Archive of SID

مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی) جلد ۴۲ شماره ۱ بهار ۱۳۹۸

اثر زغال زیستی تهیه شده از بقایای کشاورزی بر شاخص‌های رشد و کلروفیل گیاه ذرت (Zea mays) در شرایط گلخانه‌ای

نرجس سوسرائی [۱]، مجتبی بارانی مطلق [۲*]، فرهاد خرمالی [۳] و اسماعیل دردی‌پور [۴]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم خاک، گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
۲- دانشیار گروه علوم خاک، گروه علوم خاک ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
۳- استاد گروه علوم خاک، گروه علوم خاک ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
۴- دانشیار گروه علوم خاک، گروه علوم خاک ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

تاریخچه مقاله

دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۰۴

پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۰۴/۲۶

کلمات کلیدی:
بقایای کشاورزی،
ویژگی‌های رشد رویشی،
زغال زیستی،
شاخص کلروفیل ،
دم

* عهده دار مکاتبات
Email: mbarani2002@yahoo.com

چکیده

زغال زیستی، مواد آلی مقاوم به تجزیه بوده و حاصل حرارت دهی زیست توده‌های گیاهی و بقایای کشاورزی در شرایط عدم وجود اکسیژن یا اکسیژن محدود می‌باشد. به‌منظور بررسی تأثیر زغال زیستی حاصل از بقایای کشاورزی (برنج، پنبه و کلزا) بر ویژگی‌های رشد رویشی و شاخص سبزینگی و انواع کلروفیل گیاه ذرت، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ٤ تکرار به اجرا درآمد که تیمارها شامل شاهد و ۳ نوع زغال زیستی تهیه شده از بقایای برنج، پنبه و کلزا در دماهای ۳۵۰ و ۷۰۰ درجه سلسیوس هرکدام با مقادیر ۲ و ۵٪ وزنی بودند. نتایج نشان داد که در اثر تبدیل بقایای کشاورزی به زغال زیستی مقادیر pH، قابلیت هدایت الکتریکی و محتوی خاکستر افزایش و مقادیر کربن آلی و بازده زغال زیستی کاهش یافت. همچنین افزایش دمای تولید زغال زیستی از ۳۵۰ به ۷۰۰ درجه سلسیوس منجر به تولید زغال‌های زیستی با pH و قابلیت هدایت الکتریکی بالاتر شد. نتایج نشان داد که اثر زغال‌های زیستی و سطح کاربرد بر تمامی ویژگی‌های رشد رویشی معنی‌دار شد لیکن اثر دمای تهیه زغال تنها بر ویژگی‌های وزن تر و خشک برگ و وزن تر ساقه معنی‌دار بود. دمای تولید زغال زیستی بر انواع کلروفیل (a، b و کل) و شاخص کلروفیل (SPAD) برگ میانی ذرت اثر معنی‌داری داشت. به‌گونه‌ای که مقادیر کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل در تیمارهای زغال‌های زیستی تولید شده در دمای ۷۰۰ درجه سلسیوس نسبت به زغال‌های زیستی تولید شده در دمای ۳۵۰ درجه سلسیوس ٦ درصد افزایش یافتند.

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

به‌طور کلی سطح مواد آلی خاک‌های زراعی کشور کمتر از یک درصد است که این امر به دلایل قرار داشتن ایران در زمره مناطق خشک و نیمه‌خشک، مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی و عدم استفاده از کودهای آلی است. در بسیاری از موارد نیز کاربرد کودهای شیمیایی سبب آلودگی محیط زیست و صدمات اکولوژیکی می‌شود که خود باعث افزایش هزینه تولید می‌گردد. (۲۸).به همین دلیل کشاورزان مداوم در تلاشند تا با تأمین نیاز غذایی گیاه به ویژه از طریق بازگرداندن بقایای آلی به خاک، تولید محصول را تا حد امکان افزایش دهند. (۲۱). از این رو، تولید اصلاح کننده‌های کارآمد خاک و در عین حال با کمترین آسیب به محیط زیست مورد توجه زیادی قرار گرفته است. بیوچار، زغال تهیه شده از زیست‌توده‌های گیاهی و ضایعات کشاورزی مانند کاه گندم، ذرت، سبوس برنج و تفاله نیشکر است که طی فرآیند ترموشیمیایی گرماکافت [1]تولید می‌شود، این فرآیند، سوختن کند و آرام مواد آلی در شرایط کمبود اکسیژن یا نبود آن است. با تبدیل ضایعات کشاورزی به بیوچار حجم و وزن مواد زائد تا حد قابل‌توجهی کاهش می‌یابد(۱۹). زغال زیستی یک ماده متخلخل ریزدانه است که در مقایسه با ماده آلی اولیه تشکیل دهنده آن، دارای حجم پایین‌تر و مقدار بیش‌تر کربن است. همچنین این ترکیب نسبت به تجزیه بسیار مقاوم‌تر و برای مدت زمان طولانی می‌تواند در خاک باقی بماند(۷).

زغال زیستی از راه‌های متعددی مانند بهبود ویژگی‌های کیفی خاک، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، نگهداری آب و مواد غذایی، افزایش میزان ترسیب کربن در خاک و کاهش تصعید گازهای گلخانه‌ای، بهبود کارایی مصرف عناصر غذایی و تحریک فعالیت ریزجانداران خاک سبب افزایش رشد و عملکرد گیاهان می‌شود (۱۱). واکاری و همکاران [2] (۴۱) ۳۰ درصد افزایش در عملکرد گندم را با کاربرد ۶۰ تن در هکتار بیوچار تولید شده از چوب جنگلی در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد گزارش کردند. اینال و همکاران [3] (۲۳) نیز اثرات افزودن سطوح مختلف بیوچار تولید شده از کود مرغی (۰، ۲/۵، ۵ و ۱۰ گرم در کیلوگرم) در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد بر ویژگی‌های شیمیایی خاک آهکی و رشد ذرت را بررسی و گزارش کردند که بیوچار سبب افزایش رشد ذرت شد. اوزوما و همکاران [4] (۴۰) نشان دادند کاربرد ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار بیوچار تولید شده از کود گاوی در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به خاک شنی سبب افزایش معنی‌دار رشد و عملکرد ذرت شد. چان و همکاران [5] (۱۴) دریافتند مصرف زغال زیستی به تنهایی در طی یک سال هیچ اثر قابل توجهی بر وضعیت گیاه نداشت ولی با گذشت ۴ سال، با افزایش مصرف زغال زیستی عملکرد ذرت به تدریج افزایش یافت. بلک‌وال و همکاران [6] (۱۰) بیان کردند که در بیش تر از ۹۰ درصد مطالعات، زغال زیستی موجب افزایش آشکار عملکرد محصول شده است. لهمان و روندون [7] (۲۶) نیز گزارش دادند که بسته به مقدار زغال زیستی مصرفی، بهبود معنی‌دار باردهی گیاه از ۲۰ تا ۲۲۰ درصد است. البته عکس العمل گیاه در برابر افزودن زغال زیستی به ویژگی‌های زغال زیستی، شرایط خاک، نوع گیاه و آب و هوا نیز بستگی دارد. وان زوایتن و همکاران [8] (۴۲) افزایش تولید زیست توده سویا و کاهش تولید زیست توده گندم را در یک خاک آهکی در اثر کاربرد ۱۰ تن در هکتار زغال زیستی مشاهده کردند. در حالی که ژانگ و همکاران [9] (۴۶) گزارش دادند که کاربرد زغال زیستی در دو سطح ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار در یک خاک آهکی فقیر از ماده آلی موجب افزایش باردهی گیاه ذرت گردید.

1- pyrolysis
2- Vaccari *et al.*
3- Inal *et al.*
4- Uzoma *et al.*
5- Chan *et al.*
6- Blackwell *et al.*
7- Lehmann *et al.*
8- Van Zwieten *et al.*
9- Zhang et *al.*

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج پژوهش‌های چان و همکاران (۱۵) و گاسکین و همکاران[1] (۱۸) نشان داده است که کاربرد زغال‌های زیستی با منابع اولیه مختلف می‌تواند اثرات کاملاً متفاوتی را در پاسخ‌های گیاهی و تغییرات غلظت و جذب عناصر غذایی در گیاهان مختلف داشته باشد. از آن جا که اثرات کاربرد زغال‌های زیستی مختلف با مواد اولیه و شرایط گرماکافت متفاوت، بر رشد و نمو گیاهان مختلف، یکسان نیست، لذا هدف از پژوهش حاضر بررسی اثر بقایای کشاورزی (برنج، پنبه و کلزا) و زغال زیستی حاصل از آن‌ها بر رشد رویشی، شاخص سبزینگی و انواع کلروفیل در گیاه ذرت در شرایط گلخانه بود.

