نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی
سال سیزدهم / شماره دوم / تابستان ۱۴۰۲/مقاله علمی-پژوهشی: صفحات ۸۷ تا ۱۰۱

بهبود عملکرد، اجزای عملکرد و غلظت برخی عناصر غذایی در برگ برنج با مصرف کاه برنج و بایوچار حاصل از آن

سید علیرضا موسوی الیردی[۱]، محمدعلی بهمنیار[۲*]، فردین صادق‌زاده[۳] و بهی جلیلی[۴]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۰۳)

چکیده

به‌منظور بررسی امکان بهبود عملکرد، اجزای عملکرد و غلظت برخی عناصر غذایی در برگ برنج (رقم طارم) با مصرف کاه برنج و بایوچار حاصل از آن، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در نه تیمار و سه تکرار در مزرعه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در سال ۱۴۰۰ اجرا شد. فاکتور اول کاه برنج (S) در سه سطح صفر، ۲ و ۴ تن در هکتار و فاکتور دوم بایوچار کاه برنج (B) در سه سطح صفر، ۱ و ۲ تن در هکتار بود. نتایج نشان داد که حداکثر میزان پتاسیم (۱/۲۲ درصد)، نیتروژن (۴/۷۳ درصد) و آهن برگ پرچم (۲۰۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در سطوح بالای کاه برنج و مخصوصاً بایوچار آن دیده شد. همچنین میزان سیلیسیم، منگنز و روی برگ پرچم با افزایش سطوح کاه برنج و بایوچار آن افزایش یافتند. با افزایش کاربرد کاه برنج و بایوچار آن تعداد پنجه در بوته، ارتفاع بوته، طول خوشه، وزن هزار دانه و تعداد دانه پر به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. کاربرد توأم کاه برنج و بایوچار آن موجب افزایش عملکرد دانه برنج شد که در تیمار ۲ تن بایوچار کاه برنج در هکتار + ۴ تن کاه برنج در هکتار (S_2B_2) نسبت به شاهد به میزان ۱/۷۸ برابر افزایش پیدا کرد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد ۲ تن بایوچار در هکتار و ۴ تن کاه برنج در هکتار می‌تواند با افزایش غلظت عناصر غذایی برگ پرچم و بهبود رشد و اجزای عملکرد برنج سبب دستیابی به حداکثر عملکرد دانه شود.

واژه‌های کلیدی: پتاسیم، سیلیسیم، خوشه، عناصر کم مصرف، موادآلی، نیتروژن

۱، ۲، ۳ و ۴. به‌ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد، استاد، دانشیار و استادیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: mali.bahmanyar@gmail.com

مقدمه

با توجه به روند رو به افزایش جمعیت جهان، طبق آمارهای سازمان خواروبار جهانی (فائو) تا سال ۲۰۳۰ به ۵۵۰ میلیون تن برنج نیاز خواهد بود تا بتوان میزان تقاضای جمعیت جهان را به این منبع مهم غذایی تأمین نمود. این در حالی است که بیشتر شالیزارهای موجود مورد بهره برداری قرار گرفته‌اند و به‌دلیل گسترش صنعت و شهرنشینی امکان افزایش سطح زیر کشت وجود ندارد (۱۱). بنابراین استفاده کارآمدتر از زمین‌های زراعی موجود از طریق تأمین و بهبود میزان عملکرد برنج در واحد سطح جهت تأمین امنیت غذایی، رشد اقتصادی و رسیدن به توسعه پایدار ضروری می‌باشد (۸ و ۲۱).

بایوچار یک ماده جامد سیاه رنگ، متخلخل، غنی از کربن است که طی فرآیند ترموشیمیایی پیرولیز و از حرارت دادن زیست توده، شامل بقایای گیاهی، ضایعات کشاورزی (کاه گندم، ذرت، سبوس برنج و تفاله نیشکر)، چوب، کود، یا برگ در عدم حضور یا حضور میزان اندک اکسیژن حاصل می‌شود (۱۵). با توجه به ساختار مولکولی، بایوچار در برابر تجزیه توسط ریزجانداران در خاک بسیار مقاوم می‌باشد و اثرات آن برای مدت طولانی‌تری در خاک باقی می‌مانند و در دراز مدت هم روی کیفیت خاک تأثیر دارند و ثبات آن در خاک تا ۱۰۰۰ سال گزارش شده است (۳۶). در سال‌های اخیر و در کشاورزی پایدار از بایوچار به عنوان کود آلی، به‌دلیل داشتن کربن آلی به ویژه در مناطق خشک و دارای خاک شنی به عنوان اصلاح‌کننده خاک، بهبود دهنده حاصلخیزی، خواص فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک و به نوعی روشی برای ترسیب کربن در خاک‌های کشاورزی و جلوگیری از انتشار گاز گلخانه‌ای و گرم شدن کره زمین استفاده شده است (۱۳ و ۲۳ و ۳۵). در مقایسه با سایر مکمل‌های خاک، بایوچار به‌دلیل دارا بودن سطح ویژه بالا، بار سطحی منفی، چگالی پایین و تخلخل زیاد، می‌تواند با افزایش pH و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک منجر به جذب و حفظ عناصر غذایی و آب روی سطوح خاک و افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاه شده و تلفات آبشویی عناصر غذایی را کاهش دهد و درنتیجه منجر به افزایش حاصلخیزی خاک و کاهش نیازمندی کوددهی و هزینه آن و فراهم نمودن یک زیستگاه مناسب برای رشد ریزجانداران مفید شود (۳۹).

اغلب گزارش می‌شود که بهره‌وری کشاورزی با استفاده از بایوچار در خاک افزایش می‌یابد، اما تنوع زیاد است و هنوز مشخص نیست که در چه شرایط خاک، اقلیمی و گونه‌های گیاهی می‌توان عملکرد بالا یا پایین انتظار داشت (۳). جین و همکاران (۱۹) دریافتند بایوچار پوسته بادام زمینی به‌طور قابل توجهی غلظت پتاسیم برگ را افزایش داد. علاوه بر این، بایوچار پوسته بادام زمینی می‌تواند اثرات مفیدی بر محتوای نیتروژن برگ داشته باشد. همچنین بولحسنی و همکاران (۴) در پژوهشی با عنوان اثر بایوچار پوسته برنج و باکتری محرک رشد بر عملکرد و ترکیب شیمیایی اسفناج در خاک تحت تنش شوری، نتیجه گرفتند که استفاده از مواد آلی ازجمله بایوچار به عنوان یک ماده اصلاح‌کننده خاک و منبع غنی از عناصر غذایی، می‌تواند تا حد زیادی سبب افزایش فراهمی عناصر غذایی در گیاه اسفناج شود. محمودسلطانی و عباسیان (۲۶) در پژوهشی نشان دادند مصرف ۲۰ تن بایوچار در هکتار بدون مصرف کود روی باعث بیشترین ارتفاع بوته شده است. بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک با افزودن بایوچار سبوس و کاه برنج به خاک تحت کشت برنج موجب بهبود رشد گیاه برنج و همچنین افزایش ارتفاع برنج شده است. همچنین فلاح طوله‌کلایی و همکاران (۱۰) به این نتیجه رسیدند که بیشترین طول خوشه، وزن هزار دانه و تعداد دانه پر در تیمار ۶ گرم بایوچار کلش برنج به همراه ۳۰ گرم کمپوست در کیلوگرم خاک مشاهده شد و کمترین آن‌ها در تیمار شاهد به‌دست آمد و بیشترین ارتفاع گیاه و تعداد پنجه در تیمار ۶ گرم بایوچار تفاله نیشکر به همراه ۳۰ گرم کمپوست در کیلوگرم خاک حاصل شد. اما سطوح ۳۰ گرم کمپوست به همراه تیمار بایوچارها کمترین میزان دانه پوک را دارا بودند در نتیجه با افزایش سطح کمپوست و بایوچار مخصوصاً بایوچار کلش برنج، میزان عملکرد دانه نیز افزایش یافت. بنابراین استفاده از زیست توده

