچار کاه گندم و ۶/۸ تن بیوچار بلوط در هکتار توصیه گردید و سپس میزان دقیق مصرف بر اساس مساحت هر کرت تعیین گردید. بیوچار همراه با دیسک در عمق ۱۰ الی ۱۵ سانتی متری خاک قرار گرفت.

جدول ۲- خواص شیمیایی بیوچارهای مورد استفاده در آزمایش

	خاکستر (درصد)	سلولز (درصد)	لیگنین (درصد)	فسفر (گرم بر کیلوگرم)	گوگرد (درصد)	pH	هیدروژن (درصد)	C:N	کربن (درصد)	نیتروژن (درصد)
کود گاوی	۳۸/۱۲	۱۹/۲۱	۹/۳۲	۰/۵۴۶	۰/۲۴	۸/۱۱	۴/۳۲	۲۱	۴۱/۷۲	۱/۹۲
کاه گندم	۱۱/۲۵	۴۲/۲۶	۱۳/۲۹	۰/۲۱۲	۰/۱۸	۹/۱۸	۳/۰۹	۵۱	۶۸/۲۵	۱/۳۲
چوب بلوط	۴۴/۳۵	۴۴/۳۲	۲۹/۲۱	۰/۳۱۰	۰/۰۹	۸/۴۱	۲/۵۱	۷۵	۷۰/۵۲	۰/۹۲

در طول فصل و پایان فصل رشد نسبت به اندازه گیری صفاتی از قبیل ارتفاع بوته، تعداد طبق اولیه، عملکرد بیولوژیک، وزن هزار دانه، عملکرد دانه در واحد سطح، تعداد دانه درطبق، درصد فسفر دانه، درصد روغن، عملکرد

روغن و شاخص برداشت محاسبه گردیدند. به منظور تعیین درصد روغن از روش سوکسله با به کار بردن حلال دی‌اتیل اتر استفاده شد.روش آزمون به این ترتیب بود که از هر کرت یک نمونه ۱۰ گرمی از دانه‌های خشک برداشت شده و برای خشک شدن کامل در آون به مدت هشت ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. نمونه‌های خشک شده به طور جداگانه در آسیاب خرد و پنج گرم از هر نمونه در کاغذ صافی عاری از چربی وزن شد. سپس کاغذ خوب بسته و در انگشتانه (لوله فشنگی تو خالی مخصوص) قرار گرفت. انگشتانه در قسمت استخراج کننده دستگاه قرار داده شد، بالن دستگاه که قبلاً دقیقاً وزن شده بود تا ۲/۳ حجمش از حلال دی‌اتیل اتر پر شد و در محل مخصوص خود بر روی دستگاه قرار گرفت. شیر آب مربوط به سرد کننده را باز کرده تا جریان مداوم آب سرد برقرار گردد. سپس بالن به وسیله هیتر آزمایشگاهی حرارت داده شد تا حلال دی اتیل اتر تبخیر شود. بعد از تبخیر، اتر اطراف انگشتانه حاوی نمونه را گرفته و نهایتاً چربی موجود در آن را در خود حل و مجدداً به بالن بر می‌گرداند. پس از پایان دوره آزمایش که چهار تا پنج ساعت برای هر نمونه زمان برد. ارلن دستگاه که مقدار روغن استخراج شده از نمونه در آن جمع شده بود در آون به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد برای تبخیر باقیمانده دی‌اتیل‌اتر قرار گرفت و پس از سرد شدن با استفاده از ترازوی با دقت ۰/۰۱ مجدداً وزن شد، تفاوت وزن اولیه بالن از وزن بعدی آن میزان چربی را در نمونه نشان می‌دهد .حاصل‌ضرب عملکرد دانه در هکتار در درصد روغن دانه به عنوان عملکرد روغن در هکتار ثبت گردید. فسفر دانه به روش کالریمتری و توسط دستگاه اسپکتروفتومتر یا کالریمتر با طول موج ۴۷۰ نانومتر اندازه گیری شد. اصول این روش اندازه‌گیری بر این پایه استوار است که یون‌های اورتوفسفات در محیط اسیدی با محلول مولیبدات وانادات کمپلکس زرد رنگ تولید می‌کنند، این کمپلکس در مولاریتهٔ کمتر از ۰/۲ اسید نیتریک تشکیل نمی‌شود و در صورتی که مولاریته محلول از ۱/۶ بیشتر باشد خیلی دیر تشکیل می‌گردد. مناسب‌ترین غلظت اسید نیتریک در محلول برای تشکیل رنگ ۰/۵ مولار است. این روش در مقایسه با روش‌های رنگ‌سنجی دیگر از حساسیت کمتری برخوردار است و برای نمونه‌های برگ گیاهان که درصد فسفر آن بالا است روش آسان و مناسبی است.

داده‌های حاصل از نمونه‌برداری‌ها برای سهولت در محاسبات ریاضی در صفحات برنامهٔ Excel ثبت گردید. برای تجزیه واریانس داده‌ها از نرم افزار SAS استفاده شد. تجزیه مرکب داده‌ها بر اساس آزمون یکنواختی واریانس‌ها و تست بارتلت صورت گرفت. مقایسه میانگین صفات نیز به روش LSD صورت گرفت و برای برهمکنش‌ها از برش دهی استفاده گردید. در نرم افزار Excel نمودارهای مربوطه رسم گردید.