مواد و روش‌ها

نمونه برداری و تعیین ویژگی‌های خاک

خاک مورد استفاده از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان برداشته شد. پس از هوا خشک شدن، از الک ۲ میلی‌متری عبور داده‌شده و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نظیر بافت خاک (۱۷)، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی‌سازی با اسید (۳۴)، pH و قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع، کربن آلی (۴۳)، ظرفیت تبادل کاتیونی (۱۶)، نیتروژن کل به روش کجلدال (۱۲)، فسفر قابل‌استفاده با روش اولسن(۳۴) و پتاسیم قابل‌استفاده با استفاده از استات‌آمونیوم (۳۴) اندازه‌گیری شدند (جدول ۱).

بقایای کشاورزی و تولید زغال زیستی:

بقایای گیاهان برنج، پنبه و کلزا مورد استفاده در تهیه زغال زیستی (بیوچار) از مزارع استان گلستان جمع آوری شد. بقایای جمع‌آوری شده پس از هواخشک شدن، آسیاب شده و برای اطمینان از یکنواختی نمونه‌ها در طی گرماکافت از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. مقدار کافی از هر نمونه به‌وسیله ورقه‌های آلومینیمی پوشانده شد تا شرایط دسترسی اکسیژن محدود ایجاد گردد(۲۵). گرماکافت نمونه‌ها در کوره الکتریکی به‌طور جداگانه در دماهای ۳۵۰ و ۷۰۰ درجه سلسیوس به مدت یک ساعت با آهنگ افزایش دمای کوره حدود ۱۰ درجه سلسیوس بر دقیقه صورت گرفت. یک شبانه روز به نمونه‌ها اجازه داده شد تا به دمای محیط برسند.

سپس زغال‌های زیستی تهیه شده از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. برخی از ویژگی‌های شیمیایی مواد اولیه و زغال‌های زیستی تولیدی توسط روش‌های استاندارد آزمایشگاهی در عصاره ۱:۲۰ اندازه‌گیری شدند (جدول ۲). درصد کربن آلی با روش والکلی و بلک تعیین شد(۴۳). درصد کاهش وزن بقایا بر اثر گرماکافت و تبدیل به زغال زیستی (عملکرد بیوچار) نیز محاسبه گردید. میزان خاکستر موجود در زغال زیستی نیز با حرارت دادن پنج گرم زغال زیستی در دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس به مدت بیش‌تر از ۸ ساعت و توزین دوباره آن تعیین شد (۳۹).

آزمایش گلخانه‌ای:

در این پژوهش، تأثیر زغال زیستی حاصل از بقایای کشاورزی (برنج، پنبه و کلزا) بر ویژگی‌های رشد رویشی و شاخص سبزینگی و انواع کلروفیل گیاه ذرت (رقم سینگل کراس ۷۰۴) مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۴ تکرار به‌صورت گلدانی به اجرا درآمد.

تیمارها شامل شاهد (بدون زغال زیستی) و ۳ نوع زغال زیستی تهیه شده از بقایای برنج، پنبه و کلزا در دماهای ۳۵۰ و ۷۰۰ درجه سلسیوس هرکدام با مقادیر ۲ و ۵٪ وزنی بودند. واحدهای آزمایشی گلدان‌های پلاستیکی حاوی ۵ کیلوگرم خاک بود. سپس تعداد ۶ عدد بذر در هر گلدان در عمق ۲ سانتی‌متری خاک کاشته که پس از سبز شدن و گذشت دو هفته، تعداد بوته‌ها به ۴ عدد در هر گلدان تقلیل یافت. جهت حذف اثرات محیطی در طول دوره رشد جای گلدان‌ها دو بار در هفته به‌صورت تصادفی تغییر داده شد. عملیات آبیاری و وجین علف‌های هرز با دست انجام گرفت.

1- Gaskin *et al.*

www.SID.ir

Archive of SID

جدول (۱) برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

Table (1) Physical and chemical characteristics of the soil used in the experiment

ویژگی Property	واحد Unite	مقدار value
pH e		7.83
ECe	$dS\ m^{-1}$	0.92
Clay	%	14.47
Silt	%	67.25
Sand	%	18.3
Textural class (USDA)	-	Silt loam
CEC	$Cmol_+\ kg^{-1}$	9.86
Organic Carbon	%	0.95
Total N	%	0.0045
Available P	$(mgkg^{-1})$	6.46
Available K	$(mgkg^{-1})$	448.87

جدول (۲) خصوصیات بقایای کشاورزی و زغال‌های زیستی

Table(2) Properties of agricultural residues and biochars

محتوا خاکستر Biochar ash ٪	عملکرد بیوچار Biochar yield ٪	EC $dS\ m^{-1}$	pH	کربن آلی O.C	ترکیبات آلی Organic compound
12.5	-	3.59	5.9	50.11	بقایای برنج Rice residues
1.5	-	0.459	5.88	56.35	بقایای پنبه Cotton residues
11.5	-	2.69	5.88	52.12	بقایای کلزا Rapeseed residues
22	37.1	4.48	6.84	46.11	بیوچار برنج ۳۵۰ Rice biochar350
10.5	40.1	0.55	6.86	42.80	بیوچار پنبه ۳۵۰ Cotton biochar 350
12.5	34.1	5.23	6.84	48.99	بیوچار کلزا ۳۵۰ Rapeseed biochar 350
32	19.4	4.99	9.6	23.69	بیوچار برنج ۷۰۰ Rice biochar700
11.5	28.5	0.943	8.65	13.89	بیوچار پنبه ۷۰۰ Cotton biochar 700
19	28.0	4.52	9.17	22.23	بیوچار کلزا ۷۰۰ Rapeseed biochar 700

رطوبت خاک گلدان‌ها در طول دوره رشد گیاه در حدود ظرفیت مزرعه به روش وزنی تأمین شد. پس از پایان دوره رشد (به مدت ۹۶ روز)، ویژگی‌های رشد رویشی شامل ارتفاع بوته، تعداد برگ، زمان تا اولین گلدهی تعیین شد. سپس گیاهان برداشت و شاخساره گیاه به تفکیک اندام (ساقه و برگ) با آب شهری سپس با آب مقطر شسته و روی تورهای پلاستیکی پخش شد تا آب اضافی موجود در سطح آنها حذف شود. پس از اندازه‌گیری وزن تر ساقه و برگ، نمونه‌ها داخل آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند

www.SID.ir

Archive of SID

و بعد از آن وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری گردید. شاخص سبزینگی برگ (SPAD) دقیقاً قبل از برداشت در برگ پایینی، برگ میانی و برگ بالایی با استفاده از دستگاه کلروفیل سنج (مدل OPTI-SCIENCES, CCM-200) اندازه‌گیری شد. همچنین قبل از برداشت گیاهان، به منظور اندازه‌گیری غلظت کلروفیل‌ها (کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل)، نمونه‌گیری از برگ‌های جوان و توسعه یافته صورت پذیرفت. میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل در برگ‌های تازه گیاه با استفاده از روش آرنون (۸) اندازگیری شد. به منظور سنجش کلروفیل ۰/۲ گرم برگ در استون ۸۰ درصد هموژن گردید. پس از سانتریفیوژ، محلول روئی برداشت و جذب آن در ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر با استفاده از روش اسپکتروفتومتری اندازه‌گیری شد. آنگاه، توسط فرمول‌های زیر مقادیر کلروفیل برحسب میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ محاسبه شد.

$$\text{غلظت کلروفیل } \mathbf{a} = 12.7(A_{663}) - 2.69(A_{645}) * V/1000.W \quad (۱)$$

$$\text{غلظت کلروفیل } \mathbf{b} = 22.9(A_{645}) - 4.68(A_{663}) * V/1000.W \quad (۲)$$

$$\text{غلظت کلروفیل کل} = 20.9(A_{645}) - 8.02(A_{663}) * V/1000.W \quad (۳)$$

در این روابط،A بیانگر جذب طول موج بر حسب نانومتر، V حجم نهایی کلروفیل در استون و W وزن تر بافت برحسب گرم می‌باشد.تجزیه آماری مقایسه بین تیمارهای مختلف با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام و برای ترسیم نمودارها از برنامه Excel و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD (در سطح ۵ درصد) استفاده شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های بقایای کشاورزی و زغال‌های زیستی مورد استفاده