گیاهی مثل کاه برنج و بایوچار آن (به‌عنوان اصلاح‌کننده و حاوی عناصر معدنی) به‌خصوص در سطوح بالای کاربرد می‌تواند راهکاری برای کاهش محدودیت بهره‌وری در خاک باشد و کارایی بیشتری در بهبود خصوصیات شیمیایی خاک، خصوصیات مورفولوژیکی گیاه، تغذیه و عملکرد گیاه برنج خواهد داشت. با این همه، از آنجا که تحقیقات بسیار اندکی در زمینه بکارگیری بایوچار از کاه برنج و مقایسه آن با کاربرد مستقیم کاه برنج در اراضی برنجکاری با توجه به ماندگاری بالای بایوچار و غنی بودن از نظر عناصر مغذی، صورت پذیرفته است، پژوهش حاضر با هدف بررسی امکان بهبود عملکرد، اجزای عملکرد و غلظت برخی عناصر غذایی در برگ برنج با مصرف کاه برنج و بایوچار حاصل از آن انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی بهبود عملکرد، اجزای عملکرد برنج و غلظت برخی عناصر غذایی در برگ برنج با مصرف کاه برنج و بایوچار حاصل از آن، یک قطعه زمین شالیزاری به مساحت تقریبی ۱۰۰۰ مترمربع از اراضی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۹ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۳ دقیقه شرقی از نصف النهار گرینویچ با ارتفاع ۱۶ متر از سطح دریا در سال ۱۴۰۰ انتخاب شد و خاک آن جهت تعیین برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی طبق روش‌های مرسوم از جمله بافت، کربن آلی، pH و همچنین مقادیر N کل، P, K, Fe, Zn, Cu, Mn و Si قابل جذب قبل از کشت (از عمق صفر تا ۲۵ سانتی‌متری) نمونه برداری و آماده‌سازی شد.

آنالیز و اندازه‌گیری‌های مربوط به خاک شامل اسیدیته در گل اشباع و قرائت با استفاده از الکترود شیشه‌ای دستگاه pH متر (۲۷)، هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع و قرائت توسط دستگاه EC سنج (۲۸)، بافت خاک به روش هیدرومتری (۱۲)، کربن آلی به روش والکی بلک (۲۸)، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به روش استات آمونیوم (۵) با دستگاه فلیم فتومتر (Sherwood 410, UK)، نیتروژن کل به روش هضم کجلدال (۴۰) با استفاده از دستگاه کجلتک (Kjeltec 2300, Denmark)، فسفر قابل جذب توسط استخراج با بیکربنات سدیم (۳۰) به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر (PG Instrument T90+, UK)، پتاسیم قابل جذب توسط استخراج با استات آمونیوم (۴۰) به کمک دستگاه فلیم فتومتر (Sherwood 410, UK)، عناصر کم مصرف (Fe, Zn, Cu, Mn) قابل جذب عصاره‌گیری توسط DTPA (۲۵) و با دستگاه جذب اتمی (Varian SpectrAA-10, Australia) و سیلیسیم قابل جذب خاک به روش عصاره‌گیری با کلسیم کلرید یک صدم مولار (۱۷) به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر (PG Instrument T90+, UK) انجام شد (جدول ۱).

در این مطالعه، رقم برنج مورد کشت، طارم بود و آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در نه تیمار و سه تکرار اجرا شد. فاکتور اول کاه برنج (S) در سه سطح ۰، ۲ و ۴ تن در هکتار (به‌ترتیب S_0، S_1، S_2) و فاکتور دوم بایوچار کاه برنج (B) در سه سطح صفر، ۱ و ۲ تن در هکتار (به ترتیب B_0، B_1، B_2) بود.

ابعاد هرکرت ۲×۲ متر و گیاهچه‌های یکدست رقم طارم با فواصل ۲۰ در ۲۰ سانتی‌متر و سه گیاهچه در هر کپه کاشته شد. از آنجایی که سیستم آبیاری کشت برنج منطقه غرقاب بود؛ کرت‌ها به گونه‌ای طراحی شد که برای هرکرت ورودی و خروجی آب جداگانه تعبیه شده و آب کرت‌ها باهم مخلوط نشدند. بین کرت‌ها ضمن احداث مرز یا دیواره محکم با نایلون تا عمق ۳۰ سانتی‌متری عایق‌بندی شد تا از اختلاط آب و مواد غذایی کرت‌های مجاور جلوگیری شود.

برای تهیه بایوچار مورد آزمایش، کاه برنج تهیه شده از مزرعه برنج پس از هوا خشک شدن، برای کاهش بیشتر رطوبت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت درون آون قرار گرفت. در ادامه کاه برنج کمی خرد شده و به مدت سه ساعت در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد در داخل کوره قرار داده شدند تا فرآیند آتشکافت (فرآیند سوختن کند و آرام مواد آلی در شرایط کم یا عدم وجود اکسیژن) صورت پذیرد (۲۰ و ۳۴).

جدول ۱. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه قبل از اجرای آزمایش

بافت خاک	هدایت الکتریکی	اسیدیته	ظرفیت تبادل کاتیونی	کربن آلی	نیتروژن	سیلیسیم قابل جذب	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	آهن قابل جذب	روی قابل جذب	مس قابل جذب	منگنز قابل جذب
	(dS/m)		(meq/100g)	(٪)		(mg/kg)						
رس سیلتی	۱/۹۷	۷/۴۳	۳۴/۲	۱/۵۲	۰/۱۵	۳۳/۲	۴/۵۱	۱۴۲	۴۹/۶	۱/۰۱	۵/۱۵	۱۵/۱

سپس بایوچار به‌دست آمده و همچنین کاه برنج خرد شده از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شد.

جهت اجرای عملیات طرح، پس از آماده‌سازی زمین کودپاشی عناصر پرمصرف و کم‌مصرف مطابق نیاز کودی، بر اساس آزمون خاک محاسبه و اعمال شد. کودهای شیمیایی بر اساس آزمون خاک شامل کود فسفره به میزان ۱۵۰ کیلوگرم درهکتار پنتا اکسید فسفر (P_2O_5) از منبع سوپر فسفات تریپل، کود پتاسیمی به میزان ۲۰۰ کیلوگرم اکسید پتاسیم (K_2O) در هکتار از منبع سولفات پتاسیم و کود نیتروژنه به میزان ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار از منبع اوره بودند.

تمامی کودهای پایه، کاه برنج و بایوچار آن برای هر تیمار قبل از نشاءکاری با خاک مزرعه تا عمق ۳۰ سانتی‌متری مخلوط شد. البته به استثنای کود نیتروژنه که طی سه مرحله شامل یک سوم ازآن مخلوط با خاک قبل از نشاءکاری، یک سوم مقارن با زمان پنجه زنی و یک سوم همزمان با ساقه رفتن به‌صورت سرک مصرف شد. مراحل داشت شامل آبیاری، وجین و مبارزه با آفات طبق روش‌های معمول در منطقه صورت گرفت. بعد از پیاده کردن نقشه طرح و اعمال تیمارهای کودی در هریک از کرت‌ها، گیاهچه‌های یکدست رقم طارم کاشته شدند.

همچنین برخی ویژگی‌های شیمیایی کاه برنج و بایوچار آن نیز اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری نیتروژن کاه برنج و بایوچار آن بعد از آماده‌سازی نمونه و هضم با اسید سولفوریک (۴۰) با دستگاه کجلتک (Kjeltec 2300, Denmark)، پتاسیم کاه برنج و بایوچار آن بعد از هضم خشک و عصاره‌گیری با HCL 2N (۳۸) به کمک دستگاه فلیم فتومتر (Sherwood 410, UK)، فسفر کاه برنج و بایوچار آن بعد از هضم خشک و عصاره‌گیری با HCL 2N و به کمک معرف مولیبدات وانادات (۳۸) با دستگاه اسپکتروفتومتر (PG Instrument T90+, UK)، عناصر کم مصرف (Fe, Zn, Cu, Mn) کاه برنج و بایوچار آن بعد از هضم خشک و عصاره‌گیری با HCL 2N (۳۱) با دستگاه جذب اتمی (Varian SpectrAA-10, Australia) و اندازه‌گیری سیلیسیم کاه برنج و بایوچار آن به روش هضم اتوکلاو (۹) با دستگاه اسپکتروفتومتر (PG Instrument T90+, UK) انجام شد. سایر تجزیه‌های بایوچار شامل اسیدیته با نسبت یک به ده با استفاده از الکترود شیشه‌ای دستگاه pH متر (۲۷)، هدایت الکتریکی توسط دستگاه EC سنج (۲۸) و ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات آمونیوم (۵) با دستگاه فلیم فتومتر (Sherwood 410, UK) انجام شد (جدول ۲).