نتایج و بحث

فسفر دانه

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد (جدول ۳) اثر نوع بیوچار و ریزجانداران حل کننده فسفات‌های نامحلول در سطح احتمال یک درصد و برهمکنش نوع بیوچار و نوع ریزجانداران در سطح احتمال پنج درصد بر درصد فسفر دانه معنی دار گردید. نتایج مقایسه میانگین داده‌های مربوط به درصد فسفر دانه مشخص کرد که در گیاهان تحت تیمار مصرف بیوچار کود گاوی بیشترین فسفر دانه در شرایط تلقیح گیاه با قارچ مایکوریزا حاصل گردید و گیاهان تلقیح شده با مایکوریزا نسبت به سایر تیمارهای تلقیح و عدم تلقیح به لحاظ فسفر دانه به طور معنی داری برتر بودند. این برتری در شرایط کاربرد بیوچار کاه و کلش گندم و در شرایط عدم کاربرد بیوچار نیز به وضوح قابل مشاهده بود (شکل ۱). قارچ‌های مایکوریزا جذب عناصر غذایی خاک به ویژه فسفر را افزایش می‌دهند. این قارچ‌ها باعث افزایش تولید فسفاتازها و افزایش جذب و سرعت انتقال فسفر از خاک به گیاه

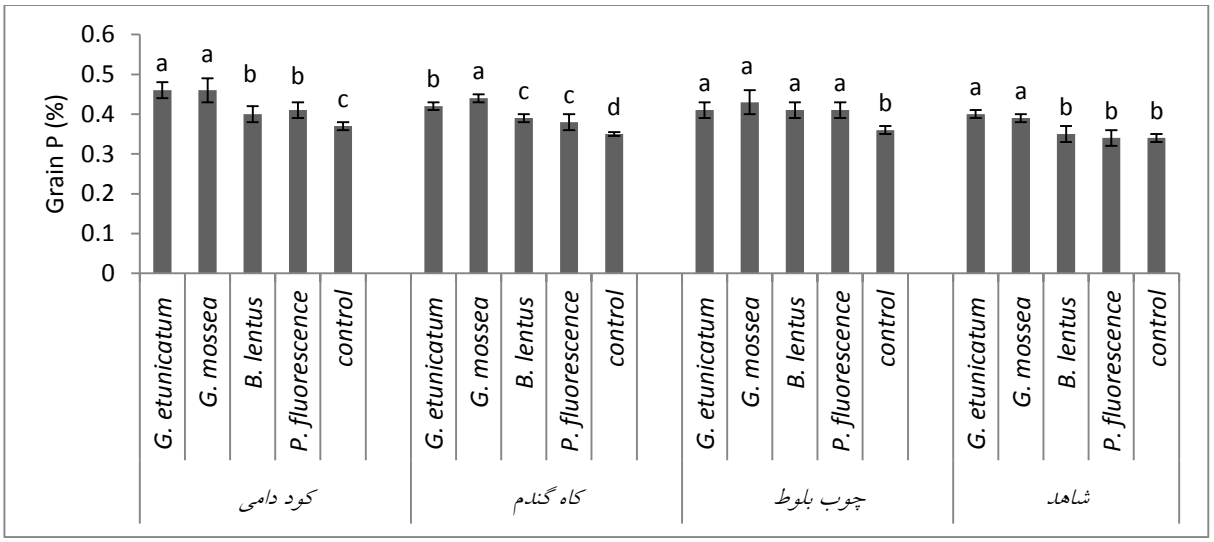
می‌گردند (۷). در تیمار مصرف بیوچار چوب همه گیاهان تلقیح شده با ریزجانداران مورد مطالعه در این آزمایش در یک گروه آماری قرار گرفتند و نسبت به شاهد بدون تلقیح به طور معنی داری فسفر دانه بیشتری داشتند. در شرایط کاربرد بیوچار کود گاوی و کاه و کلش گندم، گیاهان تلقیح شده با *B. lentus* و *P. fluorescence* در یک گروه آماری قرار داشتند و درصد فسفر دانه آن‌ها به طور معنی داری نسبت به سایر گیاهان تلقیح نشده برتر بود. در شرایط عدم کاربرد بیوچار، تیمارهای تلقیح گیاه با *B. lentus* و *P. fluorescence* و عدم تلقیح با ریزجانداران تفاوت معنی داری با همدیگر نداشتند و تنها تلقیح گیاه با مایکوریزا سبب افزایش قابل توجه درصد فسفر دانه گردید (شکل ۱). مهم ترین و بیشترین اثر رابطه همزیستی گیاه با قارچ‌های مایکوریزا، افزایش جذب عنا صر معدنی به ویژه فسفر در گیاه میزبان می با شد. این اثر به ویژه در ارا ضی که فسفر محلول در خاک کم است یا در اثر خشکی، ضریب پخشیدگی عنصر فسفر بسیار کاهش یافته است مشهودتر می باشد (۷). به طوری که در شکل ۱ ملاحظه می‌گردد در تمامی تیمارهای کاربرد و عدم کاربرد بیوچار، تلقیح گیاه با مایکوریزا موجب افزایش معنی دار میزان فسفر دانه گردید و در حالت کلی، اگرچه تلقیح گیاه با باکتری‌های *B. lentus* و *P. fluorescence* در مقایسه با کاربرد مایکوریزا اثر کمتری بر افزایش درصد فسفر دانه داشت اما در کلیه تیمارهای کاربرد بیوچار در مقایسه با شاهد بدون تلقیح، فسفر دانه را به طور قابل توجهی افزایش داد. فسفر در خاک به شکل فسفر آلی و فیتاز هم وجود دارد و حلالیت این فسفر غیر قابل دسترس تا حد زیادی به pH ریزوسفر وابسته است که قابل تغییر است و به جامعه میکروبی اطراف ریشه بستگی دارد (۱۳).