برخی از خصوصیات مهم بقایای کشاورزی و زغال زیستی تهیه شده در دماهای مختلف در جدول ۲ آورده شده است. در اثر تبدیل بقایای کشاورزی به زغال زیستی مقدار کربن آلی کاهش یافت. مقدار این کاهش در بیوچارهای تهیه شده در دمای ۷۰۰ درجه سلسیوس نسبت به دمای ۳۵۰ درجه سلسیوس به مراتب بیشتر بود به‌گونه‌ای که مقدار کربن آلی در بیوچار تهیه شده از پنبه در در دمای ۷۰۰ درجه سلسیوس نسبت به دمای ۳۵۰ درجه سلسیوس در حدود ۶۸ درصد کاهش نشان داد. مقدار این کاهش در بیوچار تهیه شده از پنبه در در دمای ۷۰۰ درجه سلسیوس نسبت به بقایای پنبه ۷۵ درصد بود. در اثر تبدیل بقایای کشاورزی به زغال زیستی مقادیر پ‌هاش و قابلیت هدایت الکتریکی افزایش یافت. همچنین افزایش دمای تولید زغال زیستی از ۳۵۰ به ۷۰۰ درجه سلسیوس منجر به تولید زغال‌های زیستی با pH و قابلیت هدایت الکتریکی بالاتر شد. افزایش pH و قابلیت هدایت الکتریکی در نتیجه افزایش حرارت تولید زغال زیستی توسط پژوهشگران دیگر مانند ال- وابل و همکاران[1] (۶) نیز گزارش شده است. بقایای کشاورزی (برنج، پنبه و کلزا) دارای pH اسیدی بودند و تبدیل آن-ها به زغال زیستی بسته به دمای گرماکافت دارای pH اسیدی ضعیف تا قلیایی شدید بودند. کمترین مقادیر pH با مقادیر تقریبا مشابه ۵/۹ مربوط به بقایای کشاورزی بود که به مقادیر ۹/۶، ۸/۶۵ و ۹/۱۷ به‌ترتیب در زغال‌های زیستی تهیه شده از بقایای برنج، پنبه و کلزا در دمای ۷۰۰ درجه سلسیوس رسید. این افزایش در مقدار pH عمدتاً به جدا شدن نمک‌های قلیایی از بخش آلی در اثر افزایش دمای گرماکافت نسبت داده می‌شود (۶). سونگ و گو[2] (۳۹) بیان داشتند که افزایش pH و قابلیت هدایت الکتریکی در اثر تبدیل بقایای کشاورزی به زغال زیستی احتمالاً می‌تواند در اثر افزایش غلظت اکسیدهای فلزی (کلسیم، منیزیم، پتاسیم و سدیم)، افزایش مقدار خاکستر و همچنین جدا شدن مواد معدنی از بخش آلی در اثر گرماکافت باشد.

1- Al-Wabel *et al.*
2- Song and Guo

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج نشان داد (جدول ۲) که مقدار عملکرد زغال زیستی با افزایش دمای گرماکافت کاهش یافت و از ۴۰/۱٪ در زغال زیستی تهیه شده از پنبه در دمای ۳۵۰ درجه سلسیوس تا ۱۹/۴٪ در زغال زیستی تهیه شده از برنج در دمای ۷۰۰ درجه سلسیوس متغیر بود. عملکرد زغال زیستی با افزایش دما کاهش یافت. بیشترین کاهش مربوط به زغال زیستی تهیه شده از بقایای برنج بود به‌گونه‌ای که مقدار عملکرد از ۳۷/۱٪ در زغال زیستی تهیه شده در دمای ۳۵۰ درجه سلسیوس به ۱۹/۴٪ در زغال زیستی تهیه شده در دمای ۷۰۰ درجه سلسیوس رسید. کاهش در میزان عملکرد عمدتاً به تخریب برخی ترکیبات نظیر سلولز و همی سلولز و نیز احتراق مواد آلی با افزایش دمای گرماکافت نسبت داده می‌شود (۶). مرادف و همکاران[1] (۲۹) کاهش در مقدار عملکرد با دما را به افزایش نرخ تصعید ترکیبات آلی مرتبط دانستند.

یانگ و همکاران[2] (۴۴) بیان داشتند که حذف کامل رطوبت در دمای ۲۲۰ درجه سلسیوس، همی‌سلولز در دمای ۲۲۰–۳۱۵ درجه سلسیوس و سلولز در دمای ۴۰۰–۳۱۵ درجه سلسیوس اتفاق می‌افتد درحالی‌که تجزیه لیگنین در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس رخ می‌دهد. نوواک و همکاران (۳۲) بازده بیشتر زغال زیستی در دمای پایین‌تر گرماکافت را ناشی از حداقل میعان ترکیبات آلیفاتیک و هدررفت کمتر CH_4، H_2 و CO دانستند. افزون بر این آنان کاهش در عملکرد زغال زیستی با افزایش دما را به دهیدراته شدن گروه‌های هیدروکسیل و تخریب حرارتی ساختمان‌های لیگنو–سلولز مرتبط دانستند. برعکس مقدار عملکرد زغال زیستی، مقدار محتوی خاکستر زغال زیستی با افزایش دمای گرماکافت افزایش یافت. درصد خاکستر از ۱۲/۵، ۱/۵ و ۱۱/۵٪ به‌ترتیب در بقایای برنج، پنبه و کلزا به ۳۲، ۱۱/۵ و ۱۹٪ در زغال‌های زیستی تهیه شده از این بقایا در دمای دمای ۷۰۰ درجه سلسیوس افزایش یافت.

ازچیمن و ارسوی–مریچبویو[3] (۳۳) با به‌دست آوردن یافته‌های مشابه مقدار بالاتر خاکستر در زغال زیستی را ناشی از باقی ماندن مواد معدنی تشکیل دهنده خاکستر در زغال زیستی در طی کربن سازی دانستند. افزایش مقدار خاکستر و کاهش عملکرد زغال زیستی در نتیجه افزایش حرارت تولید زغال زیستی توسط پژوهشگران دیگر مانند ال- وابل و همکاران (۶) نیز گزارش شده است.

نتایج جدول ۲ همچنین نشان می‌دهد مقدار محتوی خاکستر در مواد اولیه و زغال‌های زیستی حاصل از آن‌ها در پنبه کمتر از برنج و کلزا بود. آمونته و جوزف[4] (۷) با بدست آوردن نتایج مشابه گزارش کردند که پایین بودن مقدار خاکستر در زغال زیستی تهیه شده از مواد سخت بافت و چوبی نسبت به گیاهان علفی و کاه می‌تواند ناشی از مقدار پایین سیلیس در گیاهان چوبی باشد.

ویژگی‌های رشد رویشی گیاه

نعیم و همکاران[5] (۳۰) کاربرد بقایای گیاهی به‌صورت بیوچار را به عنوان رویکرد جایگزین برای حفظ باروری خاک پیشنهاد نمودند. نتایج تجزیه واریانس اثر زغال‌های زیستی حاصل از بقایای کشاورزی (برنج، پنبه و کلزا) بر ویژگی‌های رشد رویشی گیاه ذرت در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج نشان داد که اثر نوع زغال‌های زیستی و سطح کاربرد آن‌ها بر تمامی ویژگی‌های رشد رویشی معنی‌دار بود لیکن اثر دمای تهیه زغال تنها بر ویژگی‌های وزن تر و خشک برگ و وزن تر ساقه معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل زغال زیستی، سطح و دما بر ارتفاع گیاه، تعداد برگ و زمان گلدهی معنی‌دار نبود(جدول ۳). در بین ویژگی‌های رشد رویشی، تنها وزن تر و خشک برگ در تمامی عوامل یعنی نوع زغال زیستی تهیه شده از بقایای کشاورزی (برنج، پنبه و کلزا)، سطح کاربرد زغال زیستی، دمای تهیه زغال زیستی و اثرات متقابل آن‌ها معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی نشان داد که نوع زغال زیستی تهیه شده از بقایای

1- Muradov *et al.*
2- Yang *et al.*
3- Ozçimen and Ersoy
4- Amonette and Joseph
5- Naeem *et al.*

www.SID.ir

Archive of SID

کشاورزی (برنج، پنبه و کلزا) ارتفاع گیاه را به‌طور معنی‌داری ($p<0.01$) افزایش داد. بیشترین میانگین ارتفاع گیاه مربوط به زغال زیستی تهیه شده از بقایای پنبه با میانگین ۱۲۰/۹۵ سانتی‌متر و کمترین مقدار مربوط به زغال زیستی تهیه شده از بقایای کلزا با میانگین ۱۰۵/۷۵ سانتی‌متر بود (جدول ۴).

زغال زیستی از طریق بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک (جرم مخصوص ظاهری، ظرفیت نگهداری آب، و نفوذپذیری)، بهینه سازی خصوصیات شیمیایی خاک (نگهداری و دسترسی عناصر غذایی) و تقویت فعالیت‌های زیستی خاک می‌تواند منجر به افزایش رشد گیاه و بهبود عملکرد محصول شود. (۲)بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که بیوچار یک ماده اصلاح‌کننده مفید برای بهبود ویژگی-های فیزیکی و شیمیایی خاک، مؤثر در حفظ ماده آلی خاک، افزایش بهره‌وری کود استفاده شده و افزایش تولید محصول می‌باشد. (۲۱)

مقایسه میانگین تعداد برگ، وزن تر و خشک برگ در گیاه نشان داد که بیشترین تعداد برگ، وزن تر و خشک برگ مربوط به زغال زیستی تهیه شده از بقایای برنج با میانگین‌های به‌ترتیب ۱۱/۰۸، ۸/۲۵ و ۱/۸۶ گرم در گیاه و کمترین آن‌ها مربوط به زغال زیستی تهیه شده از بقایای کلزا بود. بیشترین وزن تر و خشک ساقه به‌ترتیب با مقادیر ۳۴/۳۲ و ۵/۳۹ گرم در گیاه در تیمار زغال زیستی تهیه شده از بقایای پنبه به‌دست آمد. کمترین زمان تا ظهور اولین گل مربوط به تیمار زغال زیستی تهیه شده از بقایای پنبه با میانگین ۸۳/۲۵ روز و بیشترین مقدار آن با میانگین ۸۵/۶۶ روز مربوط به تیمار زغال زیستی تهیه شده از بقایای کلزا بود (جدول ۴).

