مقاله پژوهشی

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و شش، شماره هفت، مهرماه ۱۴۰۳(۹۸-۸۱)

ارزیابی اثر تیمارهای مختلف کود، زغال زیستی و قارچ تریکودرما بر عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص‌های کیفی لاین مادری ذرت رقم (هیبرید KSC 704)

مهدی احمدیوسفی [۱*]

m.ahmadyousefi1@gmail.com

مهدیه امیری‌نژاد [۲]

بهاره پارسا مطلق[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱/۱۷ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۶/۲**

چکیده

زمینه و هدف : ذرت (*Zea mays*) بعد از گندم مهم‌ترین غله دنیا است که به عنوان غذای انسان، دام و همچنین مواد اولیه تولید نشاسته، روغن، پروتئین، تهیه الکل و غیره کاربرد دارد. یکی از اهداف مهم در برنامه‌های تولید بذر، به دست آوردن بذور با کیفیت عالی و به عنوان اصلی‌ترین نهاده در کشت گیاهان می‌باشد. یکی از مؤلفه‌های افزایش عملکرد محصولات، مصرف بیشتر انواع نهاده‌ها کشاورزی به ویژه کودهای شیمیایی است که پیامدهای متعدد زیست محیطی و اقتصادی – اجتماعی زیادی به همراه دارند. بنابراین بهبود کیفت بذر تولید شده با استفاده از نهاده‌های پاک می‌تواند گامی به سوی امنیت غذایی پایدار باشد. هدف از انجام این پژوهش بررسی اثر تیمارهای مختلف کود، زغال زیستی و قارچ تریکودرما در گیاه مادری بر عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص‌های کیفی لاین مادری ذرت رقم (هیبرید KSC 704) می‌باشد.

روش بررسی: این آزمایش به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه نمونه دانشگاه جیرفت در سال زراعی ۱۳۹۴ اجرا شد. چهار سطح کود (NPK) به ترتیب شاهد، ۳۰ درصد، ۷۰ درصد و ۱۰۰ درصد توصیه کودی به عنوان فاکتور اصلی و دو سطح استفاده و عدم استفاده از زغال زیستی و سه سطح قارچ تریکودرما؛ شاهد، *Trichoderma atroviride* و *Trichodema harzianum* به عنوان فاکتورهای فرعی در نظر گرفته شدند. کلیه عملیات کاشت و داشت انجام شد، در نهایت با برداشت یک متر مربع از هر واحد آزمایشی، بلال‌ها جدا و تحت شرایط عادی خشک شده، و صفاتی مانند تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در ردیف، تعداد دانه در بلال، وزن هزار دانه و عملکرد دانه ثبت شدند. جهت بررسی کیفیت بذرهای تولید شده روی بوته‌های مادری و محاسبه سرعت جوانه‌زنی، درصد گیاهچه عادی، طول گیاهچه و وزن خشک گیاهچه، آزمون جوانه‌زنی استاندارد انجام شد.

---

۱ - پژوهشیار دانشگاه جیرفت، ایران. * (مسوول مکاتبات)

۲- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه جیرفت، ایران.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که استفاده از زغال زیستی، گونه تریکودرما و سطوح مختلف کودی بر درصد گیاهچه عادی، سرعت جوانه‌زنی، طول گیاهچه و وزن خشک گیاهچه در آزمون‌های جوانه‌زنی استاندارد بر عملکرد و اجزای عملکرد اثر معنی‌داری داشته است، به نحوی که تیمار اثر متقابل ۱۰۰ درصد توصیه کودی در قارچ *Trichoderma harzianum* نسبت به تیمار اثر متقابل شاهد-شاهد سبب افزایش ۵۵ درصدی عملکرد دانه شد و برهمکنش زغال زیستی در قارچ *Trichodema harzianum* و برهمکنش زغال زیستی و ۱۰۰ درصد توصیه کودی نسبت به تیمارهای شاهد به ترتیب سبب افزایش ۳۶ و ۴۱ درصدی سرعت جوانه‌زنی شد.

بحث و نتیجه گیری: با توجه به نتایج می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از زغال زیستی، سطوح کودی مختلف و قارچ *Trichodema harzianum* باعث افزایش کمیت و کیفیت بذور تولیدشده روی بوته مادری نسبت به شرایط شاهد شد و اگرچه تیمارهای مورد استفاده (زغال زیستی و گونه‌های قارچ تریکودرما) کمیت مصرف کود را تحت تأثیر قرار نمی‌دهند، اما از طریق افزایش کارایی مصرف کود (در شرایط مصرف کود کافی) باعث افزایش توان خاک‌های زراعی و کاهش آلودگی محیط زیست شوند.

واژه‌های کلیدی: بنیه بذر، ذرت، قدرت بذر و نهاده‌های زیستی.

J. Env. Sci. Tech., Vol 26, No. 7, October, 2024

Evaluation of the effect of different treatments of fertilizer, biochar and Trichoderma fungi on the yield, yield components and quality indices of maize mother lines cultivar (hybrid KSC 704)

Mehdi Ahmadyousefi [1*]
m.ahmadyousefi1@gmail.com
Mahdiyeh Amirinejad [2]
Bahareh parsa motlagh[2]

Admission Date:August 24, 2022 Date Received: April 6, 2022

Abstract

Background and Objective: This experiment was conducted to investigate the effect of different treatments of fertilizer, biochar and Trichoderma fungi on the yield, yield components and quality indices of the maize mother lines (hybrid KSC 704) as a factorial split-plot based on a randomized complete block design with three replications in the sample farm of the University of Jiroft in the cultivation period of 2015.

Material and Methodology: Four levels of fertilizer (NPK) (control, 30%, 70%, and 100%) were used as the main factor and two levels of use and non-use of biochar and three levels of Trichoderma fungi including (control, *Trichoderma atroviride* and *Trichodema harzianum*) were considered as subfactors. The seeds were isolated and dried under normal conditions after the removal of one square meter of each unit, and traits such as the number of row per ear, number of grain per row, number of grain per ear, 1000 Grain weight, and yield were recorded. Standard seed germination test was carried out in order to evaluate the quality of seeds produced by native plants and to calculate germination rate, normal seedling percentage, seedling length, and seedling dry weight.

Findings: The results showed that use of biochar, Trichoderma species and different levels of fertilizer significantly improved normal seedling percentage, germination rate, seedling length, and seedling dry weight in standard germination tests, and also had a significant effect on performance and yield components. In some ways, 100% fertilizer recommendation interaction in Trichoderma harzianum compared to control-control interaction caused 55% increase in grain yield and biochar interaction in Trichodema harzianum and biochar interaction and 100% fertilizer recommendation compared to control treatments, respectively. Caused 36 and 41% increase in germination rate.

Discussion and Conclusions: According to the results, it can be concluded that the use of biochar, different fertilizer levels and type of fungi *Trichodema harzianum* increased the quantity and quality of the seeds produced on the mother plant compared with the control conditions. Although used treatments

1- Researcher, University of Jiroft, Iran. *(*Corresponding Author*)
2- Assistant Professor of Department of Agriculture and Plant Breeding, University of Jiroft, Iran.

(biochar and Trichoderma fungi) did not affect the quantity of the used fertilizer, they enhanced the capacity of the agricultural soil and reduced the environmental pollution through increasing the efficiency of the used fertilizer (under the conditions of using sufficient fertilizer).

Keywords: Seeds, corn, seed vigor, bio-inputs.

مقدمه

ذرت (*Zea mays*) بعد از گندم مهم‌ترین غله دنیا است که به عنوان غذای انسان، دام و همچنین مواد اولیه تولید نشاسته، روغن، پروتئین، تهیه الکل و غیره کاربرد دارد (۱). یکی از اهداف مهم در برنامه‌های تولید بذر، به دست آوردن بذور با کیفیت عالی و به عنوان اصلی‌ترین نهاده در کشت گیاهان می‌باشد (۲). فعالان بخش کشاورزی در صدد افزایش تولید محصولات کشاورزی در واحد سطح هستند تا بدین طریق بتوانند جوابگوی امنیت غذایی بشر در آینده پیش رو باشند (۳). یکی از مؤلفه‌های افزایش عملکرد محصولات، مصرف بیشتر انواع نهاده‌ها کشاورزی به ویژه کودهای شیمیایی است که پیامدهای متعدد زیست محیطی و اقتصادی – اجتماعی زیادی به همراه دارند (۴). بنابراین بهبود کیفت بذر تولید شده با استفاده از نهاده‌های پاک می‌تواند گامی به سوی امنیت غذایی پایدار باشد (۵). یکی از راهکارهای مؤثر برای بهبود شرایط پایدار و مدیریت محیط زیست، استفاده از توانمندی بالقوه انرژی‌های تجدید شونده است (۶).