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب (میانگین مربعات) اثر بیوچار و ریزجانداران حل کننده فسفات بر صفات گلرنگ

منابع تغییر	درجه آزادی	فسفر دانه	عملکرد دانه	وزن هزار دانه	تعداد دانه در طبق	تعداد طبق در بوته	عملکرد روغن	درصد روغن	شاخص برداشت	عملکرد بیولوژیک
سال	۱	۰/۰۰۴**	۲۹۸۶۰۱**	۸۱/۶۸ ns	۴۱۲/۱۶ ns	۲۲/۳۹ ns	۶۵۸۷۵/۴ ns	۶۰۵/۶ ns	۹۵۵/۶	۲۵۱۴۵۳/۴ ns
بلوک (سال)	۴	۰/۰۰۳	۴۸۱۷۰	۴۶/۱۴	۳۲۵/۵۸	۲۰/۳۵	۲۰۲۰۶/۱	۵۱۲/۱	۴۱۵/۳	۱۴۱۵۷۲/۱
بیوچار	۳	۰/۰۱۸**	۲۲۱۵۳۶**	۱۵۹/۷۵ **	۱۲۴/۷۶ ns	۸۴/۲۷ **	** ۳۲۵۹۸۷/۳	۴۰۰/۶ ns	۴۶۹/۶ ns	۲۰۲۴۱۰/۳ ns
سال ×بیوچار	۳	۰/۰۰۰۹ ns	۱۴۸۸ ns	۴/۱۳ ns	۲۹۸/۳۵ ns	۲۹/۹۱ ns	۱۴۵۸۷/۶ ns	۲۳۰/۳ ns	۲۱۴/۳ ns	۹۸۵۸۷/۶ ns
خطای اصلی	۱۲	۰/۰۰۱	۶۵۶۱	۴۰/۳۳	۴۵۷/۳۲	۲۷/۶	۵۸۶۹۸/۶	۴۰۰/۷	۴۱۰/۷	۱۵۲۳۶۸/۶
ریزجانداران	۴	/۰۲۳**	۱۶۴۵۵**	۱۵۲/۱۲ **	۱۱۱/۱۰ ns	۱۱۲/۱۰**	** ۶۰۰۵۸۷/۹	۶۵۸/۲ ns	۷۲۰/۶ ns	** ۶۲۵۱۴۲/۹
ریزجانداران × سال	۴	۰/۰۰۰۲ ns	۱۹۸۷*	۳۲/۱۰ ns	۸۰/۲۳ ns	۲۰/۲۱ ns	۳۶۹۵۸/۹ ns	۵۰۱/۶ ns	۵۸۰/۶ ns	۹۵۸۷۴/۹ ns
ریزجانداران × بیوچار	۱۲	۰/۰۰۰۸*	۱۰۱۰ ns	۸/۱۹ ns	۹۸/۵۴ ns	۱۳/۱۸ ns	۲۵۷۸۹/۵ ns	۱۲۲/۴ ns	۹۵/۶ ns	۶۵۸۷/۵ ns
برهمکنش سه گانه	۱۲	۰/۰۰۰۲ ns	۱۱۷۶ ns	۶/۳۲ ns	۳۲/۱۷ ns	۹/۱۴ ns	۱۰۵۸۹/۶ ns	۱۰۰/۷ ns	۵۹/۷ ns	۱۵۱۴۷/۶ ns
خطا	۶۴	۰/۰۰۰۳	۷۰۹	۲۹/۳۲	۱۰۰/۱۲	۱۶/۶۲	۳۲۵۸۷/۵	۳۹۸/۵	۴۰۵/۳	۷۵۹۸۷/۵

ns، * و ** : به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

گونه‌های سودوموناس و با سیلوس جزء باکتری‌های محرک ر شد گیاه هستند و در بین گونه‌های متعدد باکتری‌های محرک رشـد گیاه، جمعیت‌های میکروبی غالب می‌باشـند. این باکتری‌ها باعث بهبود کیفیت خاک می‌شـوند و جذب عناصر غذایی و رشد گیاهان را افزایش می‌دهند.