نیتروژن برگ پرچم برنج به روش کجلدال و هضم با اسید سولفوریک (۴۰)، پتاسیم بعد از هضم خشک و عصاره‌گیری با HCL 2N (۳۸)، عناصر کم مصرف (Fe, Mn, Zn) بعد از هضم خشک و عصاره‌گیری با HCL 2N (۳۱) و سیلیسیم به روش رنگ سنجی (۷) و هضم اتوکلاو (۹) اندازه‌گیری شدند. همچنین در زمان رسیدگی محصول برنج، یک مترمربع از مرکز

جدول ۲. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی کاه برنج و بایوچار کاه برنج مورد استفاده در این تحقیق

مشخصات	هدایت الکتریکی	اسیدیته	ظرفیت تبادل کاتیونی	نیتروژن	سیلیسیم	فسفر	پتاسیم	آهن	روی	مس	منگنز
	(dS/m)		(meq/100g)	(٪)				(mg/kg)			
بایوچار	۷/۸۸	۹/۳	۸۲/۶	۱/۰۲	۸/۱۱	۰/۱۵	۲/۷۸	۳۵۰	۱۴۵	۳۰/۹	۲۵۲
کاه برنج	۰/۸	۶/۸	–	۰/۸۴	۳/۸۹	۰/۰۶	۰/۸۷	۱۰۶	۲۹/۵	۳۰/۶	۹۶/۳

جدول ۳. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کاه برنج و بایوچار آن بر غلظت برخی عناصر غذایی برگ پرچم برنج

منابع تغییرات	درجه آزادی	پتاسیم	نیتروژن	آهن	سیلیسیم	منگنز	روی
تکرار	۲	۰/۰۱	۰/۰۰۵	۵۹۹	۰/۲۶	۲۹۶	۱۰/۱
کاه برنج	۲	۰/۰۵**	۰/۱۱**	۱۵۸۰**	۰/۵۰*	۴۳۷۳**	۱۸/۴**
بایوچار	۲	۰/۵۵**	۲/۵۵**	۲۴۸۱۰**	۷/۴۲**	۴۶۹۶۲**	۳۵۲**
بایوچار× کاه برنج	۴	۰/۰۱*	۰/۰۳**	۱۲۴**	۰/۱۵ns	۲۶۶ns	۱/۶۳ns
خطا	۱۶	۰/۰۰۳	۰/۰۰۶	۱۵/۷	۰/۱۰	۲۷۹	۰/۸۶
ضریب تغییرات (٪)	--	۶/۹۱	۱/۹۳	۲/۸۶	۵/۱۰	۶/۸۸	۵/۵۸

**، * و ns به ترتیب بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، ۵ درصد و عدم وجود تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

هر کرت برداشت و تعداد پنجه و تعداد دانه های پر و پوک شمارش و ارتفاع بوته از سطح خاک تا انتهای بالاترین سنبله، طول خوشه از پایه سنبله تا انتهای آن و وزن هزار دانه و عملکرد دانه با رطوبت ۱۴ درصد اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌های به‌دست آمده، با استفاده از نرم‌افزار Statistix-8 (نسخه ۸) و مقایسه میانگین با روش حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد صورت پذیرفت و رسم نمودار توسط نرم افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

غلظت پتاسیم، نیتروژن و آهن برگ

اثر ساده کاه برنج و بایوچار آن در سطح احتمال یک درصد بر میزان پتاسیم، نیتروژن و آهن برگ پرچم تأثیر معنی‌داری داشتند و اثر برهم‌کنش کاه برنج و بایوچار آن بر میزان پتاسیم برگ پرچم در سطح احتمال پنج درصد و بر میزان نیتروژن و آهن برگ پرچم در سطح احتمال یک درصد معنی‌داری شد (جدول ۳).

نتایج این مطالعه نشان داد که با افزایش سطوح کاربرد کاه برنج و بایوچار آن پتاسیم، نیتروژن و آهن برگ پرچم افزایش پیدا کرد که بیشترین میزان پتاسیم برگ پرچم با میانگین ۱/۲۲ درصد در تیمار ۲ تن بایوچار کاه برنج در هکتار + ۴ تن کاه برنج در هکتار (S_2B_2) حاصل شد که در مقایسه با تیمار شاهد بدون کاربرد کاه برنج و بایوچار آن (S_0B_0)، به میزان ۱/۲۳ برابر افزایش یافت. کمترین میزان نیتروژن برگ پرچم در تیمار ۴ تن کاه برنج در هکتار و بدون کاربرد بایوچار (S_2B_0) مشاهده شد که با افزایش کاربرد بایوچار و در تیمار ۲ تن بایوچار کاه برنج در هکتار + ۲ تن کاه برنج در هکتار (S_1B_2) که تفاوت معنی‌داری با تیمار ۲ تن بایوچار کاه برنج در هکتار و بدون کاربرد کاه برنج (S_0B_2) نداشت، نیتروژن برگ پرچم به میزان ۳۵/۶۷ درصد افزایش پیدا کرد. همچنین بیشترین میزان آهن برگ پرچم با میانگین ۲۰۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم به تیمار ۲ تن بایوچار کاه برنج در هکتار + ۴ تن کاه برنج در هکتار (S_2B_2) اختصاص یافت که در مقایسه با تیمارهای شاهد بدون کاربرد کاه برنج و بایوچار آن (S_0B_0) و ۲ تن کاه برنج در هکتار و

بدون کاربرد بایوچار (S_1B_0) که تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند، به میزان ۱/۷ برابر افزایش یافت. نتایج نشان دهنده تأثیر بیشتر بایوچار نسبت به کاه برنج در افزایش پتاسیم، نیتروژن و آهن برگ پرچم برنج است بدین صورت که هر چه سطح بایوچار افزایش پیدا کرد غلظت این عناصر غذایی نیز دچار افزایش شد که نسبت به کاه برنج، این افزایش بیشتر بود (جدول ۴). کاه برنج و بایوچار آن دارای غلظت بالایی از عناصر مذکور می‌باشند مخصوصاً بایوچار که غنی از پتاسیم، نیتروژن و آهن است بنابراین علت نتایج به‌دست آمده را می‌توان تأثیر مستقیم زغال زیستی در تأمین عناصر ضروری گیاه دانست همچنین بایوچار به‌دلیل گروه‌های عاملی کربوکسیل، هیدروکسیل و ... که دارد، دارای بار سطحی منفی بوده و عناصر غذایی را جذب و از اتلاف آن‌ها جلوگیری می‌کند و درنتیجه به‌صورت غیرمستقیم نیز عناصر را در اختیار گیاه قرار می‌دهد (۲۲ و ۳۹). نتایج به‌دست آمده از مطالعهٔ حاضر با نتایج مطالعهٔ جین و همکاران (۱۹) درمورد افزایش و بهبود غلظت پتاسیم برگ با کاربرد بایوچار پوسته بادام زمینی، مطابقت داشت. همچنین حبیبی و همکاران (۱۶) بیان کردند در مجموع با کاربرد بایوچار غلظت عناصر اندازه‌گیری شده گیاه افزایش یافت و بیشترین غلظت عنصر پتاسیم در بالاترین سطوح بایوچار گزارش شد که بیانگر غنی بودن بایوچار از عناصر غذایی مخصوصاً پتاسیم بوده که از عناصر پرمصرف به‌شمار می‌رود. در راستای این پژوهش تعداد دیگری از مطالعات نیز نتایجی نسبتاً مشابه را بیان کردند. بولحسنی و همکاران (۴) در پژوهشی بیان کردند که استفاده از بایوچار به‌عنوان یک ماده اصلاح‌کننده خاک و منبع غنی از عناصر غذایی، می‌تواند تا حد زیادی سبب افزایش فراهمی پتاسیم و نیتروژن در گیاه اسفناج شود. همچنین لال عرب و همکاران (۲۴) گزارش کردند بایوچار سبب افزایش معنی‌دار غلظت نیتروژن در اندام هوایی گیاه شد. فلاح طوله‌کلایی و همکاران (۱۰) گزارش کردند افزایش بایوچار، به‌دلیل بالا بودن غلظت عناصر غذایی، موجب افزایش میزان آهن برگ برنج شد.