تولید زغال زیستی از زیست توده‌های موجود در طبیعت و نیز کاربرد آن در زیست بوم‌های کشاورزی، می‌تواند به عنوان راهکاری مناسب برای پایدارسازی تولید، سودبری اقتصادی – اجتماعی، کاهش خطر تغییر اقلیم، کاهش فشار بر طبیعت و حفظ سلامت محیط زیست مطرح شود (۷). کاربرد زغال زیستی، راهکاری مناسب برای بازیافت مواد آلی و مدیریت پسماندهای آلی می‌باشد و عاملی است که با صرفه اقتصادی که دارد، می‌تواند موجب بهبود شرایط خاک شود (۸). ساختار مولکولی گسترده کربن‌های آروماتیک در زغال زیستی می‌تواند سبب پایداری زیاد آن در خاک و نیز افزایش ظرفیت نگهداشت آب خاک تغییر و بهبود بسیاری از شرایط خاک شود (۶، ۹). زغال زیستی به عنوان یک ماده جاذب جهانی مناسب در استراتژی از بین بردن آلاینده‌ها از خاک و آب محسوب می‌شود (۱۰). زغال زیستی همچنین نگهداری مواد مغذی خاک و دسترسی به عناصر غذایی را افزایش می‌دهد (۱۱). زغال زیستی از طریق جذب و آزادسازی عناصر در خاک نقش بالقوه مهمی دارد و قابلیت دسترسی و پتانسیل سمّیت این عناصر را تحت تاثیر قرار می‌دهد (۱۲). زغال زیستی می‌تواند یکی از فناوری های بالقوه اقتصادی و پایدار زیست محیطی باشد، ولی تولید و کاربرد گسترده آن هنوز یک چالش بزرگ در آینده است (۱۳، ۱۴). نتایج مطالعات نشان داده که استفاده که استفاده از زغال زیستی در خاک‌های با حاصلخیزی کم باعث افزایش ۹ درصدی عملکرد شده است (۴). اثرات مثبت و بلند مدت کاربرد زغال زیستی بر عملکرد نیز در چندین مطالعه به اثبات رسیده است (۱۵ و ۱۶). زغال زیستی محیط اطراف ریزوسفر را تغییر می‌دهد و این تغییرات نیز به نوبه خود فرآیندهای درون خاک و از جمله برهمکنش بین ریزجانداران زنده را تحت تاثیر قرار می‌دهد (۱۷). پیشنهاده استفاده از زغال زیستی یک فناوری امید بخش در راستای کاهش میزان گازهای گلخانه‌ای است (۱۸). زغال زیستی دارای راندمان بالا (بیش از ۶۰ درصد) می‌باشد و همچنین توانست به طور پایدار به کاهش انتشار گاز دی اکسید کربن و بهبود نیتروژن خاک کمک کند (۱۹).

گونه‌های تریکودرما از جمله ریزجانداران مفید تجمع‌کننده در اطراف ریشه هستند که ضمن افزایش رشد و باردهی گیاه، در بسیاری از موارد سبب القای مقاومت در گیاه می‌شوند. فعال‌شدن سیستم دفاعی گیاه ممکن است انرژی‌بر باشد و گیاه را به جذب مواد غذایی بیشتری وادار کند (۲۰). قارچ‌های تریکودرما از طریق سازوکارهای خاصی مانند ترشح آنزیم (مثل زیلاناز و سلولاز که می‌توانند به طور مستقیم تولید اتیلن در گیاه را به منظور واکنش دفاعی در حضور عامل بیماری‌زا تحریک نمایند)، تولید آنتی‌بیوتیک، نفوذ به باکتری‌ها و قارچ‌های بیماری‌زا، دفع مسمومیت، افزایش انتقال قند و اسیدهای آمینه در ریشه گیاهان موجب ایجاد مقاومت القائی در برابر تنش و کنترل زیستی

بیماری‌های خاکزی می‌شوند (۲۱). از آن جا که در سناریوی کشاورزی پایدار، افزایش بهره‌وری مصرف نهاده‌ها و به ویژه نهاده کود از اولویت‌های لاینفک به شمار می‌رود، بنابراین کاهش مصرف نهاده با حفظ تولید و یا افزایش کارایی کود مصرف شده می‌توانند در اولویت مدیریت‌های پیشنهاد شده قرار گیرند. در این مطالعه اثر سطوح مختلف کود شیمیایی نیتروژن در برهمکنش با زغال زیستی و قارچ تریکودرما طی یک مطالعه دوساله بر کیفیت بذرهای تولید شده روی گیاه مادری ذرت و همچنین عملکرد و اجزای عملکرد این گیاه تعیین شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این مطالعه با هدف ارزیابی برهمکنش تیمارهای مختلف کود، زغال زیستی و قارچ تریکودرما در گیاه مادری بر عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص‌های کیفی لاین مادری ذرت رقم (هیبرید KSC 704) در مزرعه نمونه شهرستان جیرفت انجام شد. این مزرعه در مختصات جغرافیایی ۵۷ درجه و ۵۲ دقیقه و ۲۹ ثانیه طول شرقی و ۲۸ درجه و ۲۷ دقیقه و ۵۰ ثانیه عرض شمالی قرار دارد و آزمایش در سال ۱۳۹۴ اجرا گردید. شهرستان جیرفت جزو اقلیم‌های گرم و مرطوب محسوب می‌شود. میانگین حداقل و حداکثر دما به ترتیب ۳- و ۵۰ درجه سانتی‌گراد، ارتفاع از سطح دریا ۶۸۵ و متوسط بارندگی سالیانه برابر با ۱۸۲ میلی‌متر گزارش شده است.

برای آماده‌سازی زمین ابتدا زمین شخم نیمه عمیق خورده و سپس در دوجهت عمود بر هم دو بار دیسک زده شد تا سطح مزرعه یکنواخت شود. به روش زیگزاگ ده نمونه ساده از افق سطحی (۰-۳۰ سانتی‌متر) خاک مزرعه با دستگاه اوگر برداشته و در نهایت یک نمونه مرکب یک کیلوگرمی برای انجام آزمایش‌ها به آزمایشگاه ارسال شد. برخی ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک (جدول ۱) مقدار اسیدیته با استفاده از سوسپانسیون ۱:۲۰ خاک به آب مقطر، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره ۱:۱۰ خاک به آب مقطر، نیتروژن کل به روش کجدال، پتاسیم قابل جذب به روش فلم فتومتری، درصد رطوبت اشباع به روش بلوک گچی و درصد کربن، توسط دستگاه CHN Analyzer (Thermo Finingan Flash 1112 Series) اندازه‌گیری شد. جهت تعیین غلظت عنصر فسفر، از عصاره حاصل از روش خشک سوزانی و حل خاکستر در اسید کلریدریک استفاده شد (۲۲). در عصاره حاصل، غلظت فسفر توسط دستگاه اسپکتروفتومتری در طول موج ۴۸۰ نانومتر تعیین شد.

چهار سطح کودی به ترتیب شرایط بدون کود، ۳۰ درصد (اوره ۱۲۰، سوپرفسفات تریپل ۴۵ و پتاس ۳۰ کیلوگرم در هکتار)، ۷۰ درصد (اوره ۲۸۰، سوپرفسفات تریپل ۱۰۵ و پتاس ۷۰ کیلوگرم در هکتار) و ۱۰۰ درصد (اوره ۴۰۰، سوپرفسفات تریپل ۱۵۰ و پتاس ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) توصیه کودی براساس نتایج آنالیز شیمیایی خاک به عنوان فاکتور اصلی و دو سطح استفاده و عدم استفاده از زغال زیستی و سه سطح قارچ تریکودرما؛ (به ترتیب شاهد بدون قارچ، *Trichoderma atroviride* و *Trichodema harzianum*) به عنوان فاکتورهای فرعی در نظر گرفته شدند. این آزمایش با تیمارهای مشابه (۲۴ تیمار) به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار به اجرا درآمد.

عملیات تهیه بستر و مدیریت زراعی

برای آماده‌سازی زمین، ابتدا زمین شخم نیمه عمیق خورد و سپس در دوجهت عمود بر هم دو بار دیسک زده شد تا سطح مزرعه یکنواخت شود. کلیه عملیات زراعی اعم از آبیاری، کنترل علف‌های هرز و مدیریت آفات و بیماری ها در مواقع لزوم انجام شد، به نحوی که گیاه با تنش روبرو نشود.

تهیه سویه‌های قارچ تریکودرما

به منظور تهیه قارچ تریکودرما در آزمایشگاه تحقیقات بذر دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۷۰ گرم سبوس گندم با ۱۴۰ میلی‌لیتر آب مقطر داخل ظرف شیشه‌ای ریخته شد و دو روز متوالی اتوکلاو گردید و کلامیدوسپورو قطعات هیف رشد یافته به مدت یک هفته در روی شیکر دوار با دور ۱۲۰ دور در دقیقه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در محیط کشت بدون آگار (ارلن یک لیتری حاوی ۵۰۰ میلی‌لیتر محیط کشت بدون آگار و ۵ میکروگرم در میلی‌لیتر استرپتومایسن) قرار گرفتند، سپس به ظروف حاوی سبوس اضافه شده و به مدت ده روز در

دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در داخل ژرمیناتور (۱۲ ساعت نور و ۱۲ ساعت تاریکی) نگهداری شدند و پس از پودر کردن، از مواد حاصل برای تلقیح بذور استفاده شد.