شکل ۱- برهمکنش بیوچار و انواع ریزجانداران حل کننده فسفات بر درصد فسفر دانه گلرنگ

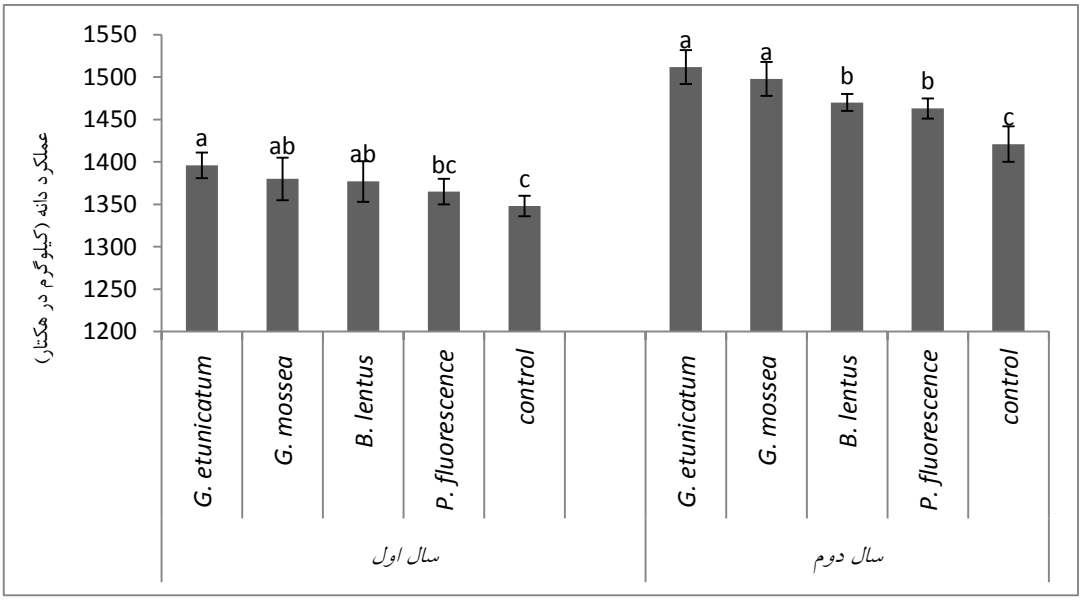
عملکرد دانه

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد (جدول ۳) اثر نوع بیوچار و ریزجانداران حل کننده فسفات‌های نامحلول در سطح احتمال یک درصد و برهمکنش نوع ریزجانداران و سال در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد دانه گلرنگ معنی دار گردید. مقایسه میانگین داده‌ها در سال اول آزمایش نشان داد که گیاهان تلقیح شده با *G. etunicatum*، *G. mosseae* و *B. lentus* به لحاظ عملکرد دانه گلرنگ به ترتیب با ۱۳۹۶، ۱۳۸۰ و ۱۳۷۷ کیلوگرم در هکتار در یک گروه آماری قرار داشتند (شکل ۲). مشخص شده است که باکتری‌های حل کننده فسفات‌های نامحلول خاک، رشد و توسعه گیاه را هم در مزرعه و هم تحت شرایط محیطی کنترل شده افزایش می‌دهند (۲۲). بین تیمارهای *B. lentus* و *P. fluorescence* و همچنین بین شاهد و *P. flurescence* تفاوت چشمگیری وجود نداشت و کمترین عملکرد دانه (۱۳۴۸ کیلوگرم در هکتار) به تیمار شاهد بدون تلقیح ریزجانداران اختصاص یافت. ریزجانداران مفید خاک که جهت افزایش عملکرد گیاه مورد استفاده قرار می‌گیرند جایگزینی هستند برای کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها. گونه‌های سودوموناس و باسیلوس باکتری‌های محرک رشد غالب هستند. گونه‌های باسیلوس متابولیت‌های متعددی ترشح می‌کنند که باعث رشد گیاه و جلوگیری از آلودگی به پاتوژن‌ها می‌شوند (۱۲). همچنین باعث تثبیت نیتروژن، انحلال فسفر، ترشح هورمون‌ها و آنزیم‌های محرک رشد گیاهان و بنابراین افزایش رشد و عملکرد گیاهان زراعی می‌گردند. علاوه بر این، مواد محرک رشد گیاهی نظیر ایندول استیک اسید، جیبرلین‌ها و سیتوکنین‌ها به وسیله گونه‌های باسیلوس سنتز می‌شوند و تقسیم و طویل شدن سلولی ساقه و ریشه را افزایش می‌دهند (۹). همچنین ترشح ACC دآمیناز بوسیله گونه‌های باسیلوس مانع سنتز اتیلن در گیاهان زراعی می‌شود و از این طریق نیز رشد گیاه را

تحریک می‌کند. در سال دوم آزمایش، بین گیاهان تلقیح شده با *G. etunicatum* و *G. mosseae* تفاوت معنی داری مشاهده نگردید. عملکرد دانه گیاهان تلقیح شده با *G. lentus* و *G. flurescence* در یک گروه آماری قرار گرفتند و به طور معنی داری عملکرد دانه کمتری تولید کردند. کمترین عملکرد دانه (۱۴۲۱ کیلوگرم در هکتار) نیز در گیاهان تلقیح نشده به دست آمد (شکل ۲).