اختر و همکاران[1] (۵) در آزمایشی اثر بیوچار را بر رشد گندم بررسی و گزارش کردند بیوچار بر همه ویژگی‌های مورد مطالعه (طول ساقه، تعداد پنجه، تعداد خوشه، طول خوشه، تعداد سنبلچه در خوشه و عملکرد دانه) اثر مثبت داشت. ژانگ و همکاران (۴۶) نیز گزارش کردند کاربرد ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار بیوچار تولید شده از کاه گندم، عملکرد ذرت را به‌ترتیب به میزان ۷ و ۱۶ درصد در یک خاک لومی آهکی فقیر از کربن آلی افزایش داد. اوزوما و همکاران[2] (۴۰) نیز نشان دادند که کاربرد بیوچار سبب افزایش رشد و عملکرد ذرت در مقایسه با شاهد شد و اثر معنی‌داری بر ارتفاع و تعداد برگها در مراحل مختلف رشد ذرت در خاک شنی مورد مطالعه داشت.

ماجور و همکاران[3] (۲۷) نیز بیان کردند افزایش عملکرد در اثر کاربرد بیوچار در خاک می‌تواند به دلیل اثرات مستقیم (عناصر غذایی موجود در بقایا که طی فرایند تجزیه حرارتی به بیوچار تبدیل شده) و غیرمستقیم (بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک) باشد. چان و همکاران[4] (۱۵) و ژانگ و همکاران[5] (۴۵) نیز افزایش عملکرد ذرت در در تیمارهای بیوچار را به افزایش فراهمی عناصر غذایی و بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند کاهش چگالی ظاهری نسبت دادند. اسچولز و همکاران (۳۸) گزارش کردند که بیوچار باعث افزایش کربن آلی در خاک می-شود که درنتیجه باعث افزایش نسبی جمعیت و تجمع رشد میکروبی می‌گردد که این امر منجر به غیرمتحرک شدن کوتاه مدت عناصر غذایی از جمله آمونیوم و نیترات می‌گردد. با مرگ میکرواورگانیسم‌ها این عناصر از طریق معدنی شدن آزاد می-شوند که درنتیجه باعث بهبود رشد گیاه می‌گردد.

در رابطه با اثر بیوچار بر عملکرد گیاه نتایج متفاوتی گزارش شده است. پاره‌ای از مطالعات معنی‌دار نبودن این اثر را گزارش کرده‌اند و پاره‌ای دیگر به اثر مثبت بیوچار اشاره کرده‌اند (۱۳، ۴۱). هر چند تعدادی از مطالعات از جمله جفری و همکاران[6] (۲۴) و اسچولز و برونو[7] (۳۷) اثر منفی بیوچار بر رشد گیاه را گزارش کرده‌اند.

1- Akhtar *et al.*

2- Uzoma *et al.*
3- Major *et al.*
4- Chan *et al.*
5- Zhang *et al.*
6- Jeffery *et al.*
7- Schultz and Bruno

www.SID.ir

Archive of SID

جدول (۳) تجزیه واریانس اثر کاربرد زغال‌های زیستی بر ویژگی‌های رشد رویشی ذرت

Table (3) Analysis of variance of the application of biochar on growth parameters of Corn

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS						
		ارتفاع گیاه Plant height	تعداد برگ Number of leaf	وزن تر برگ Leaf wet weight	وزن خشک برگ Leaf dry weight	وزن تر ساقه Stem wet weight	وزن خشک ساقه Stem dry weight	تاریخ گلدهی Time to first flowering
بیوچار biochar	2	1459^{***}	1.79^{**}	7.56^{***}	0.929^{***}	255.1^{***}	10.22^{***}	36.16^{**}
سطح level	1	2592.3^{***}	1.79^{**}	6.29^{***}	0.522^{**}	239^{***}	3.38^{***}	35.16^{**}
دما temperature	1	0.22^{ns}	1.12^{ns}	9.08^{***}	0.842^{**}	22.22^{*}	0.385^{ns}	6.72^{ns}
بیوچار× سطح biochar ×level	2	997.4^{***}	0.58^{ns}	3.81^{***}	0.258^{**}	86.34^{***}	2.74^{***}	16.2^{**}
بیوچار× دما ×temperature biochar	2	294.5^{*}	1.12^{*}	5.22^{***}	0.384^{**}	11.65^{ns}	1.27^{**}	2.8^{ns}
دما × سطح ×level temperature	1	266.72^{*}	0.375^{ns}	2.57^{**}	0.311^{**}	5.74^{ns}	0.52^{*}	16.72^{*}
بیوچار× دما× سطح ×level ×temperature biochar	2	83.53^{ns}	0.5^{ns}	5.22^{***}	0.241^{**}	35.32^{**}	2.13^{***}	5.26^{ns}
ضریب تغییرات CV		7.29	5.004	7.004	14.57	8.53	8.12	2.22

***، **، * و ns به ترتیب بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح۰/۱، ۱، ۵ درصد و عدم تفاوت معنی‌دار می‌باشند.

***,**, * and ns, significant at the 0.1, 1, 5% levels probability and non-significant, respectively.

اثر دمای تهیه زغال زیستی تهیه شده از بقایای مختلف (برنج، پنبه و کلزا) بر عمده ویژگی‌های رشد رویشی نظیر ارتفاع گیاه، تعداد برگ، وزن تر و خشک ساقه و زمان گلدهی معنی‌دار نبود و تنها بر وزن تر و خشک برگ اثر معنی‌داری در سطح ۵٪ داشت به‌گونه‌ای که با افزایش دمای تهیه زغال زیستی از ۳۵۰ به ۷۰۰ درجه سلسیوس، وزن تر و خشک برگ به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. این عدم معنی‌داری بر ویژگی‌های های رشد رویشی نشان‌دهنده آن است متفاوت بودن نوع ماده اولیه (برنج، پنبه و کلزا) در تهیه زغال زیستی، تأثیر بیش‌تری از متفاوت بودن دمای تولید (۳۵۰ و ۷۰۰ درجه سلسیوس) داشت. راجکویچ و همکاران[1] (۳۵) نیز در مطالعه‌ای در مورد تأثیر نوع ماده اولیه و دمای تولید زغال زیستی بر رشد ذرت، گزارش دادند که تأثیر نوع ماده اولیه به مراتب بیش تر از تأثیر دمای تولید زغال زیستی است.

مقایسه میانگین اثرات اصلی نشان داد که بیشترین ارتفاع گیاه، تعداد برگ، وزن تر و خشک ساقه و نیز کمترین زمان تا ظهور اولین گل در سطح ۲ درصد زغال‌های مختلف زیستی به‌دست آمد و با افزایش سطح کاربرد زغال‌های زیستی به ۵٪، این ویژگی‌های های رشد کاهش یافت. به‌گونه‌ای که ارتفاع گیاه ذرت به‌طور میانگین از ۱۲۰/۳۳ سانتی‌متر در سطح ۲ درصد به ۱۰۱/۰۸ سانتی متر در سطح ۵ درصد کاهش یافت هرچند در مورد تعداد برگ و وزن تر و خشک ساقه این کاهش معنی‌دار نبود.

1- Rajkovich *et al.*

www.SID.ir

Archive of SID

جدول (٤) مقایسه میانگین اثر نوع زغال‌های زیستی، دما و سطوح کاربرد بر ویژگی‌های رشد رویشی ذرت

Table (4) Mean comparison of effects of biochars, temperature, and application rates on growth parameters of Corn

تاریخ گلدهی Time to first flowering (روز day)	وزن خشک ساقه Stem dry weight (گرم در گیاه gr/plant)	وزن تر ساقه Stem wet weight (گرم در گیاه gr/plant)	وزن خشک برگ Leaf dry weight (گرم در گیاه gr/plant)	وزن تر برگ Leaf wet weight (گرم در گیاه gr/plant)	تعداد برگ Number of leaf	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	تیمار Treatment
							بیوچار biochar
84.08[b]	5.06[b]	33.11[a]	1.86[a]	8.25[a]	11.08[a]	112.58[b]	برنج rice
83.25[b]	5.39[a]	34.32[a]	1.58[b]	7.35[b]	10.75[b]	120.95[a]	پنبه cotton
85.66[a]	4.13[c]	28.16[b]	1.48[b]	7.12[b]	10.54[b]	105.75[c]	کلزا Rapeseed
							دما temperature
84.63[a]	4.79[a]	34.51[a]	1.75[a]	7.96[a]	10.91[a]	112.91[a]	350
84.02[a]	4.93[a]	32.85[a]	1.53[b]	7.25[b]	10.66[a]	113.02[a]	700
							سطح (درصد) Level (%)
85.5[a]	4.43[b]	28.23[b]	1.57[b]	7.42[b]	10.5[b]	117.05[a]	0
83.08[b]	5.09[a]	33.93[a]	1.55[b]	7.21[b]	11.04[a]	120.33[a]	2
84.41[a]	5.06[a]	34.42[a]	1.81[a]	8.18[a]	10.83[a]	101.08[b]	5

در هر ستون، حروف مشابه نمایانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هست

In each column, numbers followed by the same letter are not significantly different (P<0.05)

روندون و همکاران[1] (۳۶) نیز کاهش رشد لوبیا را در یک خاک هوادیده را در نتیجه افزایش سطح کاربرد زغال زیستی از ۶۶ به ۱۸۸ تن در هکتار گزارش دادند. درحالی‌که ژانگ و همکاران[2] (۴۶) در مطالعه‌ای در یک خاک آهکی فقیر از ماده آلی (کم تر از یک درصد)، افزایش عملکرد ذرت را در نتیجه افزایش سطح کاربرد زغال زیستی از ۲۰ به ۴۰ تن در هکتار گزارش دادند.