غلظت سیلیسیم، منگنز و روی برگ

اثر ساده کاه برنج بر میزان سیلیسیم برگ پرچم در سطح احتمال پنج درصد و بر میزان منگنز و روی برگ پرچم در سطح احتمال یک درصد معنی‌داری شد، همچنین اثر ساده بایوچار کاه برنج بر میزان سیلیسیم، منگنز و روی برگ پرچم در سطح احتمال یک درصد دارای تأثیر معنی‌داری بود ولی برهم‌کنش کاه برنج و بایوچار آن بر آن‌ها تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۳). بیشترین میزان سیلیسیم برگ پرچم در سطح ۴ تن کاه برنج در هکتار (S_2) حاصل شد و نسبت به سطح ۲ تن کاه برنج در هکتار (S_1) که تفاوت معنی‌داری با سطح بدون کاه برنج (S_0) نداشت، به میزان ۷/۴ درصد افزایش یافت. همچنین کمترین میزان منگنز و روی برگ پرچم، در سطح بدون کاه برنج (S_0) مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با سطح ۲ تن کاه برنج در هکتار (S_1) نداشت و با افزایش سطح کاه برنج به ۴ تن در هکتار (S_2) به‌ترتیب به میزان ۱۹/۶ و ۱۶/۷ درصد افزایش پیدا کردند که می‌توان دریافت کاربرد کاه برنج به‌صورت خام با توجه به اینکه تاحدودی غنی از عناصر غذایی بوده، باعث افزایش غلظت عناصر غذایی برگ پرچم شده که این افزایش در سطوح بالای کاه برنج بیشتر بوده است. بر اساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها از نظر میزان سیلیسیم، منگنز و روی برگ پرچم بین سطوح مختلف بایوچار تفاوت معنی‌داری وجود داشت و بیشترین میزان سیلیسیم، منگنز و روی برگ پرچم به سطح ۲ تن بایوچار در هکتار (B_2) اختصاص یافت که نسبت به سطح بدون بایوچار (B_0) به‌ترتیب ۳۵، ۸۵/۳ و ۱/۲۲ برابر افزایش یافتند که بیانگر افزایش بیشتر غلظت عناصر غذایی برگ پرچم با افزایش سطح کاربرد بایوچار نسبت به کاه برنج بوده است (جدول ۵). کاه برنج و علی‌الخصوص بایوچار آن حاوی درصد بالایی از سیلیسیم می‌باشند همچنین بایوچار علاوه بر اینکه خود حاوی مقدار زیادی از عناصر مذکور است با تأثیر بر pH، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و ایجاد کمپلکس‌های آلی در افزایش فراهمی عناصر غذایی در خاک و جذب آن‌ها در گیاه مؤثر است که

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر تیمارهای کاه برنج و بایوچار بر میزان پتاسیم، نیتروژن و آهن برگ پرچم

تیمار ها / صفات	S_0B_0	S_1B_0	S_2B_0	S_0B_1	S_1B_1	S_2B_1	S_0B_2	S_1B_2	S_2B_2
پتاسیم (%)	۰/۵۴^{f}	۰/۵۶^{ef}	۰/۶۵^{de}	۰/۶۹^{d}	۰/۸۶^{c}	۰/۸۲^{c}	۱/۰۰^{b}	۱/۰۱^{b}	۱/۲۲^{a}
نیتروژن (%)	۳/۵۲^{fg}	۳/۶۲^{ef}	۳/۴۹^{g}	۳/۹۶^{c}	۳/۸۴^{cd}	۳/۷۵^{de}	۴/۶۵^{a}	۴/۷۳^{a}	۴/۳۵^{b}
آهن (mg/kg)	۷۷^{g}	۷۹^{g}	۹۴^{f}	۱۲۷^{e}	۱۴۳^{d}	۱۵۷^{c}	۱۸۰^{b}	۱۷۷^{b}	۲۰۸^{a}

میانگین‌هایی که در هر تیمار حداقل یک حرف مشترک داشته باشند تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD ندارند. (S_0، S_1 و S_2 به ترتیب بدون کاه برنج، ۲ و ۴ تن کاه برنج در هکتار و B_0، B_1 و B_2 به ترتیب بدون بایوچار، ۱ و ۲ تن بایوچار در هکتار)

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر ساده کاه برنج و بایوچار آن بر سیلیسیم، منگنز و روی برگ پرچم

اثر ساده	سطح	سیلیسیم (%)	منگنز (mg/kg)	روی (mg/kg)
کاه برنج	صفر تن در هکتار	۶/۰۲^{b}	۲۲۲^{b}	۱۵/۶^{b}
	۲ تن در هکتار	۵/۹۵^{b}	۲۳۹^{b}	۱۵/۹^{b}
	۴ تن در هکتار	۶/۳۹^{a}	۲۶۶^{a}	۱۸/۲^{a}
بایوچار	صفر تن در هکتار	۵/۱۶^{c}	۱۶۹^{c}	۱۰/۲^{c}
	۱ تن در هکتار	۶/۲۴^{b}	۲۴۵^{b}	۱۷/۰^{b}
	۲ تن در هکتار	۶/۹۷^{a}	۳۱۳^{a}	۲۲/۶^{a}

میانگین‌هایی که در هر تیمار حداقل یک حرف مشترک داشته باشند تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.

می‌تواند دلیل محکمی برای تأثیر بهتر بایوچار در افزایش غلظت این عناصر باشد (۳۷). صفرتباردرزی و همکاران (۳۲) نتیجه گرفتند که بیشترین میزان سیلیسیم برگ پرچم به تیمار ۳ گرم بایوچار کاه و کلش در خاک لوم رسی سیلتی اختصاص دارد. یافته‌های پژوهش حاضر با نتایج پژوهش صفرزاده شیرازی و همکاران (۳۳) در بحث افزایش معنی‌دار غلظت منگنز اندام هوایی گیاه ریحان با کاربرد بایوچار پوسته برنج، منطبق بود که غلظت بالای منگنز در بایوچار می‌تواند دلیل مناسبی برای آن باشد. در مطالعه‌ای مشابه، فلاح طوله‌کلایی و همکاران (۱۰) نیز دریافتند که با افزایش سطح بایوچار میزان منگنز و روی برگ برنج افزایش یافت. همچنین بی‌ریا و همکاران (۲) گزارش کردند که بایوچار حاصل از باگاس نیشکر می‌تواند غلظت روی را در گیاه ذرت افزایش دهد.

تعداد پنجه در بوته، ارتفاع بوته و طول خوشه

جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۶) نشان داد که اثر ساده کاه برنج و بایوچار آن و همچنین برهم‌کنش آن‌ها بر تعداد پنجه در بوته در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌داری داشتند.

نتایج مقایسه میانگین حاکی از افزایش تعداد پنجه در بوته با افزایش سطوح کاربرد کاه برنج و بایوچار آن می‌باشد. بیشترین تعداد پنجه با میانگین ۴۰/۶ پنجه در تیمار ۲ تن بایوچار کاه برنج در هکتار + ۴ تن کاه برنج در هکتار (S_2B_2) مشاهده شد

جدول ۶. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کاه برنج و بایوچار آن بر خصوصیات مورفولوژیک، اجزای عملکرد و عملکرد دانه برنج

منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد پنجه در بوته	ارتفاع بوته	طول خوشه	وزن هزار دانه	تعداد دانه پر	تعداد دانه پوک	عملکرد دانه
تکرار	۲	۲/۳۳	۰/۴۴	۰/۰۲۷	۰/۶۱	۶/۷۰	۱۶/۱	۰/۰۰۷
کاه برنج	۲	۱۳۷**	۶۸/۷**	۵/۹۹**	۳/۲۶*	۵۸۲**	۱۲۷**	۰/۹۹**
بایوچار	۲	۴۲۱**	۱۱۴۱**	۳۴/۲**	۴۴/۱**	۳۲۵۰**	۶۴۹**	۹/۵۵**
بایوچار× کاه برنج	۴	۱۴/۹**	۱۰/۴^{ns}	۰/۲۶^{ns}	۰/۰۳^{ns}	۱۶/۲^{ns}	۲/۸۱^{ns}	۰/۰۷**
خطا	۱۶	۲/۰	۴/۲۸	۰/۶۸	۰/۷۲	۱۱/۳	۲/۸۱	۰/۰۰۵
ضریب تغییرات (٪)	--	۴/۵۳	۱/۳۶	۳/۱۷	۳/۵۲	۴/۳۹	۱۱/۱	۲/۴۷

**، * و ns به ترتیب بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، ۵ درصد و عدم وجود تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

شکل ۱. مقایسه میانگین اثر تیمارهای کاه برنج و بایوچار بر تعداد پنجه‌ها در بوته

ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشابه باشند تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.

(S0، S1 و S2 به ترتیب بدون کاه برنج، ۲ و ۴ تن کاه برنج در هکتار و B0، B1 و B2 به ترتیب بدون بایوچار، ۱ و ۲ تن بایوچار در هکتار)

و نسبت به کمترین تعداد پنجه در تیمار ۲ تن کاه برنج در هکتار و بدون کاربرد بایوچار (S_1B_0) به میزان ۸۵ درصد افزایش یافت که اثر بایوچار نسبت به کاه برنج به مراتب بهتر بود و با افزایش سطح کاربرد بایوچار، تعداد پنجه نیز افزایش قابل‌توجهی داشت (شکل ۱). در واقع افزودن بایوچار کاه برنج به خاک با سطح ویژه و ظرفیت تبادل کاتیونی بالایی که دارد باعث حفظ و جذب آب و عناصر غذایی و بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی و همچنین حاصلخیزی خاک شده و درنتیجه موجب بهبود رشد گیاه برنج و افزایش تعداد پنجه در بوته شده است (۲۶). درنتایجی مشابه چن و همکاران (۶) بیان کردند میانگین تعداد پنجه برنج در تیمار مقدار متوسط ۲۰ تن بایوچار در هکتار در بالاترین مقدار خود بود و نسبت به شاهد ۸/۸۵ الی ۱۲/۲ درصد افزایش یافت.

اثر ساده کاه برنج و بایوچار آن بر ارتفاع بوته و طول خوشه برنج در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد ولی برهم‌کنش کاه برنج و بایوچار آن بر آن‌ها تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۶). مقایسه میانگین اثر ساده تیمارها نشان داد که بیشترین میزان ارتفاع بوته و طول خوشه در سطح ۴ تن کاه برنج در هکتار (S_2) مشاهده شد و نسبت به سطح بدون کاه برنج (S_0) به‌ترتیب ۳/۶۳ و ۵/۸۴ درصد افزایش یافتند. برای اثر ساده بایوچار بر ارتفاع بوته و طول خوشه برنج، بین سطوح مختلف بایوچار تفاوت معنی‌داری وجود داشت که بیشترین میزان ارتفاع بوته و طول

خوشه در سطح ۲ تن بایوچار در هکتار (B_2) مشاهده شد که در مقایسه با سطح بدون بایوچار (B_0) ۱۶ درصد افزایش پیدا کردند و با تفسیر نتایج می‌توان دریافت که بایوچار نسبت به کاه برنج منجر به تأثیر بهتر و افزایش بیشتری شده است (جدول ۷). علت این موضوع را می‌توان بهبود شرایط شیمیایی و فیزیکی خاک ناشی از مصرف زغال زیستی دانست و با توجه به اینکه بایوچار چگالی پایین و تخلخل بالایی دارد می‌تواند چگالی و تخلخل خاک را بهبود بخشیده و منجر به نفوذ بهتر ریشه و جذب و تنفس بهتر آن شود و در نهایت شرایط رشد را برای گیاه برنج بهتر کرده و باعث افزایش ارتفاع بوته و طول خوشه برنج می‌شود (۲۲). نتایج به‌دست آمده با یافته‌های ایزیلان و همکاران (۱۸) مبنی بر بهبود ارتفاع گیاه با افزایش نرخ کاربرد بایوچار- کمپوست مطابقت دارد. همچنین قربانی و امیراحمدی (۱۴) نتیجه گرفتند که افزایش سطح کاربرد بایوچار از ۲ به ۴ درصد، موجب افزایش ارتفاع گیاه نسبت به شاهد شد. فلاح طوله‌کلایی و همکاران (۱۰) در پژوهشی دریافتند که بیشترین طول خوشه در تیمار ۶ گرم بایوچار کلش برنج به همراه ۳۰ گرم کمپوست در کیلوگرم خاک مشاهده شد و کمترین آن در تیمار شاهد به‌دست آمد.

وزن هزار دانه و تعداد دانه پر و پوک

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر ساده کاه برنج بر وزن هزار دانه در سطح احتمال پنج درصد و بر تعداد دانه پر و پوک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود ضمناً اثر ساده بایوچار کاه برنج بر وزن هزار دانه و تعداد دانه پر و پوک در سطح احتمال یک درصد دارای تأثیر معنی‌داری بود ولی برهم‌کنش کاه برنج و بایوچار آن بر آن‌ها تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۶). مقایسه میانگین داده‌ها نیز نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه و تعداد دانه پر و کمترین تعداد دانه پوک در سطح ۴ تن کاه برنج در هکتار (S_2) مشاهده شد که نسبت به سطح بدون کاه برنج (S_0) به‌ترتیب ۵/۰۸ و ۲۳/۱ درصد افزایش و ۴۰ درصد کاهش یافتند. همچنین از نظر وزن هزار دانه و تعداد دانه پر و پوک برنج بین سطوح مختلف بایوچار تفاوت معنی‌داری وجود داشت که سطح ۲ تن بایوچار در هکتار (B_2) بیشترین وزن هزار دانه و تعداد دانه پر و کمترین تعداد دانه پوک را داشت و در قیاس با سطح بدون بایوچار (B_0) به‌ترتیب ۲۰ و ۶۴/۶ درصد افزایش و ۷۰/۴ درصد کاهش پیدا کردند. در واقع نتایج نشان داد با افزایش سطح کاربرد کاه برنج و بایوچار آن وزن هزار دانه و تعداد دانه پر افزایش و تعداد دانه پوک کاهش یافتند که بایوچار تأثیر بهتری نسبت به کاه برنج داشت (جدول ۷). بایوچار با pH ۷/۸۸ و ظرفیت تبادل کاتیونی بالایی که دارد، باعث بهبود خواص شیمیایی خاک از جمله pH و افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک شده و با جذب و حفظ عناصر غذایی و آب روی سطوح خاک منجر به افزایش حاصلخیزی خاک می‌شود و در نهایت شرایط برای رشد گیاه بهتر و باعث افزایش وزن هزار دانه و تعداد دانه پر و کاهش تعداد دانه پوک می‌شود (۳۹). فلاح طوله‌کلایی و همکاران (۱۰) به این نتیجه رسیدند که بیشترین وزن هزار دانه و تعداد دانه پر در تیمار ۶ گرم بایوچار کلش برنج به همراه ۳۰ گرم کمپوست در کیلوگرم خاک مشاهده شد و کمترین آن‌ها در تیمار شاهد به‌دست آمد. اما سطوح ۳۰ گرم کمپوست به همراه سطوح بایوچار کمترین میزان دانه پوک را دارا بودند. درنتیجه با افزایش سطح کمپوست و بایوچار، میزان عملکرد دانه مخصوصا با بایوچار کلش برنج افزایش یافت. اولادله و همکاران (۲۹) بیان کردند که مصرف همزمان ۱۲ تن در هکتار زغال زیستی به همراه کود نیتروژنه (اوره) موجب افزایش ۲۴ درصدی دانه پر و ۱۶ درصدی وزن هزار دانه در قیاس با تیمار شاهد شده بود. بعلاوه، چن و همکاران (۶) نتیجه گرفتند که استفاده از بایوچار باعث بهبود تعداد دانه پر و افزایش عملکرد برنج شد.