روش تهیه و مصرف زغال زیستی

زغال زیستی مورد استفاده در این تحقیق از کاه و کلش عدس تهیه شد. بدین منظور، مواد آلی (کاه وکلش عدس) خردشده و در یک کوره الکتریکی در شرایط اکسیژن محدود (۲۳) و در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد (۲۴). دمای گرماکافت به صورت تدریجی بالا برده شد، به طوری که از دمای اتاق شروع شد و در هر دقیقه دمای کوره به اندازه پنج درجه سانتی‌گراد افزایش یافت تا به دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد (دمای نهایی) رسید (۲۴). سپس نمونه‌ها به مدت چهار ساعت در این دما نگهداری شدند. زغال زیستی پس از خروج از کوره در دمای اتاق به تدریج سرد شد و قبل از استفاده، از الک ۰/۵ میلی‌متری عبور داده شد (۲۰). برخی از ویژگی‌های شیمیایی زغال زیستی تولیدی توسط روش‌های استاندارد آزمایشگاهی اندازه‌گیری شدند (جدول ۲) اسیدیته با استفاده از سوسپانسیون ۱:۲۰ زغال زیستی به آب مقطر، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره ۱:۱۰ زغال زیستی به آب مقطر (۲۵) و درصد کربن، هیدروژن و نیتروژن توسط دستگاه CHN Analyzer (Thermo Finingan Flash 1112 Series) اندازه‌گیری شد. ظرفیت تبادل کاتیونی نیز از طریق روش مجموع کاتیون‌های بازی با استفاده از عصاره‌گیر استات آمونیوم ۱ مولار با اسیدیته ۷ اندازه‌گیری شدند (۲۶). جهت تعیین غلظت عنصر فسفر، از عصاره حاصل از روش خشک سوزانی و حل خاکستر در اسید کلریدریک استفاده شد (۷). در عصاره حاصل، غلظت فسفر توسط دستگاه اسپکتروفتومتری در طول موج ۴۸۰ نانومتر تعیین شد. به منظور شناسایی گروه‌های عاملی سطحی زغال زیستی نیز از دستگاه اسپکتروسکوپ FTIR (Shimadzu DR-8001) استفاده شد.

در هر مترمربع به میزان ۲ کیلوگرم زغال زیستی با خاک مخلوط شد (۲۷). بذرهای لاین‌های موردنظر از موسسه نهال و بذر کرج تهیه شد و کشت والد مادری نرعقیم (لاین اینبرد B73) و لاین پدری (لاین اینبرد Mo17) طبق دستورالعمل تولید بذر هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ انجام شد. هر کرت شامل ۱۲ ردیف (هشت ردیف لاین مادری و چهار ردیف لاین پدری) پنج متری با الگوی کشت ۲:۴، فواصل ردیف ۷۵ سانتی‌متر، فواصل بوته ۱۸ سانتی‌متر و عمق کاشت ۳-۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

آبیاری به صورت قطره‌ای هر سه روز یکبار صورت گرفت. در مرحله ۱۲-۱۰ برگی و قبل از ظهور تاسل، بوته‌های خارج از تیپ (ارتفاع بیشتر، ساقه ضخیم‌تر، برگ عریض‌تر و رشد بیشتر) حذف شدند. بعد از اتمام کامل گرده‌افشانی خطوط پدری حذف شدند. زمانی که مزرعه به رسیدگی فیزیولوژیکی و رطوبت دانه به کمتر از ۲۰ درصد رسید، یک مترمربع از هر واحد آزمایشی به تصادف انتخاب و با حذف یک ردیف از کناره‌ها و ۲۰ سانتی‌متر از ابتدا و انتها به عنوان اثر حاشیه، عملکرد و اجزای عملکرد اندازه‌گیری شدند. نمونه‌ها با توجه به شرایط اقلیمی منطقه به مدت یک هفته در هوای آزاد خشک شده و صفاتی مانند تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در ردیف، تعداد دانه در بلال، وزن هزار دانه و عملکرد ثبت شدند. نمونه‌های بذری حاصل از هر برداشت به منظور جلوگیری از اتلاف رطوبت جداگانه در کیسه های پلاستیکی ریخته شده و جهت انجام بررسی‌های بعدی به آزمایشگاه منتقل شدند. بذرها با دست از بلال جدا شدند و متعاقبا طی آزمایشات متعدد جهت تعیین کیفیت مورد ارزیابی قرار گرفتند.

آزمون های بذر

آزمون جوانه‌زنی استاندارد:

براساس روش انجمن بین‌المللی بذر (۱۳) ۴۰۰ عدد بذر در چهار تکرار ۱۰۰ تایی درون ظروف پلاستیکی مخصوص دو لایه کاغذ صافی در زیر و یک لایه کاغذ بر روی بذرها قرار داده شد (۱۳). ظرف‌های کشت شده به مدت هفت روز در تاریکی و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد درون ژرمیناتور نگهداری شدند و شمارش بذرهای جوانه‌زده برای برآورد درصد گیاهچه عادی پس از انتقال ظرف‌ها به درون ژرمیناتور شروع شد (۲۸). برای تعیین وزن خشک گیاهچه از هر تکرار ۱۰ گیاهچه عادی (که دارای ریشه اولیه و ساقه اولیه بودند) به صورت تصادفی انتخاب و سپس به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شدند و وزن خشک گیاهچه ها با استفاده از ترازوی دقیق با دقت

۰/۰۰۱ ± گرم اندازه‌گیری شد. طول گیاهچه (ساقه اولیه و ریشه اولیه) با خط‌کش با دقت یک میلی‌متر اندازه‌گیری شد. با استفاده از داده‌های شمارش روزانه بذرهای جوانه‌زده، شاخص‌های درصد گیاهچه عادی و سرعت جوانه‌زنی با استفاده از روابط زیر محاسبه گردید (۲۸).

رابطه (۱)= سرعت جوانه‌زنی $GR = \frac{\sum Gi}{\sum NiGi}$

که در آن، GR = سرعت جوانه‌زنی، Gi = تعداد بذرهای جوانه‌زده در روز i ام و Ni = شماره روز می‌باشد. درصد گیاهچه‌های عادی نیز از تقسیم تعداد گیاهچه‌های عادی تا روز آخر بر تعداد کل بذرها ضربدر ۱۰۰ به دست آمد (۱۳).

عملکرد و اجزای عملکرد

به منظور بررسی همبستگی صفات موثر بر عملکرد دانه و تعیین مهم‌ترین اجزای عملکرد، از ضریب همبستگی پیرسون و رگرسیون گام به گام استفاده شد. بدین منظور، پس از بررسی هم راستایی بر روی متغیرهای اندازه‌گیری شده صفات کم‌اهمیت از ادامه محاسبات حذف شدند. انتخاب براساس شاخص‌های تحمل و عامل تورم واریانس صورت گرفت و پس از آن تجزیه رگرسیون گام به گام بر روی سایر صفات انجام شد. برای کلیه مقایسات آماری از نرم‌افزار SAS(9.3) و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD، در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد (۲۹).

نتایج و بحث

آزمون های بذر

طول گیاهچه و درصد گیاهچه عادی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد (جدول ۳) اثر ساده تیمار سطح کودی، تیمار قارچ و تیمار زغال زیستی بر طول گیاهچه و درصد گیاهچه عادی بذور برداشت شده از گیاه مادری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده است. براساس جدول ۴ در بین سه اثر ساده (سطح کودی، تیمار قارچ و تیمار زغال زیستی)، بیشترین (۲۵/۸۰ سانتی‌متر) و کمترین (۱۷/۴۷ سانتی‌متر) طول گیاهچه به ترتیب در تیمارهای ۱۰۰ درصد سطح کودی و تیمار عدم مصرف کود و بیشترین و کمترین درصد گیاهچه عادی (۸۹/۹۹ و ۸۰/۴۹ درصد) به ترتیب در تیمارهای ۱۰۰ درصد سطح کودی و تیمار عدم مصرف کود مشاهده شد. باتوجه به نتایج، استفاده از هر دو گونه تریکودرما نیز در مقایسه با شرایط عدم کاربرد تریکودرما سبب افزایش ۲۱ درصدی طول گیاهچه و افزایش ۴۰ درصدی گیاهچه‌های عادی شد. استفاده از زغال زیستی نیز در مقایسه با شرایط عدم استفاده از آن سبب افزایش ۱۴ درصدی طول گیاهچه و افزایش ۶ درصدی گیاهچه‌های عادی شد. همچنین استفاده از کود شیمیایی نیز در مقایسه با عدم استفاده ازآن سبب افزایش ۳۲ درصدی طول گیاهچه و افزایش ۱۰ درصدی گیاهچه‌های عادی شد. اثرات متقابل بین سه تیمار معنی‌دار نشد که نشان می‌دهد اثر کاهنده یا هم‌افزایی بین تیمارهای مورد استفاده از نظر تاثیر بر طول گیاهچه و درصد گیاهچه عادی بذور تولید شده روی گیاه مادری وجود ندارد. این نتایج مبین آن است که تیمارهای زغال زیستی و تریکودرما به تنهایی نمی‌توانند اثرات قابل قیاس با اثر کودهای شیمیایی داشته باشند، اما در قیاس با تیمارهای شاهد افزایش طول گیاهچه را به همراه داشته اند. براساس نتایج به دست آمده می‌توان گزارش داد که زغال زیستی از طریق کاهش آبشویی عناصر غذایی، افزایش جذب عناصر غذایی و افزایش نگهداشت رطوبت همچنین قارچ تریکودرما از طریق کاهش بیماری‌های خاکزی و افزایش رشد و توسعه ریشه سبب افزایش طول گیاهچه و افزایش درصد گیاهچه عادی می‌شود که با نتایج بلک وال و همکاران (۳۰)، نیومان و همکاران (۳۱) و چان و همکاران (۳۲) همسو بود. وژای و همکاران (۳۳) گزارش دادند که استفاده از زغال زیستی باعث افزایش جذب عناصر غذایی بویژه فسفر می‌شود. زغال زیستی از آبشویی آمونیاک و فسفات جلوگیری می‌کند و به عنوان یک کود آلی کندرها برای عناصر نیتروژن و فسفر محسوب می‌شود (۷). لیرد و همکاران (۳۴) بیان کردند بذور بدست آمده از گیاهانی که با زغال زیستی تیمار شده‌اند، از طریق جذب بهتر عناصر غذایی، کاهش آبشویی عناصر غذایی، افزایش نگهداشت رطوبت خاک و بهبود رشد ریشه نسبت به بذوری که با زغال زیستی تیمار نشده‌اند از درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و طول گیاهچه بیشتری برخوردار بودند. نیومان و لیانگ (۳۱) نشان دادند که گونه‌های تریکودرما از طریق تحریک ریشه‌زایی، افزایش رشد ریشه‌ها، کاهش بیماری‌های خاکزی و جذب عناصر غذایی باعث