کاربرد سطوح زیادتر بیوچار احتمالاً به دلیل افزایش شوری اثر معنی‌داری بر برخی ویژگی‌های های رشد رویشی نداشت و یا آن‌ها را در مقایسه با شاهد به طور معنی‌داری کاهش داد. با توجه به قابلیت هدایت الکتریکی زیاد زغال‌های زیستی تهیه شده از بقایای برنج و کلزا (جدول ۲) کاربرد ۲ و ۵ درصد بیوچار به‌طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد میزان قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک را به‌ترتیب به میزان ۴۰ و ۶۲ درصد افزایش داد (قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک پس از برداشت در تیمارهای کاربرد سطوح ۰، ۲ و ۵ درصد وزنی بیوچار به‌ترتیب ۱/۳۳، ۲/۱۱ و ۳/۴۶ دسی زیمنس بر متر به دست آمد). نتایج مشابهی توسط گویلی و همکاران[3] (۲۱) گزارش شده است. آنان گزارش کردند که کاربرد پنج درصد بیوچار وزن تر اندام هوایی را در

1- Rondon *et al.*
2- Zhang *et al.*
3- Govaili *et al.*

www.SID.ir

Archive of SID

مقایسه با شاهد به طور معنی‌داری به میزان ۱۰/۲۶ درصد کاهش داد که این امر را به افزایش شوری حاصل از کاربرد مقادیر زیاد بیوچار نسبت دادند. آنان افزایش ۵۱۴ درصدی در قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع را پس از کاربرد ۵ درصد وزنی بیوچار مشاهده نمودند.

اثرات متقابل نوع، سطح کاربرد و دمای تهیه زغال زیستی بر ویژگی‌های های رشد رویشی گیاه ذرت در جدول ۵ آورده شده است.

نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد بیشترین و کمترین ارتفاع گیاه در سطح ۵٪ به‌ترتیب در تیمارهای بیوچار تهیه شده از بقایای پنبه در دمای ۳۵۰ درجه سلسیوس و بیوچار تولید شده از بقایای کلزا در دمای ۷۰۰ درجه سلسیوس با مقادیر به‌ترتیب ۱۳۲/۵ و ۸۰ سانتی‌متر بود که که همانگونه که قبلا نیز گفته شد احتمالاً به‌دلیل افزایش شوری حاصل از کاربرد مقادیر زیاد بیوچار می‌باشد (قابلیت هدایت الکتریکی بیوچار پنبه در دمای ۳۵۰ درجه سلسیوس ۰/۵۵ دسی زیمنس بر متر و بیوچار تولید شده از کلزا در دمای ۷۰۰ درجه سلسیوس ۴/۵۲ دسی زیمنس بر متر بود).

بیشترین تعداد برگ در تیمار بیوچار برنج ۳۵۰ درجه سلسیوس و سطح ۲٪ بدست آمد که با سطح ۵ ٪ آن تفاوت معنی‌داری نداشت. بیشترین وزن تر و خشک برگ نیز در تیمار بیوچار برنج ۳۵۰ درجه سلسیوس و سطح ۲٪ بدست آمد درحالی‌که بیشترین وزن تر ساقه با مقدار ۳۹/۶۸ گرم در گیاه در تیمار بیوچار برنج ۷۰۰ درجه سلسیوس و سطح ۵٪ و بیشترین وزن خشک ساقه در تیمار بیوچار پنبه ۳۵۰ و سطح ۲٪ دیده شد که با تیمار بیوچار برنج ۷۰۰ درجه سلسیوس و سطح ۵٪ تفاوت معنی‌داری نداشت.

کمترین مدت زمان تا ظهور اولین گل در تیمار بیوچار پنبه ۷۰۰ درجه سلسیوس و سطح ۲٪ با ۷۸ روز به‌دست آمد. اثر تسریع‌کنندگی گلدهی می‌تواند به دلیل افزایش در میزان کلروفیل گیاه باشد که به‌نوبه خود منجر به افزایش فتوسنتز و درنتیجه کاهش طول دوره رویشی گیاه می‌شود همچنین کاهش زمان تا گلدهی احتمالاً به دلیل افزایش توسعه ریشه و جذب سریع عناصرغذایی بوده که این امر موجب تسریع رشد و گذر سریع‌تر گیاه از مرحله نونهالی به مرحله بلوغ می‌شود.

عباسی و انوار[1] (۱) با کاربرد دو نوع زغال زیستی حاصل از شبدر سفید و کود مرغی (۳۰ مگاگرم در هکتار) در یک خاک لومی در شرایط گلخانه بیان کردند که افزایش ماده آلی خاک و بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاه و همچنین بهبود شرایط ساختمان خاک از جمله دلایل افزایش عملکرد گیاه در اثر افزودن زغال زیستی به خاک می‌باشند. اوزوما و همکاران(۴۰) نیز نشان دادند به کاربردن بیوچار کود گاوی اثر معنی‌داری بر ارتفاع و تعداد برگ در مراحل مختلف رشد ذرت کشت شده در خاک شنی مورد مطالعه داشت که این دو شاخص در فتوسنتز و عملکرد گیاه موثر بوده و از این طریق رشد و عملکرد ذرت افزایش یافت. درحالی‌که چان و همکاران (۱۴) و ون زوایتن و همکاران[2] (۴۲) افزایش معنی‌داری در عملکرد گندم در هنگام کاربرد بیوچار ضایعات کاغذ در خاک نسبت به شاهد (بدون کاربرد بیوچار) مشاهده نکردند که آن را ناشی از ماهیت بیوچار که غنی از کربن و فقیر از عناصر غذایی بود مرتبط دانستند. حسین و همکاران[3] (۲۲) بهبود رشد گیاه گوجه فرنگی در اثر عرضه بیوچار حاصل از لجن فاضلاب را به اثر بیوچار بر افزایش حاصلخیزی خاک از طریق افزایش نگهداشت آب و ظرفیت تبادلی کاتیونی خاک نسبت دادند. همچنین محققان دیگر (۱۴، ۲۰) گزارش کردند که بیوچار باعث افزایش تهویه خاک، ظرفیت نگداری آب خاک و ایجاد محیط زیست مناسب برای رشد و گسترش سیستم ریشه‌ای گیاه می‌شود.

1- Abbasi and Anwar

2- Van Zwieten *et al.*

3- Hossain *et al.*

www.SID.ir

Archive of SID

جدول (۵) مقایسه میانگین اثر متقابل نوع زغال‌های زیستی، دما و سطوح کاربرد بر ویژگی‌های رشد رویشی ذرت

Table (5) Mean comparison of effects of biochars, temperature, and application rates on growth parameters of Corn