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در هر دو سال انجام آزمایش، بالاترین عملکرد دانه به تلقیح گیاه گلرنگ با گونه‌های مایکوریزا تعلق داشت و کمترین عملکرد دانه نیز به شاهد اختصاص پیدا کرد. قارچ‌های مایکوریزا یکی از انواع کودهای زیستی هستند که دارای رابطه همزیستی با ریشه اغلب گیاهان زراعی می باشند و از طریق افزایش جذب عناصر غذایی مانند فسفر، نیتروژن و برخی عناصر ریزمغذی، افزایش جذب آب، افزایش مقاومت در برابر تنش‌های زنده (عوامل بیماری زا) و غیر زنده (خشکی، شوری) سبب بهبود رشد، نمو و عملکرد گیاه میزبان می‌شوند. مطالعات قبلی روی گیاه شوید و لوبیا نیز نشان داد که کاربرد قارچ مایکوریزا باعث افزایش وزن تر و عملکرد این گیاهان تحت شرایط کشت مخلوط گردید (۲۰). از مهم‌ترین اثرات قارچ‌های مایکوریزا، افزایش عملکرد گیاهان در خاک‌های با حاصل‌خیزی پائین است. قارچ‌های مایکوریزا از طریق افزایش جذب عناصر غذائی به ویژه روی و فسفر، تولید محرک‌های رشد، تحمل به خشکی و مقاومت به عوامل بیماری‌زای گیاهی باعث افزایش عملکرد در گیاهان تلقیح شده با این قارچ می‌شوند. این قارچ‌ها علاوه بر کمک به بهبود تغذیهٔ معدنی گیاهان، از طریق تأثیر فیزیولوژیک نیز سبب افزایش رشد گیاهان می‌شوند (۱۶ و ۲۳). به طوری که گزارش شده است قارچ‌های مایکوریزایی با جذب فسفر و سایر عناصر کم‌تحرک مثل مس و روی در ذرت، سویا و سورگوم سبب افزایش رشد این گیاهان می‌شوند.

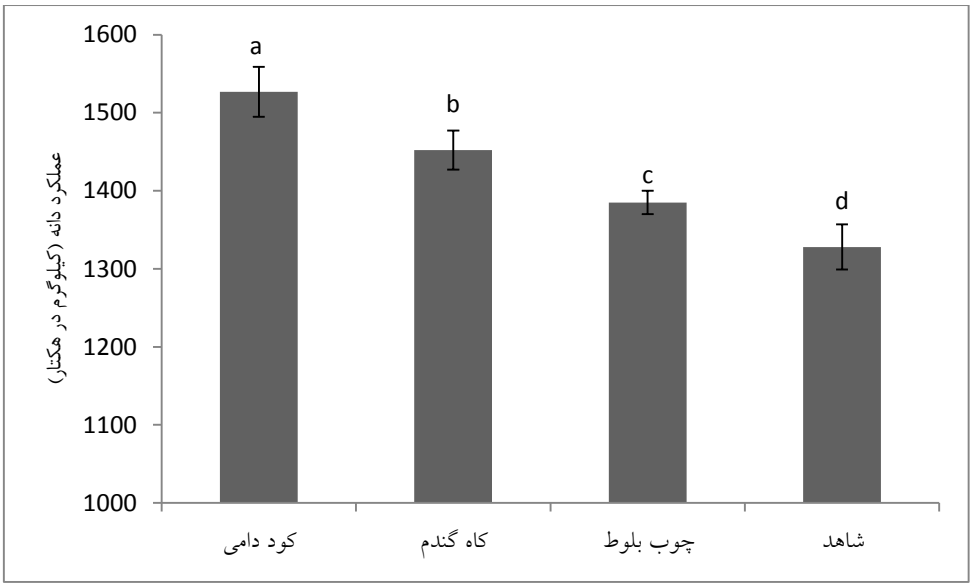
در مقایسه بین دو سال، بالاترین عملکرد دانه هم در گیاهان تلقیح شده با ریزجانداران حل کننده فسفات‌های نامحلول و هم در گیاهان تلقیح نشده در سال دوم به دست آمد و عملکرد دانه گلرنگ در سال دوم به طور قابل توجهی بیشتر بود (شکل ۲). فراهمی مواد غذایی بر اثر وجود کودهای زیستی یکی از دلایل افزایش عملکرد می‌باشد. ستار و گاور (۱۷) نیز افزایش عملکرد و تحریک رشد را به علت تولید اکسین و جیبرلین توسط باکتری‌های حل کنندهٔ فسفات گزارش نمودند.



شکل ۲- برهمکنش سال و انواع ریزجانداران حل کننده فسفات بر عملکرد دانه گلرنگ

نتایج مقایسه میانگین داده‌های مربوط به دو سال نشان داد که کاربرد بیوچار در مقایسه با شاهد به طور قابل توجهی عملکرد دانه را افزایش داد. باروری خاک با مواد آلی به طور قابل توجهی بر کیفیت خاک اثر می‌گذارد که نه تنها برای عملکرد تولیدی آن مهم است، بلکه در اکوسیستم نیز نقش دارد. استفاده از بیوچار در خاک می‌تواند به دلیل بهبود خصوصیات فیزیکی (ساختار خاک)، مواد شیمیایی (در دسترس بودن مواد مغذی) و خواص بیولوژیکی (فعالیت آنزیمی) خاک به طور معنی داری بر عملکرد گیاه اثر بگذارد. کود معدنی و کود آلی عملکرد محصولات زراعی را حفظ می‌کنند یا افزایش می‌دهند و باعث تغییراتی در ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک می‌شوند. این تغییرات در طولانی مدت اثرات معنی داری بر کیفیت و ظرفیت تولید خاک خواهد داشت (۵).