افزایش طول گیاهچه، وزن خشک گیاهچه و سرعت و درصد جوانه‌زنی می‌شوند.

وزن خشک گیاهچه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد (جدول ۳) که وزن خشک گیاهچه به طور معنی‌داری تحت تاثیر اثر متقابل سطح کودی در نوع قارچ در زغال زیستی قرار گرفت. به منظور تعیین دقیق‌تر برهمکنش سطوح مختلف توصیه کودی، زغال زیستی و قارچ تریکودرما، برش‌دهی اثرات متقابل ترکیبات تیماری مختلف زغال زیستی در قارچ تریکودرما در هر سطح کودی انجام شد. نتایج تجزیه واریانس حاصل از برش‌دهی اثرات متقابل نشان داد که در خصوص وزن خشک گیاهچه، برهمکنش قارچ و زغال زیستی تنها در شرایط مصرف کود بیشتر معنی‌دار شد (شکل ۱)، در حالی که در شرایط عدم مصرف کود و مصرف ۳۰ درصد توصیه کودی معنی‌دار نبود. همچنین نتایج نشان داد که وزن خشک گیاهچه در تیمار ۷۰ و ۱۰۰ درصد توصیه کودی بین ترکیبات تیماری قارچ *Trichoderma atroviride* و قارچ *Trichodema harzianum* در هر دو سطح استفاده و عدم استفاده از زغال زیستی تفاوت آماری معنی‌داری مشاهد نشد. حداکثر وزن خشک گیاهچه (۱/۱۲ گرم) در تیمار ۱۰۰ درصد توصیه کودی، به اثر متقابل استفاده از زغال زیستی و قارچ *Trichodema harzianum* و حداقل آن (۰/۲۱) به تیمار شاهد-شاهد-شاهد (عدم استفاده از زغال زیستی و عدم استفاده از قارچ) مربوط بود (شکل ۱). لهمان و همکاران (۳۵) نشان دادند که استفاده از زغال زیستی سبب افزایش وزن خشک گیاهچه گندم شد، هارمان (۳۶) بیان کرد که استفاده از قارچ تریکودرما در شرایط بکارگیری کودهای شیمیایی باعث افزایش سرعت جوانه‌زنی و وزن خشک گیاهچه ذرت می‌شود و نتایج بدست آمده با نتایج ژانگ و همکاران (۳۷) و نیومان و لیانگ (۳۱) مطابقت داشت.

سرعت جوانه‌زنی

براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳)، اثر متقابل سطح کودی توصیه شده در زغال زیستی در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل زغال زیستی در نوع قارچ در سطح احتمال پنج درصد بر سرعت جوانه‌زنی معنی‌دار شدند. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در تیمار قارچ *Trichodema harzianum* استفاده از زغال زیستی اثر معنی‌دار آماری بر سرعت جوانه‌زنی نداشت ولی در تیمارهای شاهد (عدم استفاده از قارچ) و قارچ *Trichoderma atroviride* استفاده از زغال زیستی سبب اختلاف معنی‌دار آماری با عدم استفاده از آن بر سرعت جوانه‌زنی شد. بیشترین سرعت جوانه‌زنی (۵/۷۵) بذر در روز مربوط به تیمار قارچ *Trichodema harzianum* در زغال زیستی و کمترین سرعت جوانه‌زنی (۳/۷۰) بذر در روز مربوط به تیمار شاهد-شاهد (عدم استفاده از قارچ – عدم استفاده از زغال زیستی) بود (شکل ۲). با توجه به نتایج مقایسه میانگین (شکل ۳) استفاده از زغال زیستی در تیمارهای ۳۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد توصیه کودی بر سرعت جوانه‌زنی در مقایسه با عدم استفاده از زغال زیستی سبب بروز اختلاف معنی‌دار آماری نشد و فقط در تیمار شاهد (عدم استفاده از کود) که استفاده از زغال زیستی در مقایسه با عدم استفاده از زغال زیستی سبب بروز اختلاف معنی‌دار آماری شد و در تیمار شاهد (عدم استفاده از کود) استفاده از زغال زیستی نسبت به عدم استفاده از زغال زیستی باعث افزایش۲۲ درصدی سرعت جوانه‌زنی شد. نتایج مبین این است که استفاده از کودی شیمایی، زغال زیستی و قارچ تریکودرما در بستر کاشت گیاه ذرت می‌تواند از طریق افزایش راندمان جذب عناصر غذایی، کاهش آبشویی، تحریک ریشه‌زایی و افزایش رشد و توسعه ریشه‌ها و افزایش دسترسی به عناصر ماکرو و میکرو سبب تولید بذوری با قوه نامیه قوی‌تر گردد. نیومان و لیانگ (۳۱) و چان و همکاران (۳۲) نشان داده‌اند که تلقیح بذور با گونه‌های تریکودرما از طریق تحریک ریشه‌زایی، افزایش رشد ریشه‌ها و بهبود جذب عناصر ماکرو و میکرو سبب تولید بذوری با قوه نامیه و شاخص بنیه بذری قوی‌تری می‌شود. زغال زیستی از طریق افزایش تخلخل خاک (۶)، بهبود توسعه ریشه‌ای (۲۹)، کاهش آبشویی (۳۸) و افزایش جذب عناصر غذایی سبب افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی می‌شود (۳۱).

عملکرد و اجزای عملکرد

تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در ردیف و تعداد دانه در بلال

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که اثرات ساده تیمار سطح کودی، تیمار قارچ و تیمار زغال زیستی بر تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در ردیف و تعداد دانه در بلال در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. براساس نتایج مقایسه میانگین استفاده از کود شیمیایی تسبت به عدم استفاده آن سبب افزایش ۲۰ درصدی تعداد ردیف در بلال، افزایش ۱۴ درصدی تعداد دانه در هر ردیف، افزایش ۴۰ درصدی تعداد دانه در هر بلال شد. (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین (جدول ۴) اثر ساده نوع قارچ نشان داد که بیشترین تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در ردیف و تعداد دانه در بلال به تیمار قارچ *Trichoderma harzianum* مربوط بود؛ استفاده از قارچ تریکودرما نسبت به عدم کاربرد آن سبب افزایش ۱۰ درصدی تعداد ردیف در بلال، افزایش ۹ درصدی تعداد دانه در هر ردیف، افزایش ۲۶ درصدی تعداد دانه در هر بلال شد. همچنین نتایج نشان داد (جدول ۴) که تیمار زغال زیستی روی تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در ردیف و تعداد دانه در بلال اثر مثبت داشت و کاربرد زغال زیستی نسبت به عدم کاربرد آن سبب افزایش ۸ درصدی تعداد ردیف در بلال، افزایش ۱۰ درصدی تعداد دانه در هر ردیف، افزایش ۱۷ درصدی تعداد دانه در هر بلال شد. آزمایش‌ها در مقیاس کوچک به ویژه در مناطق با خاک‌های فقیر از لحاظ مواد مغذی در استرالیا و امریکای جنوبی نشان داد که کاربرد زغال زیستی، منجر به بهبود ظرفیت نگهداری آب (۳۹)، افزایش جذب عناصر غذایی و افزایش عملکرد از طریق افزایش هر کدام از اجزای عملکرد می‌شود (۱۱).