تیمار Treatment	سطح level (٪)	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	تعداد برگ Number of leaf	وزن تر برگ Leaf wet weight (گرم در گیاه gr/plant)	وزن خشک برگ Leaf dry weight (گرم در گیاه gr/plant)	وزن تر ساقه Stem wet weight (گرم در گیاه gr/plant)	وزن خشک ساقه Stem dry weight (گرم در گیاه gr/plant)	تاریخ گلدهی Time to first flowering (روز day)
شاهد control	0	117.5^{ab}	10.5^{dc}	7.4^{bc}	1.57^{dc}	28.23^{d}	4.43^{fg}	85.5^{abc}
بیوچار برنج Rice biochar 350	2	114.5^{bc}	12^{a}	8.9^{a}	2.35^{a}	34.67^{bc}	5.71^{bdc}	84^{bc}
بیوچار برنج Rice biochar 350	5	98.2^{d}	11.5^{ab}	9.7^{a}	2.37^{a}	34.45^{bc}	4.99^{ef}	84^{bc}
بیوچار پنبه Cotton residues 350	2	124.7^{ab}	11^{bdc}	7.4^{bc}	1.54^{dc}	38.52^{ab}	6.38^{a}	82.7^{c}
بیوچار پنبه Cotton residues 350	5	132.5^{a}	11.5^{ab}	6.8^{dc}	1.58^{dc}	36.76^{abc}	5.75^{abc}	83.2^{c}
بیوچار کلزا Rapeseed biochar 350	2	111.5^{bdc}	10.5^{dc}	7.2^{bc}	1.44^{dc}	25.85^{d}	3.28^{h}	86.2^{ab}
بیوچار کلزا Rapeseed biochar 350	5	82.2^{e}	10.2^{d}	9.3^{a}	1.78^{bc}	26.82^{d}	3.72^{h}	85^{abc}
بیوچار برنج Rice biochar 700	2	126.2^{ab}	11.2^{abc}	6.4^{ed}	1.27^{d}	33.39^{c}	4.86^{ef}	82.7^{c}
بیوچار برنج Rice biochar 700	5	101.5^{dc}	10.7^{bdc}	9.7^{a}	2.05^{ab}	39.68^{a}	5.93^{ab}	82.7^{c}
بیوچار پنبه Cotton residues 700	2	121.5^{ab}	10.7^{bdc}	7.1^{dc}	1.44^{dc}	37.13^{abc}	5.27^{ebc}	78^{d}
بیوچار پنبه Cotton residues 700	5	112^{bdc}	10.2^{d}	8^{b}	1.82^{bc}	37.03^{abc}	6.12^{ab}	84.5^{bc}
بیوچار کلزا Rapeseed biochar 700	2	123.5^{ab}	10.7^{bdc}	6.2^{ed}	1.25^{d}	34.05^{bc}	5.09^{ed}	84.7^{abc}
بیوچار کلزا Rapeseed biochar 700	5	80^{e}	10.7^{bdc}	5.6^{e}	1.28^{d}	25.80^{d}	3.87^{hg}	87^{a}

در هر ستون، حروف مشابه نمایانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است

In each column, numbers followed by the same letter are not significantly different (P<0.05)

ژانگ و همکاران (۴۵) دریافتند که استفاده از بیوچار در خاک باعث افزایش رشد اندام هوایی و زیر زمینی گیاه ذرت شد. آنان این امر را به بهبود خصوصیات فیزیکی خاک، pH، ظرفیت تبادلی کاتیونی، افزایش نگهداری عناصر غذایی، تغییر جمعیت میکروبی در اثر کاربرد بیوچار نسبت دادند که سبب افزایش عملکرد گیاه می-

www.SID.ir

Archive of SID

شود. نوواک و همکاران[1] (۳۲) گزارش کردند که بیوچار احتمالاً موجب بهبود خصوصیات فیزیکی خاک مانند تهویه و ظرفیت نگه داشت آب و شیمیایی خاک مانند گروه‌های عاملی، و ظرفیت تبادلی کاتیونی نیز می‌شود که منجر به بهبود رشد گیاه می‌گردد.

شاخص سبزینگی و کلروفیل برگ

غلظت کلروفیل برگ، شاخص مستقیم سلامتی گیاه و وضعیت رشد آن است و می تواند شاخصی از فعالیت فتوسنتزی گیاه باشد (۱۱). نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی تیمارهای زغال زیستی و سطح کاربرد بیوچار بر شاخص کلروفیل برگ پایینی، میانی، کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل معنی‌دار بود ($p <$ ۰/۰۵). همچنین اثرات متقابل تیمارهای زغال زیستی، دما و سطوح کاربرد زغال زیستی بر شاخص‌های کلروفیل (برگ پایینی، میانی و بالایی) و نیز کلروفیل a معنی‌دار شد (جدول ۶).

مقایسه میانگین اثرات اصلی کاربرد زغال‌های زیستی نشان داد که بیشترین میزان انواع کلروفیل (a، b و کل) در زغال زیستی تهیه شده از بقایای کلزا به‌دست آمد. همچنین شاخص سبزینگی (SPAD) برگ بالایی در زغال زیستی تهیه شده از بقایای کلزا بالاترین مقدار بود (جدول ۷). از نظر آماری تفاوت معنی‌داری بین شاخص سبزینگی (SPAD) برگ میانی در تیمارهای زغال‌های زیستی حاصل از پنبه و کلزا مشاهده نشد. آدجومو و همکاران[2] (۳) با کاربرد دو نوع زغال زیستی حاصل از بقایای آفتابگردان و سبوس برنج تهیه شده در دماهای مختلف (۳۰۰، ۳۵۰ و ۴۰۰ درجه سلسیوس) و در سه سطح مختلف (۵، ۱۰ و ۱۵ تن در هکتار) در یک آزمایش مزرعه‌ای در کشت ذرت بیان کردند که کاربرد هر دو نوع زغال زیستی سبب افزایش معنی‌دار مقدار کلروفیل برگ ذرت نسبت به تیمار عدم کاربرد زغال زیستی شد. آنان بیان کردند که تأثیر کاربرد زغال زیستی سبوس برنج در افزایش میزان کلروفیل برگ نسبت به زغال زیستی آفتابگردان بیش تر بود و حداکثر کلروفیل برگ در تیمار زغال زیستی سبوس تهیه شده در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس و و میزان ۵ تن در هکتار مشاهده شد. آنان بیان داشتند که آهن و منیزیم دو عنصر مهم و اساسی در تشکیل و ساخت کلروفیل به شمار می‌روند و افزایش مقدار کلروفیل برگ گیاه در اثر افزودن مواد آلی به خاک می‌تواند به میزان بالای آهن و منیزیم در ماده آلی کاربردی مربوط باشد.

بر خلاف شاخص‌های رشد رویشی که دمای تهیه زغال زیستی تأثیری برآن‌ها نداشت، دمای تولید زغال زیستی بر انواع کلروفیل (a، b و کل) و شاخص سبزینگی (SPAD) برگ میانی ذرت اثر معنی‌داری داشت. به‌گونه‌ای که مقادیر کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل در تیمارهای زغال‌های زیستی تولید شده در دمای ۷۰۰ درجه سلسیوس نسبت به زغال‌های زیستی تولید شده در دمای ۳۵۰ درجه سلسیوس ۶ درصد افزایش یافتند (جدول ۷).

بیوچار سبب افزایش معنی‌دار شاخص سبزینگی برگ (پایینی، میانی و بالایی) و نیز انواع کلروفیل در مقایسه با شاهد (صفر درصد بیوچار) شد (جدول ۷). نتایج همچنین نشان داد بیشترین میزان شاخص سبزینگی برگ پایینی، میانی و بالایی به‌ترتیب با مقادیر حدود ۱۲، ۱۳ و ۱۴ در سطح ۵٪ زغال‌های زیستی به‌دست آمد. همچنین بیشترین میزان انواع کلروفیل a، b و کل نیز در سطح ۵٪ زغال‌های زیستی با مقادیر حدود ۴، ۲ و ۶ میلی‌گرم بر گرم برگ تازه گیاه به‌دست آمد. اختر و همکاران[3] (۵) نیز گزارش کردند بیوچار تولید شده از ترکیب پوسته برنج و دانه کتان به‌طور معنی‌داری تجمع نیتروژن در گیاه و در نتیجه شاخص سبزینگی گندم را افزایش داد که دلیل آن را در ارتباط بودن شاخص سبزینگی با محتوای نیتروژن گیاه دانستند.

1- Novak *et al.*
2- Lima Adejumo *et al.*
3- Akhtar *et al.*

www.SID.ir

Archive of SID

جدول (٦) تجزیه واریانس اثر کاربرد زغال‌های زیستی بر صفات فیزیولوژیک ذرت

Table (6) Analysis of variance of the application of biochar on physiological properties of Corn

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS					
		SPAD (برگ پایینی bottom leaf)	SPAD (برگ میانی middle leaf)	SPAD (برگ بالایی Top leaf)	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll
بیوچار biochar	2	3.4^{***}	2.94^{***}	1.14^{ns}	1.76^{***}	0.47^{***}	4.32^{***}
سطح level	1	51.92^{***}	44.49^{***}	17.85^{***}	11.27^{***}	2.82^{***}	25.96^{***}
دما temperature	1	0.39^{ns}	9.68^{***}	0.61^{ns}	0.89^{***}	0.23^{***}	1.94^{***}
بیوچار× سطح biochar ×level	2	9.64^{***}	3.29^{***}	6.39^{***}	0.44^{***}	0.11^{***}	1.08^{***}
بیوچار× دما ×temperature biochar	2	3.17^{***}	0.16^{ns}	0.045^{ns}	0.051^{*}	0.007^{ns}	0.12^{*}
دما × سطح ×level temperature	1	15.04^{***}	13.76^{***}	0.21^{ns}	0.24^{***}	0.65^{***}	0.55^{***}
بیوچار× دما× سطح ×level ×temperature biochar	2	1.44^{**}	3.73^{***}	16.97^{***}	0.035^{*}	0.007^{ns}	0.091^{ns}
ضریب تغییرات CV		5.13	4.04	4.43	2.79	3.47	3.46

***، **، * و ns به ترتیب بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح۰/۱، ۱، ۵ درصد و عدم تفاوت معنی‌دار می‌باشند.