بالاترین عملکرد دانه به میزان ۱۵۲۷ کیلوگرم در هکتار به کاربرد بیوچار کود گاوی تعلق داشت. مصرف بیوچار کاه و کلش گندم و بیوچار چوب نیز با تولید عملکرد دانه برابر با ۱۴۵۲ و ۱۳۸۵ کیلوگرم در هکتار در رتبه‌های بعدی قرار داشتند (شکل ۳). بین تمامی‌تیمارهای کاربرد و عدم کاربرد بیوچار تفاوت معنی داری وجود داشت. شواهدی محکمی وجود دارد که اولین اثرات مربوط به تجزیه ماده آلی خاک به بیوماس میکروبی خاک وابسته است. همان طور که در این آزمایش نیز تایید گردید، اضافه کردن بیوچار به خاک می‌تواند بیوماس میکروبی خاک و به تبع آن فعالیت‌های آنزیمی را افزایش دهد. همچنین ممکن است ترکیب جمعیت بیولوژیکی خاک را تحت تاثیر قرار دهد که به نوبه خود چرخه عناصر غذایی، رشد گیاه و همچنین معدنی شدن کربن آلی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. همچنین همان طور که مشاهده شد بیوچار استفاده شده در این آزمایش حاوی محتوی نیتروژن بیشتری نسبت به سایر بیوچار ها بود. نیتروژن نیز یکی از مهمترین فاکتورهای افزایش رشد و عملکرد گیاهان زراعی است. نقش نیتروژن در ساختار کلروفیل و در نهایت فتوسنتز باعث افزایش عملکرد دانه می‌گردد (۱۸).



شکل ۳- اثر انواع بیوچار بر عملکرد دانه گلرنگ

اجزای عملکرد گلرنگ

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که در بین اجزای عملکرد، کاربرد ریزجانداران و بیوچار بر تعداد طبق در بوته و وزن دانه گلرنگ اثر معنی‌داری داشت ولی اثر سال و اثرات متقابل معنی دار نبود. همچنین هیچ یک از فاکتورهای آزمایش اثر معنی‌داری بر تعداد دانه در طبق ایجاد ننمود. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که، بیشترین تعداد طبق در بوته و وزن دانه در تیمارهای تلقیح میکوریزایی و کم‌ترین مربوط به تیمار شاهد می‌باشد، همچنین بیشترین تعداد طبق در بوته و وزن دانه نیز در تیمار بیوچار کود دامی مشاهده گردید. (جدول ۴). فسفر در خاک، عنصری فوق‌العاده کم تحرک است به طوری که حتی اگر فسفر به شکل محلول به خاک اضافه شود به سرعت در اشکال فسفات کلسیم با دیگر اشکال تثبیت شده و به صورت غیر متحرک در می‌آید، لذا قارچ میکوریزا در افزایش جذب مواد معدنی به ویژه فسفر و تجمع ماده خشک بسیاری از محصولات در خاک‌های با فسفر کم اثر مثبت دارند. تلقیح ریشه گیاهان با میکوریزا از طریق افزایش سطح جذب و با افزایش ناحیه تخلیه فسفر به وسیله هیف‌های خارجی، این عنصر را در اختیار گیاه قرار می‌دهد که باعث افزایش ماده خشک و اجزای عملکرد دانه برخی از گیاهان گلوم می‌شود (۱۵). به نظر می‌رسد تیمارهایی که در آنها کود میکوریزا باعث دسترسی بیشتر فسفر شده، اثر بیشتری بر تعداد دانه در غلاف داشته است. لازم به توضیح است که تعداد دانه در غلاف با ثبات‌ترین جزء عملکرد در گیاهان زراعی محسوب می‌شود و کمتر تحت اثر عوامل به زراعی و محیطی قرار می‌گیرد (۱).

جدول ۴= مقایسه میانگین‌های اثرات بیوچار و ریزجانداران حل کننده فسفات بر اجزای عملکرد گلرنگ

عامل آزمایشی	تعداد طبق در بوته	تعداد دانه در طبق	وزن هزار دانه (گرم)
بیوچار			
کود دامی	۸/۲۶a	۲۶/۴۲a	۲۴/۱۸ a
کاه گندم	۷/۴۲b	۲۶/۱۲ a	۲۳/۲۳ b
چوب بلوط	۷/۱۸b	۲۶/۸۱a	۲۲/۹۵b
شاهد	۷/۰۷b	۲۶/۱۶a	۲۲/۰۳c
ریزجانداران			
G. etunicatum	۸/۱۴ a	۲۶/۳۵ a	۲۴/۶۰ a
G. mossea	۸/۱۲ a	۲۶/۵۱ a	۲۴/۱۰ b
B. lentus	۷/۴۸ b	۲۶/۳۷ a	۲۳/۱۰ c
P. fluorescence	۷/۵۰ b	۲۶/۳۹ a	۲۲/۱۰ d
control	۶/۱۶ c	۲۶/۲۳ a	۲۱/۶۰ e

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون فاقد اختلاف آماری معنی دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد هستند.

عملکرد بیولوژیک, شاخص برداشت و روغن

به طوری که در جدول تجزیه واریانس ملاحظه می‌گردد اثر ریزجانداران مورد استفاده در آزمایش حاضر بر عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال یک درصد معنی دار گردیده است ولی اثر سال، بیوچار و برهمکنش آنها معنی دار نبود (جدول ۳). همچنین هیچ کدام از فاکتورهای اصلی و برهمکنش اثر معنی داری بر شاخص برداشت و درصد روغن نداشتند. هر چند بیوچار اثر معنی داری بر درصد روغن ایجاد ننمود ولی کمترین درصد روغن مربوط به بیوچار کود دامی بود. این بیوچار دارای بیشترین درصد نیتروژن بود و باعث فراهمی نیتروژن در محیط ریشه گیاه گردیده بود.