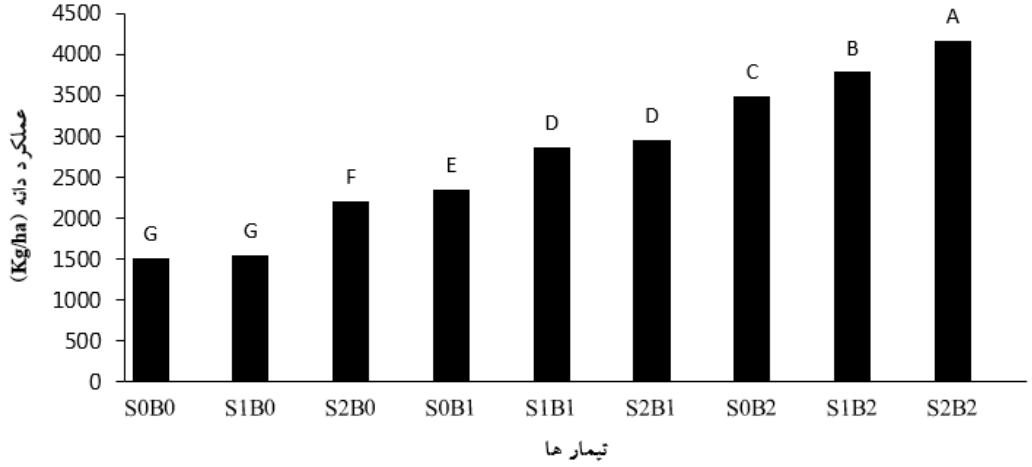
عملکرد دانه

اثر ساده کاه برنج و بایوچار آن و همچنین برهم‌کنش آن‌ها بر عملکرد دانه برنج در سطح احتمال یک درصد معنی‌داری شد (جدول ۶). بیشترین میزان عملکرد دانه در تیمار ۲ تن

جدول ۷. مقایسه میانگین اثر ساده کاه برنج و بایوچار آن بر ارتفاع بوته، طول خوشه، وزن هزار دانه و تعداد دانه پر و پوک

اثر ساده	سطح	ارتفاع بوته (cm)	طول خوشه (cm)	وزن هزار دانه (g)	تعداد دانه پر	تعداد دانه پوک
	صفر تن در هکتار	۱۴۹^{b}	۲۵/۳^{b}	۲۳/۵^{b}	۶۹/۲^{c}	۱۷/۸^{a}
کاه برنج	۲ تن در هکتار	۱۵۱^{b}	۲۵/۵^{b}	۲۴/۲^{ab}	۷۵/۷^{b}	۱۶/۴^{a}
	۴ تن در هکتار	۱۵۵^{a}	۲۶/۸^{a}	۲۴/۷^{a}	۸۵/۲^{a}	۱۰/۷^{b}
	صفر تن در هکتار	۱۴۰^{c}	۲۴/۱^{c}	۲۱/۹^{c}	۵۸/۶^{c}	۲۴/۰^{a}
بایوچار	۱ تن در هکتار	۱۵۳^{b}	۲۵/۷^{b}	۲۴/۰^{b}	۷۵/۰^{b}	۱۴/۰^{b}
	۲ تن در هکتار	۱۶۲^{a}	۲۷/۹^{a}	۲۶/۴^{a}	۹۶/۵^{a}	۷/۱^{c}

میانگین‌هایی که در هر تیمار حداقل یک حرف مشترک داشته باشند تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر تیمارهای کاه برنج و بایوچار بر میزان عملکرد دانه برنج.

ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشابه باشند تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.

(S_0، S_1 و S_2 به ترتیب بدون کاه برنج، ۲ و ۴ تن کاه برنج در هکتار و B_0، B_1 و B_2 به ترتیب بدون بایوچار، ۱ و ۲ تن بایوچار در هکتار)

بایوچار کاه برنج در هکتار + ۴ تن کاه برنج در هکتار (S_2B_2) مشاهده شد که نسبت به کمترین میزان در تیمار شاهد بدون کاربرد کاه برنج و بایوچار آن (S_0B_0) ۱/۷۸ برابر افزایش یافت. با توجه به نتایج، با افزایش سطح کاربرد کاه برنج عملکرد دانه تاحدودی افزایش یافت و بین سطوح مختلف کاه برنج اختلاف بسیار زیادی نبود ولی بالعکس بین سطوح مختلف بایوچار اختلاف زیادی بود و هر چقدر سطح کاربرد بایوچار افزایش پیدا کرد، عملکرد دانه نیز افزایش قابل‌توجهی یافت که نشان دهنده تأثیر بیشتر بایوچار بر افزایش عملکرد دانه بود (شکل ۲). کاربرد بایوچار به‌عنوان کود آلی و بهبوددهنده شرایط فیزیکو شیمیایی خاک و شرایط رشد گیاه (با بهبود تخلخل، pH و افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی) و همچنین حاوی عناصر معدنی و تأمین‌کننده عناصر غذایی مورد نیاز گیاه باعث بهبود خصوصیات مورفولوژیکی گیاه برنج، وزن هزار دانه و تعداد دانه پر شده و درنتیجه با افزایش و بهبود آن‌ها باعث افزایش عملکرد دانه و افزایش تولید محصول برنج می‌شود (۴ و ۱۰). نتایج پژوهش حاضر با نتایج وانگامو و همکاران (۴۱) مطابقت داشت. علی و همکاران (۱) نیز پژوهشی را با عنوان کاربرد ترکیبی بایوچار و کود نیتروژن در بهبود عملکرد برنج، فعالیت میکروبی و متابولیسم نیتروژن در یک آزمایش گلدانی انجام

جدول ۸. همبستگی بین صفات مورفولوژیک، اجزای عملکرد و عملکرد دانه برنج

	عملکرد دانه	تعداد دانه پوک	تعداد دانه پر	وزن هزار دانه	طول خوشه	ارتفاع بوته	تعداد پنجه در بوته
عملکرد دانه	۱						
تعداد دانه پوک	-۰/۹۴**	۱					
تعداد دانه پر	۰/۹۶**	-۰/۹۲**	۱				
وزن هزار دانه	۰/۹۳**	-۰/۸۷**	۰/۹۱**	۱			
طول خوشه	۰/۹۰**	-۰/۸۹**	۰/۸۹**	۰/۸۱**	۱		
ارتفاع بوته	۰/۹۵**	-۰/۹۵**	۰/۹۲**	۰/۹۲**	۰/۸۸**	۱	
تعداد پنجه در بوته	۰/۹۳**	-۰/۸۷**	۰/۹۲**	۰/۸۵**	۰/۸۸**	۰/۸۵**	۱

**، * و ns به ترتیب بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح ۱ درصد، ۵ درصد و عدم وجود تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

دادند، آن‌ها دریافتند که عملکرد دانه برنج در تیمارهای بایوچار به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمارهای شاهد بود. در همین راستا اولادله و همکاران (۲۹) دریافتند که مصرف همزمان ۱۲ تن در هکتار زغال زیستی به همراه کود نیتروژنه (اوره) سبب افزایش ۷۸ درصدی عملکرد دانه برنج در مقایسه با شاهد شده است.