***,**, * and ns, significant at the 0.1, 1, 5% levels probability and non-significant, respectively

اثرات متقابل نوع، سطح کاربرد و دمای تهیه زغال زیستی بر صفات فیزیولوژیک (شاخص سبزینگی و انواع کلروفیل) گیاه ذرت در جدول ۸ آورده شده است. کمترین مقادیر شاخص‌های سبزینگی (SPAD) و انواع کلروفیل (a، b و کل) در تیمار شاهد (بدون مصرف بیوچار) به‌دست آمد. بالاترین مقادیر انواع کلروفیلa، کلروفیل b و کلروفیل کل در زغال زیستی حاصل از بقایای کلزا در دمای ۷۰۰ درجه سلسیوس و در سطح ٪۵ به‌ترتیب ۴/۶۶، ۲/۳۳ و ۷/۰۱ میلی-گرم بر گرم برگ تازه مشاهده شد که با زغال زیستی حاصل از بقایای کلزا در دمای ۳۵۰ درجه سلسیوس و در سطح ٪۵ و زغال زیستی حاصل از بقایای پنبه در دمای ۷۰۰ درجه سلسیوس و در سطح ٪۵ تفاوت معنی‌داری نداشت. سانگ و گو[1] (۳۹) گزارش کردند که کاربرد بیوچار باعث افزایش میزان کلروفیل می‌گردد که این امر سبب بهبود فتوسنتز مواد هیدرو کربنی و تولید زیتوده بیشتر و در نتیجه باعث افزایش سطح برگ و ارتفاع گیاه می‌شود. آسایی و همکاران[2] (۹) نشان دادند کاربرد بیوچار چوب سبب افزایش نیتروژن قابل دسترس برگ و در نتیجه افزایش SPAD می‌گردد.

1- Song *et al.*
2- Asai *et al.*

www.SID.ir

Archive of SID

جدول (۷) مقایسه میانگین اثر نوع زغال‌های زیستی، دما و سطوح کاربرد بر صفات فیزیولوژیک ذرت

Table (7) Mean comparison of effects of biochars, tempareture and application rates on physiological properties of corn

کلروفیل کل Total chlorophyll (میلی‌گرم بر گرم تازه گیاه mg/g fresh plant)	کلروفیل b Chlorophyll b (میلی‌گرم بر گرم تازه گیاه mg/g fresh plant)	کلروفیل a Chlorophyll a (میلی‌گرم بر گرم تازه گیاه mg/g fresh plant)	SPAD (برگ بالایی Top leaf)	SPAD (برگ میانی middle leaf)	SPAD (برگ پایینی bottom leaf)	تیمار Treatment
						بیوچار biochar
5.01^{c}	1.66^{c}	3.35^{c}	13.41^{b}	11.53^{b}	9.91^{b}	برنج rice
5.59^{b}	1.85^{b}	3.72^{b}	13.64^{ab}	12.16^{a}	10.66^{a}	پنبه cotton
5.84^{a}	1.94^{a}	3.88^{a}	13.85^{a}	12.11^{a}	10.20^{b}	کلزا Rapeseed
						دما temperature
5.31^{b}	1.76^{b}	3.54^{b}	13.54^{a}	11.57^{b}	10.33^{a}	350
5.64^{a}	1.88^{a}	3.76^{a}	13.73^{a}	12.30^{a}	10.18^{a}	700
						سطح (درصد) Level (%)
4.35^{c}	1.45^{c}	2.9^{c}	12.7^{c}	10.37^{c}	8.77^{c}	0
5.7^{b}	1.89^{b}	3.79^{b}	13.83^{b}	12.56^{b}	10.29^{b}	2
6.39^{a}	2.12^{a}	4.25^{a}	14.39^{a}	12.87^{a}	11.71^{a}	5

در هر ستون، حروف مشابه نمایانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هست

In each column, numbers followed by the same letter are not significantly different (P<0.05)

www.SID.ir

Archive of SID

جدول (۸) مقایسه میانگین اثر متقابل نوع زغال‌های زیستی، دما و سطوح کاربرد بر صفات فیزیولوژیک ذرت

Table (8) Mean comparison of effects of biochars, temperature, and application rates on physiological properties of Corn

کلروفیل کل Total chlorophyll (میلی‌گرم بر گرم تازه گیاه (mg/g fresh plant	کلروفیل b Chlorophyll b (میلی‌گرم بر گرم تازه گیاه (mg/g fresh plant	کلروفیل a Chlorophyll a (میلی‌گرم بر گرم تازه گیاه (mg/g fresh plant	SPAD (بالایی (top	SPAD (میانی (middle	SPAD (پایینی (bottom	سطح level (٪)	تیمار Treatment
4.35^{g}	1.45^{h}	2.9^{h}	12.7^{ef}	10.37^{f}	8.77^{e}	0	شاهد control
4.87^{f}	1.59^{g}	3.24^{g}	10.85^{g}	9.5^{g}	9.1^{e}	2	بیوچار برنج Rice biochar 350
5.52^{e}	1.83^{e}	3.69^{e}	16.3^{a}	13.9^{ab}	11.7^{b}	5	بیوچار برنج Rice biochar 350
5.45^{e}	1.81^{e}	3.62^{e}	15.9^{ab}	12.6^{dce}	9.43^{e}	2	بیوچار پنبه Cotton residues 350
6.25^{c}	2.08^{c}	4.15^{c}	12.06^{f}	12.2^{de}	15.25^{a}	5	بیوچار پنبه Cotton residues 350
5.88^{d}	1.95^{d}	3.91^{d}	14.17^{dc}	11.87^{e}	10.33^{d}	2	بیوچار کلزا Rapeseed biochar 350
6.83^{ab}	2.27^{ab}	4.52^{ab}	14.55^{dc}	12.93^{dc}	10.90^{dc}	5	بیوچار کلزا Rapeseed biochar 700
5.09^{f}	1.7^{f}	3.41^{f}	14.43^{dc}	13.25^{bc}	10.63^{d}	2	بیوچار برنج Rice biochar 700
5.89^{d}	1.97^{d}	3.95^{d}	13.53^{de}	11.8^{e}	10.53^{d}	5	بیوچار برنج Rice biochar 700
6.3^{c}	2.07^{c}	4.18^{c}	13.56^{de}	14.3^{a}	10.20^{d}	2	بیوچار پنبه Cotton residues 700
6.85^{ab}	2.28^{ab}	4.56^{a}	14.96^{bc}	13.13^{bc}	11.56^{bc}	5	بیوچار پنبه Cotton residues 700
6.61^{b}	2.20^{b}	4.38^{b}	14.06^{dc}	13.85^{ab}	12.1^{b}	2	بیوچار کلزا Rapeseed biochar 700
7.01^{a}	2.33^{a}	4.66^{a}	14.95^{bc}	13.27^{bc}	10.35^{d}	5	بیوچار کلزا Rapeseed biochar 700

در هر ستون، حروف مشابه نمایانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هست

In each column, numbers followed by the same letter are not significantly different (P<0.05)

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری

نوع ماده اولیه و شرایط تولید (مانند دمای گرمامافت) تأثیر زیادی بر ویژگی‌های زغال زیستی دارند. زغال‌های زیستی تهیه شده از بقایای کشاورزی (برنج، پنبه وکلزا) در دمای ۳۵۰ درجه سلسیوس در مقایسه با زغال زیستی تولیدی در دمای ۷۰۰ درجه سلسیوس دارای کربن آلی و عملکرد بیشتری بودند. با افزایش دمای تولید زغال زیستی مقادیر pH ، قابلیت هدایت الکتریکی و محتوی خاکستر افزایش یافت. اثر دمای تهیه زغال زیستی تهیه شده از بقایای مختلف (برنج، پنبه و کلزا) تنها بر وزن تر و خشک برگ اثر معنی‌داری در سطح ۵٪ داشت به‌گونه‌ای که با افزایش دمای تهیه زغال زیستی از ۳۵۰ به ۷۰۰ درجه سلسیوس، وزن تر و خشک برگ به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. بالاترین مقادیر انواع کلروفیلa، کلروفیل b و کلروفیل کل در زغال زیستی حاصل از بقایای کلزا در دمای ۷۰۰ درجه سلسیوس و در سطح ٪۵ مشاهده شد.

منابع

1. Abbasi, M.K., and Anwar, A.A. 2015. Ameliorating effects of biochar derived from poultry manure and white clover residues on soil nutrient status and plant growth Promotion - greenhouse experiments. PLoS ONE, 10: 6. 1-18.

2. Abrishamkesh, S., Gorji, M., Asadi, H., Poorbabaei, A.A. and Bagheri Marandi, Gh. 2017. Production of rice husk biochar and its effects on lentil and wheat biomass. Journal of Soil Management and Sustainable, 7(2): 135-150. (in Persian with English abstract)

3. Adejumo, S.A., Owolabi, M.O., and Odesola, I.F. 2016. Agro-physiologic effects of compost and biochar produced at different temperatures on growth, photosynthetic pigment and micronutrients uptake of maize crop. African Journal of Agricultural Research, 11: 8. 661-673.