آزمایش‌هایی که با استفاده از زغال زیستی بر روی زمین‌های کشاورزی انجام شده، است، نشان داده‌اند هنگامی که در خاک کشاورزی از زغال زیستی استفاده می‌شود مواد غذایی به شکل مناسبی کنترل شده و در دسترس ریشه‌های گندم قرار می‌گیرد و سبب افزایش جذب و کاهش آبشویی عناصر غذایی خاک می‌شود(۲۸). افزودن زغال زیستی به خاک همچنین ضمن کنترل مناسب عناصر غذایی و قابل‌دسترس کردن آن‌ها برای ریشه‌ها در خاک‌های کشاورزی (۱۰)، منجر به افزایش حاصلخیزی خاک و از طرفی سبب کاهش استفاده از مواد شیمیایی می‌شود (۳۶). قارچ تریکودرما نیز می‌تواند عناصر عذایی را به شکل قابل جذب تبدیل کند؛ همچنین این قارچ باعث رشد و توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه و نهایتا بهبود جذب عناصر عذایی از خاک می‌شود (۱۵). آزمایش‌ها نشان داد که استفاده از قارچ تریکودرمای T_{22} باعث فعال‌شدن سیستم دفاعی گیاه، جذب مواد غذایی بیشتر و افزایش رشد ریشه شد (۳۸). کاربرد زغال زیستی از طریق فراهم نمودن عناصر غذایی به ویژه فسفر قابل تبادل برای گیاه گندم و کاهش آبشویی عناصر غذایی باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد شد (۳۹). کاربرد کودهای شیمیایی به ویژه کودهای حاوی نیتروژن در مراحل اولیه رشد گیاه باعث کاهش سقط گلچه‌ها، افزایش قطر بلال و افزایش طول بلال و در نهایت منجر به افزایش تعداد ردیف در بلال می‌شود (۴۰، ۴۱). افزایش ۱۸ درصدی تعداد دانه در ردیف در اثر کاربرد کود شیمیایی توسط خالیک و همکاران (۳۸) نیز گزارش شده است.

وزن هزار دانه

براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳)، اثر متقابل کود در نوع قارچ در سطح احتمال پنج درصد بر وزن هزار دانه معنی‌دار شد. با توجه به نتایج مقایسه میانگین (شکل ۴) بیشترین وزن هزار دانه (۲۵۴/۴۸ گرم) به تیمار اثر متقابل ۱۰۰ درصد توصیه کودی در قارچ *Trichoderma harzianum* و کمترین وزن هزار دانه (۲۱۴/۰۳ گرم) به اثر متقابل تیمار شاهد-شاهد (عدم مصرف کود در عدم کاربرد قارچ) اختصاص یافت. نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که وزن هزار دانه به طور معنی‌داری تحت تاثیر اثر متقابل سطح کودی در زغال زیستی قرار گرفت. به منظور تعیین دقیق‌تر برهمکنش سطوح مختلف توصیه کودی و زغال زیستی، برش‌دهی اثرات متقابل ترکیبات سطوح مختلف زغال زیستی در هر سطح کودی انجام شد. نتایج مقایسه میانگین حاصل از برش‌دهی داده‌های وزن هزار دانه (شکل۴)، نشان داد که در تیمار کودی شاهد (عدم مصرف کود) و مصرف ۳۰ درصد توصیه کودی، استفاده یا عدم استفاده از زغال زیستی تفاوت

معنی‌داری در وزن هزاردانه ایجاد نکرد. بنابراین به نظر می رسد که اثر استفاده یا عدم استفاده از زغال زیستی تنها در مقادیر بیشتر کود بروز می یابد، به نحوی که در تیمارهای ۷۰ و ۱۰۰درصد توصیه کودی بین استفاده و عدم استفاده از زغال زیستی تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده شد و حداکثر وزن هزار دانه (۵۰/ ۲۵۷ گرم) در تیمار ۱۰۰ درصد توصیه کودی همرا با استفاده از زغال زیستی حاصل شد. گونه‌های تریکودرما جذب و غلظت عناصر معدنی خاک نظیر مس، فسفر، آهن، روی و سدیم را افزایش می‌دهند. این افزایش جذب در اثر بهبود ساز و کار جذبی گیاه صورت می‌گیرد (۱۴). به عنوان مثال، در مناطق فلاتی که دارای شرایط تیپیک هستند گیاه ذرت با افزایش وزن هزاردانه (باردهی) به کود نیتروژن پاسخ می‌دهد (۱۴). افزودن زغال زیستی به خاک منجر به افزایش حاصلخیزی خاک (۳۶)، کاهش آبشویی عناصر غذایی به ویژه نیترات (۲۶) و کاهش مخاطرات زیست محیطی (۲۸) افزایش وزن هزار دانه و از طرفی سبب کاهش استفاده از مواد شیمیایی می‌شود (۳۸).

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عملکرد دانه به طور معنی‌داری تحت تاثیر اثر متقابل سطح کودی در نوع قارچ قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها (شکل ۵) نشان داد که تیمار اثر متقابل ۱۰۰ درصد توصیه کودی در قارچ *Trichoderma harzianum* نسبت به تیمار اثر متقابل شاهد-شاهد (عدم مصرف کود و عدم کاربرد قارچ) سبب افزایش ۵۵ درصدی عملکرد دانه شد.

نتیجه مطالعه ژو و همکاران (۳۹) نشان داد که استفاده از زغال زیستی کامپوزیت رئولیت اکسید فرومانژ یک روش بالقوه برای کاهش تجمع کادمیوم در گیاه برنج و بهبود کمیت و کیفیت دانه های برنج است. گونه‌های تریکودرما باعث القای مقاومت در گیاه و فعال‌شدن سیستم دفاعی گیاه می‌شوند. این ساز و کار ممکن است انرژی‌بر باشد و گیاه را به جذب مواد غذایی بیشتری وادار کند. به هر حال قارچ‌های القاءکننده مقاومت باعث افزایش رشد ریشه، رشد قسمت‌های هوایی گیاه، اجزای عملکرد و در نهایت عملکرد گیاه می‌شوند (۴، ۴۱). نیتروژن نیز باعث تداوم سطح برگ و در نتیجه افزایش میزان فتوسنتز برگ و در نهایت افزایش عملکرد می‌شود (۴۰، ۴۱). همبستگی صفات اندازه‌گیری شده با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون، نشان داد (جدول ۵) که عملکرد دانه دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با صفات تعداد ردیف در بلال (۷۲ درصد)، تعداد دانه در ردیف (۷۹ درصد)، تعداد دانه در بلال (۸۴ درصد) و وزن هزاردانه (۸۷ درصد) می‌باشد و نتایج بررسی هم‌راستایی صفات براساس شاخص عامل تورم واریانس (جدول ۶) نشان داد که وزن هزار دانه و تعداد دانه در بلال داری بیشترین همبستگی با عملکرد دانه می‌باشند. که این نتیجه با گزارش کورس (۱۹۹۱) مطابقت دارد. عملکرد دانه بیشترین همبستگی مثبت را با صفت وزن هزار دانه (۰/۸۷) و صفت تعداد دانه در بلال (با ضریب همبستگی ۰/۸۴) داشت (جدول ۵) که با نتایج کالا و همکاران (۴۰) که بیان نمودند عملکرد دانه با وزن هزار دانه و تعداد دانه در بلال همبستگی مثبت و معنی‌داری دارد، مطابقت داشت. این نتایج با نتایج حاصل از رگرسیون گام به گام نیز همخوان بود. طبق نتایج رگرسیون گام به گام (جدول ۷)، وزن هزار دانه به تنهایی ۷۵ درصد و همراه با تعداد دانه در بلال، ۸۱ درصد تغییرات عملکرد دانه را توجیه نمودند. گاردینی و همکاران (۱۹۸۷) نیز با استفاده از تجزیه رگرسیون گام به گام (جدول ۷)؛ صفات تعداد کل دانه، بیوماس و ارتفاع گیاه ذرت را بعنوان صفات موثر بر عملکرد دانه این گیاه معرفی کردند.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که استفاده توأم از زغال زیستی و گونه قارچ تریکودرما هارزیانوم در شرایط استفاده از سطوح بالای توصیه کودی به افزایش بهره‌وری در استفاده از کود و بهبود کیفیت بذور تولید شده منجر و این کار باعث تولید و استقرار یکسان گیاهچه‌های سالم در سطح مزرعه و در نهایت افزایش عملکرد می‌گردد که پیامد آن کمک به اقتصاد کشاورز و کاهش مخاطرات ناشی از تولید کم محصول است. به نظر می‌رسد تیمارهای مورد استفاده سبب افزایش کارایی نهاده‌ها می‌شوند، ولی برهمکنش قارچ‌ها با زغال زیستی سبب شده تا اختلاف بین تیمارها بروز کند. تأثیرزغال زیستی بر کاهش آبشویی نیتروژن در خاک، افزایش عناصر غذایی در خاک، افزایش کارایی آب و بهبود استفاده از مواد مغذی از طریق تغییر ویژگی‌های شیمیایی،