همبستگی بین صفات

بررسی جدول همبستگی (جدول ۸) نشان داد که بین تعداد پنجه در بوته و طول خوشه با هم و با وزن هزار دانه، تعداد دانه پر و عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود دارد در واقع هر چقدر تعداد پنجه در بوته و طول خوشه افزایش یابد به‌دنبال آن عملکرد دانه نیز تحت تأثیر قرار گرفته و افزایش پیدا می‌کند. همچنین همبستگی بین وزن هزار دانه و تعداد دانه پر باهم و با عملکرد دانه مثبت و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد می‌باشد که با افزایش تعداد دانه پر و وزن هزار دانه، عملکرد دانه بیشتر می‌شود. درنهایت همبستگی بین تعداد دانه پوک با سایر خصوصیات و عملکرد دانه منفی و معنی‌دار و همبستگی بین عملکرد دانه با سایر خصوصیات مثبت و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بود و با کاهش تعداد دانه پوک سایر خصوصیات افزایش و عملکرد دانه بیشتر می‌شود که بیانگر رابطه عکس تعداد دانه پوک با آن‌هاست. در کل می‌توان دریافت که بین خصوصیات مورفولوژیکی، اجزای عملکرد (به جز تعداد دانه پوک) و عملکرد دانه رابطه مستقیم وجود دارد و با افزایش یکی از این صفات، بقیه نیز دچار افزایش می‌شوند و در نهایت عملکرد دانه نیز به‌عنوان مهمترین صفت افزایش می‌یابد. کاربرد بایوچار کاه برنج به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک و غنی از عناصر غذایی با تأثیر مثبتی که در بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک و شرایط رشد گیاه برنج دارد (از جمله بهبود تخلخل، چگالی و افزایش pH و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک) موجب بهبود و افزایش صفات مورفولوژیک (تعداد پنجه در بوته و طول خوشه) و اجزای عملکرد (وزن هزار دانه و تعداد دانه پر) و کاهش تعداد دانه پوک شده و در نهایت با تأثیر روی این صفات باعث افزایش عملکرد دانه برنج خواهد شد (۶ و ۱۰ و ۲۶).

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش دریافتیم که افزایش غلظت پتاسیم، نیتروژن، آهن، سیلیسیم، منگنز و روی برگ پرچم در سطوح بالای کاه برنج و بایوچار به‌طور غیرمستقیم عملکرد دانه را تحت تأثیر قرار داده و با بهبود تعداد پنجه در بوته، طول خوشه و اجزای عملکرد برنج سبب افزایش عملکرد دانه شد. با این‌حال وزن هزار دانه و تعداد دانه پر و پوک مؤثرترین اجزای عملکرد برای دستیابی به عملکرد دانه بالاتر بودند به‌طوری که با افزایش سطح کاه برنج و مخصوصاً بایوچار آن وزن هزار دانه و تعداد

دانه پر افزایش و تعداد دانه پوک کاهش پیدا کرد درنتیجه حداکثر عملکرد دانه با رشد ۱/۷۸ برابری نسبت به شاهد در تیمار ۲ تن بایوچار کاه برنج در هکتار + ۴ تن کاه برنج در هکتار (S_2B_2) حاصل شد. تولید و استفاده از بایوچار به‌دلیل ساخته شدن آن از مواد زائد در دسترس و ارزان قیمت همانند کاه برنج و سایر ضایعات کشاورزی کاملاً مقرون به‌صرفه بوده و هزینه زیادی را دربر نمی‌گیرد و می‌توان به جای کودهای شیمیایی استفاده نمود و مصرف کودهای شیمیایی و هزینه آن‌را کاهش داد درنتیجه علاوه بر جلوگیری از آلودگی محیط‌زیست باعث افزایش درآمد نیز می‌شود. بنابراین با توجه به پژوهش انجام شده بایوچار تأثیر بهتری نسبت به کاه برنج داشته و کاربرد ۲ تن بایوچار در هکتار و ۴ تن کاه برنج در هکتار به‌عنوان بهترین سطح پیشنهادی می‌تواند با افزایش غلظت عناصر غذایی برگ پرچم و بهبود رشد و اجزای عملکرد برنج سبب دستیابی به حداکثر عملکرد دانه شود. همچنین برای درک مناسب تر تأثیر این ماده آلی می‌توان مطالعات بیشتری در مورد اثر بایوچارهای تولید شده در دماهای مختلف و سطوح بالاتر انجام داد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری و همچنین اساتید محترم و کارشناسان گروه علوم و مهندسی خاک به جهت یاری و همکاری و تأمین تجهیزهای لازم برای انجام این طرح پژوهشی، تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

1. Ali, I., S. Ullah, L. He, Q. Zhao, A. Iqbal, S. Wei, T. Shah, N. Ali, Y. Bo, M. Adnan, A. Amanullah and L. Jiang. 2020. Combined application of biochar and nitrogen fertilizer improves rice yield, microbial activity and N-metabolism in a pot experiment. *PeerJ* 8: 1-29.
2. Biria, M., A. A. Mozzei and H. Amerikhah. 2015. Evaluation of biochar efficiency on cadmium and lead mobility in soil column under maize planting. MSc thesis. Shahid Chamran University of Ahvaz. Ahvaz, Iran. (In Farsi).
3. Blackwell, P., G. Riethmuller and M. Collins. 2009. Biochar application to soil. Biochar for Environmental Management. Science and Technology, London, Sterling.
4. Bolhasani, Z., A. M. Ronaghi, R. Ghasemi and M. Zarei. 2019. Influence of rice-husk derived biochar and growth promoting rhizobacteria on the yield and chemical composition of spinach in soil under salinity stress. *Journal of Soil Research* 33: 335-348. (In Farsi).
5. Bower, C. A., R. Reitemeier and M. Fireman. 1952. Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. *Soil Science* 73: 251-262.
6. Chen, X., S. Yang, J. Ding, Z. Jiang and X. Sun. 2021. Effects of biochar addition on rice growth and yield under water-saving irrigation. *Water* 13: 1-11.
7. Dai, W. M., K. Q. Zhang, B. W. Duan, C. X. Sun, K. L. Zheng, R. Cai and J. Y. Zhuang. 2005. Rapid determination of silicon content in rice. *Rice Science* 12: 145-147.
8. Eghlidi, A., Gh. Bakhshi Khaniki, A. Ebadi and M. Saiadi. 2014. The effects of time and concentration of colchicine treatment in doubled haploid rice production. *Agronomy Journal* 27: 2-8. (In Farsi).
9. Elliott, C. L. and G. H. Snyder. 1991. Autoclave-induced digestion for the colorimetric determination of silicon in rice straw. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 39: 1118-1119.
10. Fallah Tolekolai, S., M. A. Bahmanyar and F. Sadeghzadeh. 2015. The effect of applying municipal solid waste compost and biochar on yield and concentration of some macro and micro nutrients in rice plant. MSc thesis. Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University. Sari, Iran. (In Farsi).
11. FAO. 2021. Cereals. OECD-FAO Agricultural outlook 2021-2030. OECD Publishing, Available online at: https://doi.org/10.1787/19428846-en . Accessed 5 July 2021.
12. Gee, G. W. and J. Bauder. 1986. Particle size analysis. pp. 384-412, In: R. H. miller and D. R. Keeney. (eds.), In Method of Soil Analysis. Madison, Wisconsin.
13. Geveili, E., S. A. A. Mousavi and A. A. Kamgar Haghighi. 2016. Effect of cattle manure biochar and drought stress on the growth characteristics and water use efficiency of spinach under greenhouse conditions. *Journal of Water Research in Agriculture* 30: 243-259. (In Farsi).