4. Akhtar, S.S., Andersen, M.N., and F. Liu. 2014. Biochar enhances yield and quality of tomato under reduced irrigation. Agricultural Water Management, 138: 37-44.

5. Akhtar, S.S., Anderson, M.N., and F. Liu. 2015. Residual effects of biochar on improving growth. Physiology and yield of Wheat under salt stress. Agricultural Water Management, 158:61-68

6. Al-Wabel, M.I., Al-Omran, A., El-Naggar, A.H., Nadeem, M., and Usman, A.R. 2013. Pyrolysis temprature induced changes in characteristics and chemical composition of biochar produced of conocarpus wastes. Bioresource Technology, 131: 374-379.

7. Amonette, J.E. and Joseph, S. 2009. Characteristics of Biochar: Microchemical Properties., In: J. Lehmann and S. Joseph (Eds.), Biochar for Environmental Management Science and Technology. Earthscan, London. pp: 33-43.

8. Arnon, D.T. 1949. Copper enzymes in isolation chloroplast phenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology, 24: 1-15.

9. Asai, H., Samson, B.K., Stephon, H.M., Songyikhongsuthor, K., Kiyono, Y., Inoue, Y., Shiraiwa, T., and Horie, T. 2009. Biochar amendment techniques for Upland rice production in Northern Laos: 1. Soil physical properties, Leaf SPAD and grain yield. Field Crops Research, 111: 81-84.

www.SID.ir

Archive of SID

10. Blackwell, P., Riethmuller, G., and Collins, M. 2009. Biochar application for soil. In: Lehman, J., and Joseph, S. (Eds.), Biochar for Environmental Management, Science and Technology. Eds Earthscan, London, Sterling, VA. pp: 207-222.

11. Boostani, H.R., Zarei, M., and Barati, V. 2017. Effects of application of biochar and arbuscular mycorrhizal fungi on growth and chemical composition of corn (Zea mays L. 704) in a calcareous soil. Journal of Soil Management and Sustainable Production, 7(2): 1-23. (in Persian with English abstract)

12. Bremner, J.M., and Mulvaney, C.S., 1982. Nitrogen—total. In: Black, C.A.(ed.). Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties, The American Society of Agronomy. pp: 595-624.

13. Carter, S., Shackley, S., Sohi, S., Suy, T.B., and Haefele, S. 2013. The impact of biochar application on soil properties and plant growth of pot grown lettuce (*Lactuca sativa*) and cabbage (*Brassica chinensis*). Agronmy Journal, 3: 404-418.

14. Chan, K.Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., and Joseph, S. 2007. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. Australian Journal of Soil Research, 45: 629-634.

15. Chan, K.Y., Zwieten, L.V., Meszaros, I., Downie, A., and Joseph, S. 2008. Using poultry litter biochars as soil amendments. Australian Journal of Soil Research, 46: 3. 437-444.

16. Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity. In: Black, C. A. (ed). Methods of Soil Analysis. Part II. American Society of Agronomy, Madison, WI, USA. pp:891-901.

17. Day, P.R. 1955. Particle fractionation and particle-size analysis. In: Black, C.A. (Ed), Method of soil analysis. Part I. Agronomy 9, Soil Science Society. America. Madison, WI. pp. 545-567.

18. Gaskin, J.W., Spier, R.A., Das, K.C., Lee, R.D., Morris, L.A., and Fisher, D.S. 2010. Effect of peanut hull and pine chip biochar on soil nutrient status and yield. Agronomy Journal, 102: 623-633.

19. Glaser, B. and Birk, J. J. 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.

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

21. Govaili, E., Musavi, S.A.A. and. Haghighi A.A.G. 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(2): 243-259. (in Persian with English abstract)

22. Hossain, M.K., Strezov. V., Chan. K.Y., and Nelson. P.F. 2010. Agronomic properties of wastewater sludge biochar and bioavailability of metals in production of cherry tomato (*Lycoperscion esculentum*). Chemospher, 78:1167-1171

www.SID.ir

Archive of SID

23. Inal, A., Gunes, A., Sahin, O., Taskin, M.B., and Kaya, E.C. 2015. Impacts of biochar and processed poultry manure, applied to a calcareous soil, on the growth of bean and maize. Soil Use Management, 31: 106–113

24. Jeffery, S., Verheijen, F.G.A., van der Velde, M., and Bastos, A.C. 2011. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. Agriculture, Ecosystems and Environment, 144: 175-187

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

26. Lehmann, J., and Rondon, M.A. 2005. Bio-char soil management on highly weathered soil in the humid tropics., In: N. Uphoff (Ed.), Biological approaches to sustainable soil systems. CRC, Boca Raton. pp: 160-169.

27. Major, J., Lehmann, J., Rondon, M., and Goodale, C. 2010. Fate of soil applied black carbon: downward migration, leaching and soil respiration. Global Change Biology, 16: 1366-1379.

28. Mohammadian, M., and Malakouti, M.J. 2002. Effect of two types of composts on soil physical and chemical properties and corn yield. Journal of Soil and Water Science, 16(2): 143-150. (in Persian with English abstract).

29. Muradov, N., Fidalgo, B., Gujar, A.C., Garceau, N., T-Raissi, A., 2012. Production and characterization of Lemna minor bio-char and its catalytic application for biogas reforming. Biomass Bioenergy, 42: 123–131.

30. Naeem, A. M., Muhammad, K., Muhammad, A., Ghulam., A., Muhammad., T., Muhammad. A., Behzad., M., Aizheng. Y., Saqib Saleem, A., 2017. Effect of wheat and rice straw biochar produced at different temperatures on maize growth and nutrient dynamics of a calcareous soil. Archives of Agronomy and Soil Science, 63: 2048-2061

31. Novak, J.M., Busschurer, W.J., Watts, D.W., Laird, D.A., Ahmedna, M.A., and Niandou, M.A.S. 2010. Short –term CO_2 mineralization after additions of biochar and Switchgrass to a typic kandiudault. Geoderma, 154(3-4): 281-288.

32. Novak, J.M., Lima, I., Xing, B., Gaskin, J.W., Steiner, C., Das, K.C., Ahmedna, M.A., Rehrah, D., Watts, D.W., Busscher, W.J., and Schomberg, H. 2009. Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand. Annals of Environmental Science, 3: 195–206.

33. Ozçimen, D. and Ersoy-Meriçboyu, A. 2010. Characterization of biochar and bio-oil samples obtained from carbonization of various biomass materials. Renewable Energy, 35: 1319–1324.

34. Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D.R. 1982. Methods of Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological properties. 2nd ed. ASA. Madison, WI, USA.

35. Rajkovich, S., Enders, A., Hanley, K., Hyland, C., Zimmerman, A.R., and Lehmann, J. 2012. Corn growth and nitrogen nutrition after addition of biochars with varying properties to a temperate soil. Biology and Fertility of Soils, 48: 271-284.

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

www.SID.ir

Archive of SID

37. Schultz, H. and Bruno, G. 2012. Effects of biochar compared to organic and inorganic fertilizers on soil quality and plant growth in a greenhouse experiment. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 175: 410–422.

38. Schulz, H., Dunst, G., and Glaser, B. 2013. Positive effects of composeted biochar on plant growth soil fertility. Agronomy for Sustainable Development, 33(4): 817-827.

39. Song, W., and Guo, M.X. 2012. Quality variations of poultry litter biochar generated at different pyrolysis temperatures. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 94: 138-145

40. Uzoma, K., Inoue, M., Andry, H., Fujimaki, H., Zahoor, A., and E. Nishihara. 2011. Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition. Soil Use and Management, 27: 205-212.

41. Vaccari, F., Baronti, S., Lugato, E., Genesio, L., Castaldi, S., Fornasier, F., and Miglietta, F. 2011. Biochar as a strategy to sequester carbon and increase yield in durum wheat. European Journal of Agronomy, 34: 231-238.

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

43. Walkley, A., and Black, I.A. 1934. An examination degtijarf method for determination for role organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science, 37:29–38.

44. Yang, H.P., Yan, R., Chin, T., Liang, D.T., Chen, H.P., and Zheng, C.G., 2004. Thermogravimetric analysis – Fourier transform infrared analysis of palm oil wastes pyrolysis. Energy Fuels, 18: 1814–1821.

45. Zhang, H., Xu, M., and Zhan, F. 2009. long- term effect of manure application on grain yield under different cropping systems and ecological conditions in china. Journal of Agricultural Science, 147:31-42.

46. Zhang, A., Liu, Y., Pan, G., Hussain, Q., Li, L., Zheng, J., and Zhang, X. 2012. Effect of biochar amendment on maize yield and greenhouse gas emissions from a soil organic carbon poor calcareous loamy soil from Central China Plain. Plant and Soil, 351: 263-275.

www.SID.ir