زیستی و فیزیکی خاک و مهم‌تر از همه در تمام سطوح کودی ترکیب زغال زیستی با قارچ‌های تریکودرما در خاک‌های حاشیه‌ای با کربن آلی باعث پرورش میکروب‌های خاک برای جذب مواد مغذّی ضروری می‌شود و بدین ترتیب موجب افزایش توان باروری و حاصلخیزی خاک و در نتیجه افزایش رشد، کمیت و کیفیت محصول می‌شود. نتایج این تحقیق در کل نشان داد که هرکدام از قارچ‌ها و نیز استفاده از زغال زیستی تأثیر مثبتی بر عملکرد داشتند، اما برهمکنش بین آن‌ها سودمندتر از کاربرد آن‌ها به تنهایی بود. بر این اساس به نظر می‌رسد به احتمال زیاد کاربرد مایه تلقیح قارچی به عنوان کود زیستی همراه با زغال زیستی در زراعت ذرت می‌تواند مؤثر واقع شده و با رواج آن در در نظام‌های کشت ذرت به صورت مصرف توأم با کودهای آلی می‌توان ضمن افزایش کارایی مصرف کود ،باعث افزایش عملکرد در این گیاه شده و افزایش امنیت خاک‌های زراعی و کاهش آلودگی زیست‌محیطی را در راستای کشاورزی پایدار به ارمغان آورد. نتایج نهایی این تحقیق نشان داد که در راستای پایدارسازی نظام‌های کشاورزی و کاهش نهاده‌های برون مزرعه‌ای، استفاده از زغال زیستی، قارچ‌ها و یا ترکیب این دو نهاده می‌تواند به عنوان یک مدیریت زراعی-زیستی مطلوب مد نظر قرار گیرد. تأثیر یکسویه و یا هم‌افزای هرکدام از این عوامل بر اجزای عملکرد، روابط اونتوژنی بین اجزای عملکرد و در نهایت افزایش تولید به ازای مصرف نهاده شیمیایی کم‌تر می‌تواند راهبرد فشرده‌سازی پایدار نظام‌های کشاورزی و جایگزینی بخشی از نهاده‌ها با نهاده‌های پاک امیدبخش باشد. مطالعات پایه و کاربردی در خصوص نهاده‌های پاک مسیری است که در دهه‌های آتی باید پیموده شود. نتایج این تحقیق در مجموع نشان داد که حضور عوامل زیستی به ویژه در شرایطی که مصرف کودهای شیمیایی برای تأمین نیاز گیاه کافی است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1. physical and chemical characteristics of the soil in experimental site

عمق خاک(cm)	درصد رطوبت اشباع (%)	پتاسیم قابل جذب (mg/kg)	فسفر قابل جذب (mg/kg)	نیتروژن کل (%)	کربن آلی (%)	هدایت الکتریکی (dS/m)	اسیدیتهpH	بافت خاک
۰-۳۰	۴۴	۲۱۰	۷	۰/۰۴	۰/۸	۰/۲۱	۷/۲۱	لومی - شنی

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی زغال زیستی

Table 2. Physical and chemical state of the biochar.

اسیدیته (pH)	قابلیت هدایت الکتریکی (dS/m)	کربن آلی (%)	نیتروژن کل (%)	درصد اشباع رطوبت	سطح ویژه (m^2/g)	فسفر قابل دسترس (mg/kg)	پتاس قابل دسترس (mg/kg)
۶/۸۵	۰/۷۴	۵۲/۲	۱۶/۷۶	۶۲	۴۷/۶۰	۱۰/۹	۲/۲۴

جدول ۳- تجزیه و تحلیل واریانس برای داده های مربوط به اثر تیمارهای مورد مطالعه بر روی آزمون جوانه زنی استاندارد و عملکرد و اجزای عملکرد

Table 3. Analysis of variance for the data related to the effect of studied treatments regarding standard germination test and Yield and yield components

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		آزمون جوانه زنی استاندارد				عملکرد و اجزای عملکرد			
		طول گیاهچه (سانتی‌متر)	سرعت جوانه‌زنی	گیاهچه نرمال (درصد)	وزن خشک گیاهچه (گرم)	وزن هزار دانه (گرم)	تعداد ردیف در بلال	تعداد دانه در ردیف	تعداد دانه در بلال
تکرار	۲	۲۲/۳۲	۰/۱۱	۸/۰۳	۰/۰۰۱	۱۸۰۴/۵۰	۰/۸۱۴	۵۲/۶۶	۴۶۸۹۱/۵
کود	۳	۲۹۷/۷۷**	۲/۲۳**	۳۶۸/۳۷**	۰/۷۰**	۴۲۱۰۳/۱۸**	۶۷/۴۲۵**	۱۰۱۲/۴۸**	۵۳۵۸/۷**
خطا	۶	۱۹/۰۶	۰/۴۵	۲۳/۴۶	۰/۱۳	۸۲۶/۹۰	۵/۹۲۲	۳۲/۵۸	۳۳۶۶/۰۳
قارچ	۲	۹۷/۴۰**	۱/۹۹**	۱۵۲/۴۷**	۰/۳۲**	۶۶۵۸/۱۷**	۲۳/۶۸۱**	۵۹۲/۷۳**	۱۶۰۴/۵**
زغال زیستی	۱	۳۹۱/۵۳**	۱۶/۱۵**	۱۳۵۷/۲۰**	۰/۶۶**	۲۵۸۶/۷۹**	۱۵/۳۰۸**	۳۱۴/۴۵**	۹۷۱۳/۴**
کود * قارچ	۶	۳/۹۰ ns	۰/۰۴ ns	۲۷/۲۹ ns	۰/۰۲**	۱۴۱۵/۷۵ *	۵/۲۶۵ns	۹۷/۸۸ns	۱۲۵۳/۹ ns
کود * زغال زیستی	۳	۲/۲۶ ns	۰/۶۵**	۲۰/۷۸ ns	۰/۰۱۸**	۸۴۳/۳۰*	۳/۲۸۱ ns	۳۲/۴۹ ns	۷۴۱/۴ ns
زغال زیستی * قارچ	۲	۶/۳۸ ns	۰/۴۸*	۸/۱۴ ns	۰/۰۰۸ ns	۴۲/۸۹ ns	۲/۷۱۴ ns	۴۴/۵۸ ns	۷۰۹۸/۷ ns
کود * زغال زیستی * قارچ	۶	۵/۳۳ ns	۰/۰۶۲ ns	۳/۱۹ ns	۰/۰۱۵**	۱۹۷/۸۲ ns	۲/۷۱۸ ns	۹۵/۰۷ ns	۱۹۳۲/۵ ns
خطا	۴۰	۷/۰۶	۰/۰۹۵	۱۲/۴۷	۰/۰۰۲	۱۰۹۳/۳۶	۷/۷۵۵	۵۲/۸۵	۶۷۱۲
ضریب تغییرات (درصد)		۱۱/۲	۶/۸	۴	۲/۲	۱۳/۶	۲۱/۷	۱۹/۳	۱۶/۸

ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌داری و معنی‌داری در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد.

جدول ۶ – نتایج بررسی هم‌راستایی صفات براساس شاخص عامل تورم واریانس

Table 6. The results of studying the alignment of traits based on the variance inflation factor index

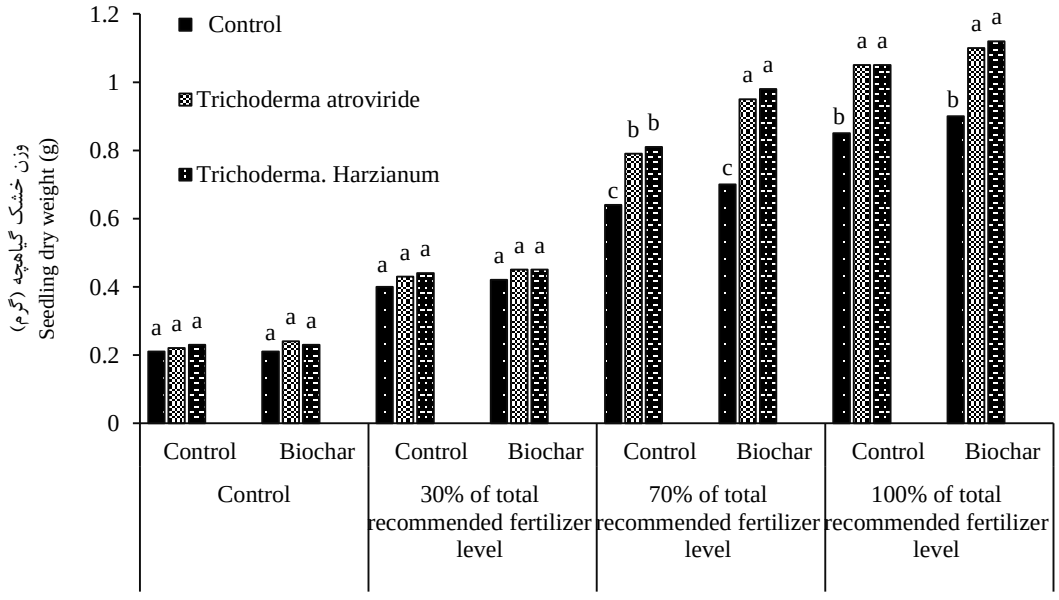
صفت	عامل تورم واریانس	عامل تورم واریانس/۱
تعداد ردیف در بلال	۲/۷۳	۰/۳۶۶۹۶۵
تعداد دانه در ردیف	۲/۵۱	۰/۳۹۸۳۲۵
تعداد دانه در بلال	۱/۴۱	۰/۷۰۶۸۰۵
وزن هزار دانه	۱/۰۲	۰/۹۷۶۶۶۶

جدول ۷ – نتایج رگرسیون گام به گام (با در نظر گرفتن عملکرد دانه به عنوان متغیر وابسته و سایر صفات به عنوان متغیر مستقل در هیبرید ذرت دانه ای تولید شده) تحت اثر سطوح کودی، نوع قارچ و زغال زیستی

Table 7. Stepwise regression results (yield as dependent and all yield components as independent varaiables) for maize grown under different fertilizer, biochar and Trichoderma fungus