14. Ghorbani, M. and E. Amirahmadi. 2018. Effect of rice husk biochar on some physical characteristics of soil and corn growth in a loamy soil. *Journal of Soil Research* 32: 305-318. (In Farsi).
15. Glaser, B. and J. J. Birk. 2012. State of the scientific knowledge on properties and genesis of anthropogenic dark earths in central amazonia (*terra preta de Índio*). *Geochimica et Cosmochimica Acta* 82: 39-51.
16. Habibi, H., B. Motesharezadeh and H. A. Alikhani. 2017. Effect of biochar and biological treatments on nutrient elements content (P, K, Ca, Mg, Fe and Mn) of Amaranthus in oil polluted soil. *Iran Water and Soil Research* 48: 369-384. (In Farsi).
17. Haysom, M. B. C. and L. S. Chapman. 1975. Some aspects of the calcium silicate trials at mackay. *Proceedings of the Queensland Society of Sugar Cane Technologists* 42: 117-122.
18. Izilan, N., N. A. Sari, N. M. I. Othman and S. Mustaffha. 2022. The effects of biochar-compost on soil properties and plant growth performance grown in a sandy-loam soil. In: Proceeding of 4th International Conference on Sustainability Agriculture and Biosystem. Series: Earth and Environmental Science. Padang, West Sumatera, Indonesia. Volume 1059, pp. 1-6.
19. Jin, F., J. Piao, W. Che, X. Li, C. Zhang, Q. Wang and S. Hua. 2022. Peanut shell biochar increases rice yield in highly saline-alkali paddy fields by regulating of leaf ionic concentration and improving leaf photosynthesis rate. Jilin Agriculture University. *Plant and Soil* 483: 1-18.
20. Joseph, S. D., M. Camps-Arbestation, Y. Lin, P. Munroe, C. H. Chia, J. Hook, L. Van Zwieten, S. Kimber, A. Cowie, B. P. Singh, J. Lehman, N. Foidl, R. J. Smernik and J. F. Amnnetie. 2010. An investigation the reactions of biochar in soil. *Australian Journal of Soil Research* 48: 501-515.
21. Krishnamurthy, S. L., R. K. Gautama, P. C. Sharma and D. K. Sharma. 2016. Effect of different salt stresses on agro-morphological traits and utilisation of salt stress indices for reproductive stage salt tolerance in rice. *Field Crops Research* 190: 26-33.
22. Lai, L., M. R. Ismail, F. M. Muharam, M. M. Yusof, R. Ismail and N. M. Jaafar. 2017. Effects of rice straw biochar and nitrogen fertilizer on rice growth and yield. *Asian Journal of Crop Science* 9: 159-166.
23. Laird, D. A., R. C. Brown, J. E. Amonette and J. Lehmann. 2009. Review of the pyrolysis platform for coproducing bio-oil and biochar. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* 3: 547-562.
24. Lalarab, M., A. R. Astaraei and A. Lakzian. 2015. The effect of biochar on soybean plant growth characteristics and soil chemical properties. In: Proceeding of 1st International Conference and The 4th National Conference on Environmental and Agricultural Research. Hamedan, Iran. pp. 1-9. (In Farsi).
25. Lindsay, W. and W. A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of American Journal* 42: 421-428.
26. Mahmoud Soltani, Sh. and A. Abbasian. 2021. Simultaneous application effect of rice husk biochare and zinc sulfate fertilizer on yield, yield components of rice (*Oryza sativa* L.) hashemi cultivar and some soil chemical properties. *Iran Water and Soil Research* 52: 707-719. (In Farsi).
27. McLean, E. O. 1982. Soil pH and lime requirement. In method of soil analysis. pp. 199-244, In: A. L. Page (Ed), Chemical and Microbiological Properties. Madison, Wisconsin.
28. Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. pp. 539-579, In: D. R. Keeney, A. L. Miller and A. L. Page (eds), Method of Soil Analysis Chimical and Microbiological Propertis. Madison, Wisconsin.
29. Oladele, S. O., A. J. Adeyemo and M. A. Awodun. 2019. Influence of rice husk biochar and inorganic fertilizer on soil nutrients availability and rain-fed rice yield in two contrasting soils. *Geoderma* 336: 1-11.
30. Olsen, S. R. and L. E. Sommers. 1990. Phosphorus. pp. 403-431 In: A. L. page (Ed.), Method of soil Analysis. Madison, Wisconsin.
31. Planc, O. C. 1992. Plant Analysis Reference Procedures for the Southern Region of the United States. Southern Cooperative Series Bulletin 368. The University of Georgia, Athens, Georgia.
32. Safartabar Darzi, M., M. A. Bahmanyar, F. Sadeghzadeh and M. Ghajar Sepanlou. 2018. Silicon content of rice shoot in two soils with different textures Influenced by the application of different amounts of biochar and silicon. In: Proceeding of 1st National Conference of Agricultural and Environmental Sciences of Iran. Bavi, Khouzestan, Iran. pp. 1-11. (In Farsi).
33. Safarzadeh Shirazi, S., Z. Zibaei and P. Ostovar. 2019. The effect of rice husk biochar on the growth and concentration of micronutrients in Holy Basil plant (*Ocimum sanctum* L.) under water stress. *Plant Production Research Journal* 26: 101-114. (In Farsi).
34. Shinogi, Y., H. Yoshida, T. Koizumi, M. Yamakoa and T. Satio. 2003. Basic characteristics of low-temperature carbon products from waste sludge. *Advances in Environmental Research* 7: 661-665.
35. Sika, M. 2012. Effect of biochar on chemistry, nutrient uptake and fertilizer mobility in sandy soil. MSc thesis. Stellenbosch University. Stellenbosch, South Africa.

36. Sohi, S. P., E. Krull, E. Lopez-Capel and R. Bol. 2010. A review of biochar and its use and function in soil. *Advances in Agronomy* 105: 47-82.

37. Steiner, C., B. Glaser, W. G. Teixeira, J. Lehmann, W. E. H. Blum and W. Zech. 2008. Nitrogen retention and plant uptake on a highly weathered central Amazonian Ferralsol amended with compost and charcoal. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 171: 893-899.

38. Tavaloli, H. and A. Semnani. 2002. Analysis Methods of Soils, Plants, Water and Fertilizers. Shahid Chamran University, Ahvaz. (In Farsi).

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

40. Westerman, R. L. 1990. Soil Testing and Plant Analysis. Soil Science Society of America Book Series, Madison, Wisconsin.

41. Wangmo, T., S. Dorji, T. Tobgay and T. Pelden. 2022. Effects of biochar on yield of chilli, and soil chemical properties. *Asian Journal of Agricultural Extension, Economics and Sociology* 40: 64-77.

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 13, No. 2, Summer 2023, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Improvement of Yield, Yield Components and the Concentration of Some Nutrients in Rice Leaves by Using Rice Straw and Its Biochar

S. A. Mousavi Elyerdi[1], M. A. Bahmanyar[2*], F. Sadegh Zadeh[3] and B. Jalili[4]

(Received: February 11-2023; Accepted: June 24-2023)

Abstract

In order to investigate the possibility of improvement of yield, yield components and the concentration of some nutrients in rice leaves (Tarom variety) by using rice straw and its biochar, a factorial experiment was conducted in the form of a randomized complete block design in nine treatments and three replications in the farm of Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, north of Iran, in 2021. The first factor was rice straw (S) at three levels of zero, 2 and 4 tons/ha and the second factor was rice straw biochar (B) at three levels of zero, 1 and 2 tons/ha. The maximum concentration of potassium (1.22%), nitrogen (4.73%) and iron (208 mg/kg) in the flag leaf was observed when rice was grown in the high levels of rice straw and particularly its biochar. Also, the concentration of silicon, manganese and zinc in the flag leaf increased with the increase in the levels of rice straw and its biochar. By increasing the use of rice straw and its biochar, the number of tillers, plant height, panicle length, weight of 1000 seeds and the number of filled seeds increased significantly. The combined use of rice straw and its biochar increased the rice grain yield, indicating a 1.78 times increase in the treatment of 2 tons/ha of rice straw biochar + 4 tons/ha of rice straw (S_2B_2) compared to the control. Therefore, it can be concluded that the application of 2 tons/ha of biochar and 4 tons/ha of rice straw can lead to the maximum grain yield by increasing the concentration of nutrients in the flag leaf and improving the growth and yield components of rice.

Keywords: Micronutrients, Nitrogen, Organic matter, Panicle, Potassium, Silicon

1, 2, 3 and 4. Graduated M.Sc. Student, Professor, Associate Professor, and Assistant Professor, Respectively, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Crop Sciences, Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
*: Corresponding Author, Email: mali.bahmanyar@gmail.com