گزارش‌های متعددی در مورد کاهش درصد روغن دانه با افزایش نیتروژن وجود دارد (۹). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بالاترین عملکرد بیولوژیک در تیمار های تلقیح میکوریزایی حاصل گردید، همچنین کاربرد سایر باکتری‌های حل کننده فسفات نیز عملکرد بیولوژیک گلرنگ را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داد (جدول ۵). با توجه به اثر هم‌زیستی میکوریزایی بر روی عملکرد زیست توده تک بوته، می‌توان اظهار کرد که این رابطه از طریق بهبود میزان فتوسنتز و رشد، موجب افزایش بیوماس گیاهی و در نهایت ماده خشک کل می‌گردد. هم‌چنین نتایج تحقیقات الکراکی و همکاران (۴) مؤید این مطلب است که هم‌زیستی میکوریزایی ورمی‌کمپوست سبب بهبود عملکرد زیست توده بوته می‌گردد.

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های اثرات بیوچار و ریزجانداران حل کننده فسفات بر سایر صفات گلرنگ.

عامل آزمایشی	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)	شاخص برداشت	درصد روغن	عملکرد روغن (کیلوگرم در هکتار)
بیوچار				
کود دامی	۵۱۱۴/۳ a	۲۹/۸۵ a	۲۹/۱ a	۴۴۲/۳ a
کاه گندم	۴۹۹۹/۶ a	۲۹/۰۴ a	۲۹/۴ a	۴۲۱/۳ b
چوب بلوط	۵۱۰۴/۳ a	۲۷/۱۳ a	۲۹/۳ a	۴۰۱/۶ c
شاهد	۵۰۱۴/۶ a	۲۶/۴۸ a	۲۹/۳ a	۳۸۵/۹ d
ریزجانداران				
G. etunicatum	۵۴۵۴/۶ a	۲۷/۷۲ a	۲۹/۳ a	۴۲۵/۴ a
G. mossea	۵۳۶۰/۶ a	۲۷/۹۴ a	۲۹/۳ a	۴۲۱/۶ a
B. lentus	۴۹۵۷/۵ b	۲۹/۶۵ a	۲۹/۲ a	۴۲۰/۹ a
P. fluorescence	۴۸۵۰/۲ bc	۲۹/۱۶ a	۲۹/۴ a	۴۱۲/۲ b
control	۴۶۶۴/۴ c	۲۹/۴۶ a	۲۹/۴ a	۳۸۲/۹ c

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون فاقد اختلاف آماری معنی دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد هستند.

در مورد عملکرد روغن مشاهده شد که اثر نوع بیوچار و ریزجاندارن حل کننده فسفات در سطح احتمال ۱٪ بر عملکرد روغن گلرنگ معنی دار گردید. مقایسه میانگین داده‌های آزمایش نشان داد که گیاهان تلقیح شده با *G. etunicatum*، *G. mosseae* و *B. lentus* به لحاظ عملکرد روغن گلرنگ به ترتیب با ۴۲۵، ۴۲۱ و ۴۲۰ کیلوگرم در هکتار در یک گروه آماری قرار داشتند. با توجه به غیر معنی دار شدن صفت درصد روغن تحت اثر تیمارهای آزمایش، این تغییرات ناشی از تغییرات عملکرد دانه بود و با همان روند صورت گرفت.

نتیجه گیری نهایی

بیوچار جهت بهبود حاصلخیزی خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد. در آزمایش حاضر نیز، کاربرد بیوچار عملکرد و اجزای عملکرد دانه را نیز به طور قابل توجهی افزایش داد و بیشترین عملکرد دانه گلرنگ به کاربرد بیوچار کود گاوی اختصاص پیدا کرد. همچنین کاربرد ریزجانداران و به ویژه مایکوریزا باعث افزایش قابل توجه فسفر و عملکرد دانه گلرنگ شد. مصرف بیوچار اثر ریزجانداران بر عملکرد دانه را افزایش داد.

منابع مورد استفاده

۱- حبیب‌زاده، ی، ۱۳۸۵. بررسی اثر تراکم بوته بر روند رشد ارتفاع بوته و عملکرد دانه سه ژنوتیپ ماش در منطقه اهواز، نهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران، ص ۷۰.

۲- ملکوتی، م. ۱۳۷۵. کشاورزی پایدار و افزایش عملکرد با بهینه سازی مصرف کود در ایران. انتشارات نشر آموزش کشاورزی.

3. Abdel-Salam, E., Alatar, A., and El-Sheikh, M. A. 2018. Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi alleviates harmful effects of drought stress on damask rose. Saudi Journal of Biological Sciences. 25(8): 1772–1780. doi:10.1016/j.sjbs.2017.10.015.

4. AL-Karaki, G., McMichael, B., and Zak J. 2004. Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. Mycorrhiza. 14(4): 263-269.

5. Amoah-Antwi, C. 2020. Efficacy of woodchip biochar and brown coal waste as stable sorbents for abatement of bioavailable cadmium, lead and zinc in soil. Water Air Soil Pollut. 231, 515.

6. Chan, K.Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., and Joseph, S. 2008. Using poultry litter biochars as soil amendments. Australian Journal of Soil Research 46:437. DOI: 10.1071/sr0803.

7. Johri, A.K., Oelmüller, R., Dua, M., Yadav, V., Kumar, M., Tuteja, N., Varma, A., Bonfante, P., Persson, B.L. and Stroud, R.M. 2015. Fungal association and utilization of phosphate by plants: success, limitations, and future prospects. Frontiers in Microbiology. 6: 1-13.