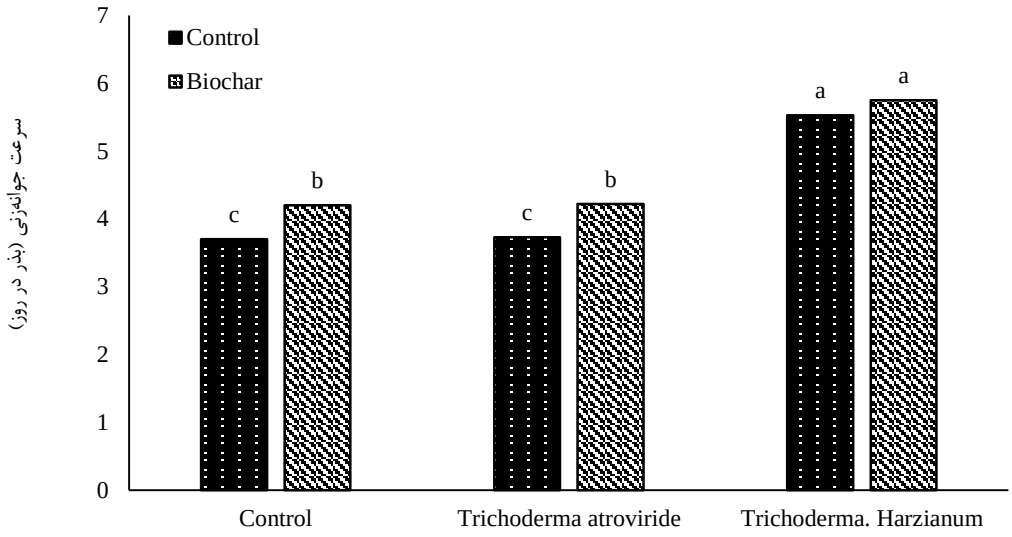
	گام اول		گام دوم	
	رگرسیون	خطا	رگرسیون	خطا
صفت	وزن هزار دانه		تعداد دانه در بلال	
میانگین مربعات	۹۱/۴۸	۰/۶۴	۴۹/۱۷	۰/۵۷
مقدار F	۲۱۶/۶۰**		۱۴۹/۴۷**	
ضریب تبیین	۰/۷۵		۰/۸۱	

Ns ، * و ** به ترتیب غیر معنی‌داری و معنی‌داری در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد.



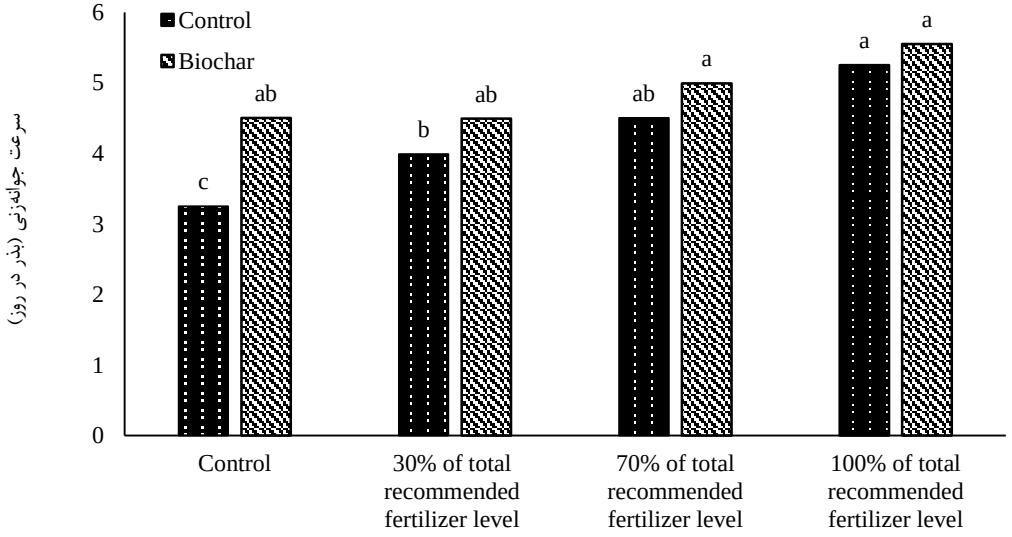
شکل ۱- برش‌دهی اثر متقابل ترکیبات تیماری مختلف زغال زیستی در قارچ تریکودرما در هر سطح کودی بر وزن خشک گیاهچه

Figure 1. Sliced Mean comparison the effect different biochar coal treatment compounds in Trichoderma at each fertilizer level on Seedling dry weight



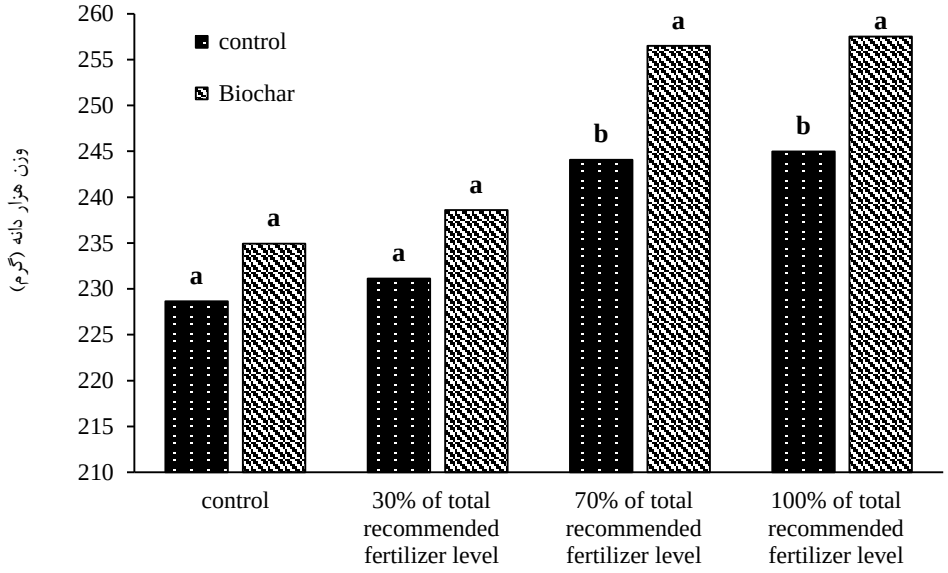
شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل قارچ در زغال زیستی بر سرعت جوانه‌زنی

Figure 2. Mean comparison of intracted effect of fungi at Biochar on the Germination rate



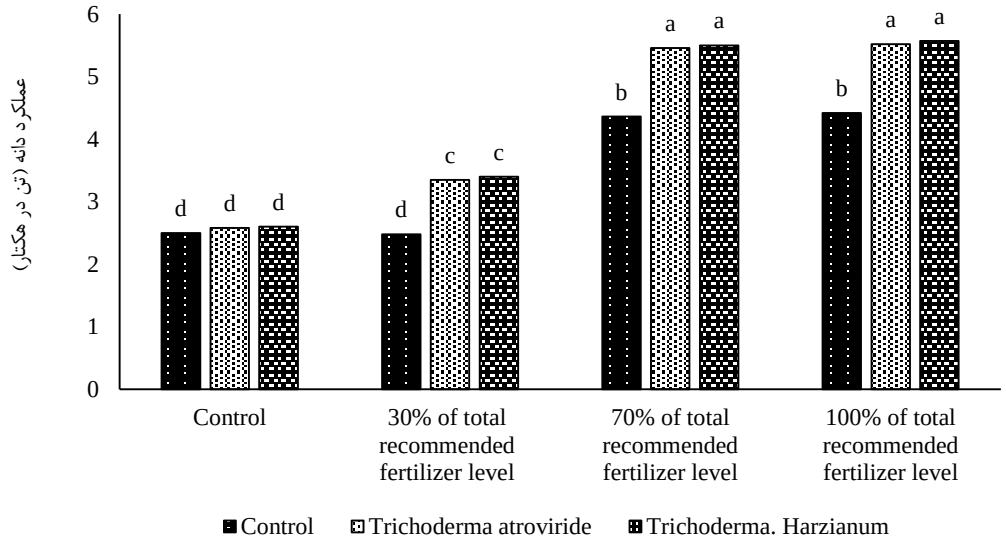
شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف کودی در زغال زیستی بر سرعت جوانه‌زنی

Figure 3. Mean comparison of intracted effect of fertilizer at Biochar on the Germination rate



شکل ۴ - برش‌دهی اثرات متقابل سطوح مختلف زغال زیستی در هر سطح کودی بر وزن هزاردانه

Figure 4. Sliced Mean comparison the effect of different levels biochar at each fertilizer level on 1000 Grain weight



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف کودی در قارچ بر عملکرد دانه

Figure 5. Mean comparison of intracted effect of fertilizer at fungi on the grain yield

Fertilizer Soils, Vol. 50(1), pp. 169-178.

2. Maguire, J. D., 1962. Speed of Germination—Aid In Selection And Evaluation for Seedling Emergence And Vigor1. Crop science, Vol. 2(2), pp. 176-177.