8. Mitchell, P.J., Simpson, A.J., Soong, R., and Simpson, M.J. 2015. Shifts in microbial community and water-extractable organic matter composition with biochar amendment in a temperate forest soil. Soil Biology and Biochemistry. 81:244-254. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.11.017

9. Mohammadi, K., and Rokhzadi, A. 2012. An integrated fertilization system of canola (*Brassica napus* L.) production under different crop rotations. Industrial Crops and Products. 37: 264-269**.** http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.12.023.

10. Novak, J. M. 2019. Biochar compost blends facilitate switchgrass growth in mine soils by reducing Cd and Zn bioavailability. Biochar. 1: 97–114.

11. Radhakrishnan, R., and Lee, I. J. 2013. Regulation of salicylic acid, jasmonic acid and fatty acids in cucumber (*Cucumis sativus* L.) by spermidine promotes plant growth against salt stress. Acta Physiologiae Plantarum, 35: 3315-3322.

12. Ramalingam, R., Abeer, H., and Elsayed, F. A. 2017. Bacillus: A Biological Tool for Crop Improvement through Bio-Molecular Changes in Adverse Environments. Frontiers in Physiology. 8: 1-14.

13. Rengel, Z., and Marschner, P. 2005. Nutrient availability and management in the rhizosphere of plant genotypes. New Phytol. 168: 305-312. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01558.x

14. Rodriguez, H., and Fraga, R. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion (review paper). Biotechnology Advances. 17: 319-339.

15. Rowell, D. L., Harris, P. J. and Ortas, I. 2004. Effect of mycorrhizae and pH change at the root-soil interface on phosphorus uptake by sorghum using a

Rhizocylinder Technique. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 35 (7/8): 1061-1080.

16. **Saboor, A., Arif Ali, M., Danish, S., Ahmed, N., Fahad, S., Datta, R., Ansari, M., Nasif, O., and Glick, B. 2020.** Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on the physiological functioning of maize under zinc-deficient soils. Scientific Reports.11: 18468.
17. **Sattar, M. A., and Gaur, A. C. 1987**. Production of Auxins and Gibberellins by phosphate dissolving microorganisms. Zentralbl. Mikrobiol. 142: 393-395.
18. **Taiz, L., and Zeiger, E. 2010**. Plant physiology, 5th ed. Sinauer Associates Inc., Sunderland, MA, USA.
19. **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 and Soil. 327: 235-246. DOI: 10.1007/s11104-009-0050-x.
20. **Weisany, W., Raei, Y., and Ghasemi Golezani, K. 2016**. Funneliformis mosseae alters seed essential oil content and composition of dill in intercropping with common bean. Ind Crops Prod. 79: 29-38. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.10.041.
21. **Yeboah, E., Asamoah, G., Ofori, P., Amoah, B., and Osei, K. 2020**. Method of biochar application affects growth, yield and nutrient uptake of cowpea. Open Agriculture. https://doi.org/10.1515/opag-2020-0040.
22. **Yu, Xuan., Xu, Liu., and Tian-hui, Zhu. 2014**. Walnut growth and soil quality after inoculating soil containing rock phosphate with phosphate-solubilizing bacteria. Science Asia, 40(1): 21-27.
23. **Zhu, Y., Wang, H., Lv, X., Zhang, Y., and Wang, W. 2020.** Effects of biochar and biofertilizer on cadmium-contaminated cotton growth and the antioxidative defense system. Scientific Reports, 10: 20112.

Bi-Quarterly Journal of Plant Production
Vol. 11, Issue 2, autumn and winter 2021

The effect of different biochar types and phosphate solubilizing microorganisms on grain yield and agronomic traits of safflower

Ebrahim Heidari[1], Khosro Mohammadi[1*], Babak Pasari[1], Asad Rokhzadi[1], Yousef Sohrabi[2]

1-agronomy department islamic azad universty, sanandaj branch

2-agronomy department university of Kurdistan

*: **Corresponding Author, Email**: Khosromohammadi60@yahoo.com

(Received: 5 November 2021; Accepted: 1 December 2021)

Abstract

In order to study the effect of application of different biochar species and phosphate solubilizing microorganisms on soil enzymatic activity and agronomic traits of safflower during two cropping seasons of 2018 and 2019 in a part of cultivated lands of Sardorood district of Razan, Hamedan province, an experiment as split plots on the basis of randomized complete block design with three replications was implemented. The main factor at 4 levels of biochar including: cow manure, wheat straw, wood biochar and control. The sub factors were phosphate solubilizing microorganisms included the mycorrhizal fungi (*Glomus etunicatum* and *G. mosseae*), *Bacillus lentus*, *Pseudomonas fluorescence* and control. The results of mean comparison showed that highest number of heads per plant (8.12, 8.14) and the maximum seed weight (24.60 g) were observed in mycorrhizal inoculation treatments and the lowest were in control treatment, also the highest number of heads per plant (8.26) and seed weight (24.18 g) was observed in cow manure biochar treatment. The results of mean comparison showed that the highest biological yield (5454 kg/ha) was obtained in mycorrhizal inoculation treatments. Also, application of other phosphate solubilizing bacteria increased the biological yield of safflower compared to the control treatment.

Key words: Grain yield, mycorrhizal, phosphate solubilizing microorganisms, safflower.