References

1. Farrell, M., Macdonald, L. M., Butler, G., Chirino-Valle, I., Condron, L. M., 2014. Biochar and fertiliser applications influence phosphorus fractionation and wheat yield. Biology

3. Agbede, T.M., Oyewumi, A., 2022. Benefits of biochar, poultry manure and biochar–poultry manure for improvement of soil properties and sweet potato productivity in degraded tropical agricultural soils. Resources, Environment and Sustainability, Vol. 7, pp.151.
4. Zebarth, B. J., Sheard, R. W., 1992. Influence of rate and timing of nitrogen fertilization on yield and quality of hard red winter wheat in Ontario. Journal Plant Science, Vol. 72(1), pp.13-19.
5. Ahmad Yousefi, M., Kamkar, B., Amiri Nezhad, M., Gharekhloo, J., 2019. Assessment of the effect of different chemical fertilizers, biochar and Trichoderma fungi treatments at mother plant on germination and other hybrid corn KSC 704 seed germination components in maternal growth under accelerated aging test. Iranian Journal of Seed Science and Research, Vol. 6, pp. 133-144. (In Persian)(Journal of Seed Science and Resarch).
6. Sun, J., Norouzi, O. and Mašek, O., 2021. A state-of-the-art review on algae pyrolysis for bioenergy and biochar production. Bioresource technology, pp.126-258.
7. Li, Y., Long, X., Chong, Y., Yu, G., Huang, Z., 2017. Characterization of the cell_Fe mineral aggregate from nitrogen removal employing ferrous and its adsorption features to heavy metal. Journal cleaner production. Vol. 156, pp. 538-548.
8. Wang, B., Ma, Y., Lee, X., Wu, P., Liu, F., Zhang, X., Li, L. and Chen, M., 2021. Environmental-friendly coal gangue-biochar composites reclaiming phosphate from water as a slow-release fertilizer. Science of the Total Environment, Vol. 758, pp.143-164.
9. Woolf, D., Amonette, J. E., Street-Perrott, F. A., Lehmann, J., Joseph, S., 2010. Sustainable biochar to mitigate global climate change. Nature communications, Vol. 1, pp. 56.
10. Harman, G. E., Howell, C. R., Viterbo, A., Chet, I., Lorito, M., 2004. Trichoderma species—opportunistic, avirulent plant symbionts. Nature reviews microbiology, Vol. 2(1), pp. 43.
11. Tang, J., Zhu, W., Kookana, R., Katayama, A., 2013. Characteristics of biochar and its application in remediation of contaminated soil. Journal Biosci Bioengineer, Vol. 116(6), pp. 653-659.
12. Ahmad, M., Rajapaksha, A. U., Lim, J. E., Zhang, M., Bolan, N., Mohan, D., Ok, Y. S., 2014. Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: a review. Chemosphere, Vol .99, pp. 19-33.
13. International Seed Testing Association (ISTA)., 2008. International rules for seed testing. Basserdorf, Switzerland.
14. Macdonald, L. M., Farrell, M., Van Zwieten, L., Krull, E. S., 2014. Plant growth responses to biochar addition: an Australian soils perspective. Biology Fertilizer Soils, Vol. 50(7), pp. 1035-1045.
15. Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riha, S. J., Lehmann, J., 2010. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. Plant soil, Vol. 333(1-2), pp. 117-128.
16. Major, J., Steiner, C., Downie, A., 2009. Biochar effects on nutrient leaching. In 'Biochar for environmental management'.(Eds J Lehmann, S Joseph) pp. 203–321.

17. Borchard, N., Spokas, K., Prost, K., Siemens, J., 2014. Greenhouse gas production in mixtures of soil with composted and noncomposted biochars is governed by char-associated organic compounds. Journal environemtal quali, 43(3), pp. 971-979.
18. Madiba, O. F., Solaiman, Z. M., Carson, J. K., Murphy, D. V., 2016. Biochar increases availability and uptake of phosphorus to wheat under leaching conditions. Biology Fertilizer Soils, Vol. 52(4), pp. 439-446.
19. Baker, B., Zambryski, P., Staskawicz, B., Dinesh-Kumar, S. P., 1997. Signaling in plant-microbe interactions. Science, Vol. 276(5313), pp. 726-733.
20. Jin, J., Liu, X., Wang, G., Mi, L., Shen, Z., Chen, X., Herbert, S. J., 2010. Agronomic and physiological contributions to the yield improvement of soybean cultivars released from 1950 to 2006 in Northeast China. Field Crops Research, Vol. 115(1), pp. 116-123.
21. Lal, R., 2011. Sequestering carbon in soils of agro-ecosystems. Food policy, Vol. 36, S33-S39.
22. Tatarková, V., Hiller, E., Vaculík, M., 2013. Impact of wheat straw biochar addition to soil on the sorption, leaching, dissipation of the herbicide (4-chloro-2-methylphenoxy) acetic acid and the growth of sunflower (Helianthus annuus L.). Ecotoxicology and Environmental Safety, Vol. 92, pp. 215-221.
23. Ji, C., Cheng, K., Nayak, D., Pan, G., 2018. Environmental and economic assessment of crop residue competitive utilization for biochar, briquette fuel and combined heat and power generation. Journal cleaner production, Vol. 192, pp. 916-923.
24. Husk, B., Major, J., 2011. Biochar commercial agriculture field trial in Québec, Canada–year three: Effects of biochar on forage plant biomass quantity, quality and milk production. International Biochar Initiative. Vol. 8, pp. 342- 352.
25. Girardin, P., Tollenaar, M., Deltour, A., Muldoon, J., Meyer, J. L., 1987. Temporary N starvation in maize (*Zea mays* L.): effects on development, dry matter accumulation and grain yield. Agronomie, Vol. 7(4), pp. 289-296
26. Lorenz, K., Lal, R., 2014. Biochar application to soil for climate change mitigation by soil organic carbon sequestration. J. Plant Nutr. Soil Science, Vol. 177(5), pp. 651-670.
27. Higashikawa, F. S., Conz, R. F., Colzato, M., Cerri, C. E. P., Alleoni, L. R. F., 2016. Effects of feedstock type and slow pyrolysis temperature in the production of biochars on the removal of cadmium and nickel from water. Journal cleaner production, Vol. 137, pp. 965-972.
28. Ghassemi-Golezani, K., Mardfar, R. A., 2008. Effects of limited irrigation on growth and grain yield of common bean. Journal Plant Science, Vol. 3(3), pp. 230-235.
29. Blackwell, P., Krull, E., Butler, G., Herbert, A., Solaiman, Z., 2010. Effect of banded biochar on dryland wheat production and fertiliser use in south-western Australia: an agronomic and economic perspective. Soil Research, Vol. 48(7), pp. 531-545.
30. Neumann, B., Laing, M., 2006. Trichoderma: an ally in the quest for soil system sustainability. Biological Approaches to Sustainable Soil System.

Taylor and Francis, Boca Raton, FL, pp. 491-500.

31. Cheng, C. H., Lehmann, J., Thies, J. E., Burton, S. D., Engelhard, M. H., 2006. Oxidation of black carbon by biotic and abiotic processes. Org. geochem, Vol. 37(11), pp. 1477-1488.
32. Zhai, L., CaiJi, Z., Liu, J., Wang, H., Ren, T., Gai, X., Liu, H., 2015. Short-term effects of maize residue biochar on phosphorus availability in two soils with different phosphorus sorption capacities. Biology Fertilizer Soils, Vol. 51(1), pp.113-122.
33. Laird, D., Fleming, P., Wang, B., Horton, R., Karlen, D., 2010. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. Vol. 158(3-4), pp. 436-442.
34. Lehmann, J., Gaunt, J., Rondon, M., 2006. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems–a review. Mitigation and adaptation strategies for global change, Vol. 11(2), pp. 403-427.
35. Harman, G. E., 2000. Myths and dogmas of biocontrol changes in perceptions derived from Research on Trichoderma harzinum T-22. Plant diseace, Vol. 84(4), pp. 377-393.
36. Khaliq, T. A. S. N. E. E. M., Mahmood, T. A. R. I. Q., Kamal, J. A. V. E. D., Masood, A. M. I. R., 2004. Effectiveness of farmyard manure, poultry manure and nitrogen for corn (*Zea mays* L.) productivity. International Journal Agriculture Biology, Vol. 2, pp. 260-263.
37. Zhang, A., Cui, L., Pan, G., Li, L., Hussain, Q., Zhang, X., Crowley, D., 2010. Effect of biochar amendment on yield and methane and nitrous oxide emissions from a rice paddy from Tai Lake plain, China. Agriculture, Ecotoxicology and Environmental Safety, vol. 139(4), pp. 469-475.
38. Zhang, J., Wang, Q., 2016. Sustainable mechanisms of biochar derived from brewers' spent grain and sewage sludge for ammonia–nitrogen capture. Journal cleaner prodcution, vol. 112, pp. 3927-3934.
39. Kalla, V., Kumar, R., Basandrai, A. K., 2001. Combining ability analysis and gene action estimates of yield and yield contributing characters in maize (*Zea mays* L.). Crop Research, Vol. 22(1), pp. 102-106.
40. Zhou, Q., Lin, L., Qiu, W., Song, Z., Liao, B., 2018. Supplementation with ferromanganese oxide–impregnated biochar composite reduces cadmium uptake by indica rice (*Oryza sativa* L.). Journal cleaner prodcution, vol. 184, pp. 1052-1059.