

اثر بیوجار کود گاوی و تنش رطوبتی بر ویژگی‌های رشد و کارایی مصرف آب اسفناج در شرایط گلخانه‌ای

ادریس گویلی، سید علی اکبر موسوی* و علی اکبر کامگار حقیقی

دانش آموخته کارشناسی ارشد بخش علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

edris_gavili@yahoo.com

دانشیار بخش علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

aamousavi@gmail.com

aamousavi@shirazu.ac.ir

استاد بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

aakamgar@shirazu.ac.ir

چکیده

خشکسالی و تنش حاصل از آن یکی از مهم‌ترین و رایج‌ترین تنش‌های محیطی است که تولیدات کشاورزی را با محدودیت روبرو می‌سازد. با هدف بررسی اثر بیوجار حاصل از کود گاوی بر رشد، عملکرد و کارایی مصرف آب گیاه اسفناج در سطوح مختلف رطوبتی خاک، آزمایشی در شرایط گلخانه به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در آبان تا دی ماه ۱۳۹۳ انجام شد. تیمارها شامل چهار سطح بیوجار (صفر، ۱/۲۵، ۲/۵ و ۵ درصد وزنی خاک اولیه) و سه سطح رطوبتی (۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه (بدون تنش)، ۷۰ و ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه بود. سطوح تنش رطوبتی در طول فصل رشد با توزین روزانه گلدان‌ها و جبران کمبود آب خاک در زمان آبیاری با افزودن مقدار آب لازم به آن‌ها اعمال شد و میزان آب اضافه شده به هر گلدان نیز در طول فصل رشد اندازه‌گیری شد. اعمال سطوح تنش رطوبتی سبب کاهش معنی‌دار سطح برگ، هدایت روزنه‌ای، آب مصرفی، وزن تر و وزن خشک اندام هوایی گیاه در مقایسه با شاهد (صفر درصد بیوجار و ۱۰۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه) شد. اعمال تنش رطوبتی تا سطح ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه ضمن اینکه سبب کاهش معنی‌دار مصرف آب گیاه شد اثر معنی‌داری بر کارایی مصرف آب گیاه نداشت. لیکن تیمار رطوبتی ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه کارایی مصرف آب گیاه را کاهش داد. در حالی که شاخص سبزی‌نگی گیاه به‌طور معنی‌داری به ترتیب به میزان ۱۴، ۱۴ و ۱۱ درصد در مراحل اول، دوم و سوم (به ترتیب در مراحل زمانی ۴۰، ۵۵ و ۷۰ روز پس از کشت) تنها با اعمال سطح رطوبتی ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه افزایش یافت. به‌طور کلی، کاربرد ۱/۲۵ درصد بیوجار (۲۵ تن در هکتار) در سطوح مختلف تنش رطوبتی سبب کاهش اثرات منفی تنش رطوبتی (کاهش سطح برگ، کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی و غیره) و بهبود شاخص‌های رشد گیاه در مقایسه با شاهد شد. بنابراین کاربرد آن برای گیاه و به‌ویژه در شرایطی که گیاه تحت تنش خشکی است و یا در گلخانه‌ها و خزانه‌ها به منظور کاهش میزان آب مصرفی و بهبود رشد و عملکرد گیاه قابل توصیه می‌باشد، هر چند پیشنهاد می‌شود آزمایش در شرایط مزرعه نیز انجام شود.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، خاک آهکی، زغال زیستی، شاخص سبزی‌نگی، هدایت روزنه‌ای.

۱- آدرس نویسنده مسئول: شیراز، بخش علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

*- دریافت: بهمن ۱۳۹۴ و پذیرش: اردیبهشت ۱۳۹۵

مقدمه

کشور ایران دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک است و کمبود آب یکی از مشکلات اساسی کشاورزی می‌باشد. از این رو وقوع تنش خشکی در طول دوره رشد گیاه امری اجتناب‌ناپذیر است. عکس‌العمل گیاهان مختلف و حتی ارقام مختلف یک گیاه نسبت به تنش خشکی متفاوت است (وییرا و همکاران، ۱۹۹۲). گزارش‌های متعددی بیانگر کاهش رشد، عملکرد و حتی مرگ بخشی از گیاه یا تمام گیاه در نتیجه شرایط نامساعد و قرار گرفتن در شرایط تنش می‌باشد (کان ساکی و همکاران، ۲۰۰۲). خسارت ناشی از تنش‌های خشکی، شوری و دما به گیاهان زراعی در سطح جهان در مقایسه با سایر تنش‌ها گسترده‌تر و بیشتر مورد توجه است (کان ساکی و همکاران، ۲۰۰۲).

در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک که بخش عمده ایران را نیز شامل می‌شود، عدم وجود پوشش گیاهی کافی و مناسب سبب کاهش بازگشت بقایای گیاهی به خاک و در نتیجه فقر ماده آلی خاک می‌شود. از طرفی مقدار نیتروژن در خاک با مقدار مواد آلی رابطه مستقیم داشته و در مناطقی که مواد آلی خاک به دلایلی کاهش یابد نیتروژن خاک، عنصر ضروری پرمصرف برای رشد گیاه، نیز به همان میزان کاهش می‌یابد (تات، ۲۰۰۰). به همین دلیل کشاورزان مدام در تلاشند تا با تأمین نیاز غذایی گیاه به‌ویژه از طریق مصرف کودهای شیمیایی و بازگرداندن بقایای آلی به خاک، تولید محصول را تا حد امکان افزایش دهند (ماری و همکاران، ۱۹۹۶). مدیریت سنتی بقایا (سوزاندن بقایا) و همچنین تجزیه کودهای حیوانی اغلب منجر به تولید گازهای گلخانه‌ای مانند متان و اکسیدهای نیتروژن شده که پتانسیل آنها در تغییر اقلیم به ترتیب ۲۵ و ۲۹۸ بار بیشتر از دی‌اکسیدکربن است (فورستر و همکاران، ۲۰۰۷). فرایند دفن بقایا نیز بسیار پرهزینه بوده و خطرات زیادی (از جمله ورود نترات و سایر آلاینده‌ها به آب‌های زیرزمینی) برای محیط‌زیست و سلامت انسان به دنبال دارد. بعلاوه از آنجا که کود گاوی

دارای مقدار زیادی از شکل‌های قابل دسترس نیتروژن و فسفر می‌باشد کاربرد آن به خاک می‌تواند سبب افزایش خطر آبتجوی عمقی و خروج این عناصر به صورت رواناب از انتهای مزرعه و در نتیجه آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی شود. کود گاوی علی‌رغم مزایای متعدد (بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، تأمین برخی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، تأمین غذا و انرژی برای ریزجانداران خاک) همچنین می‌تواند منبع مهمی از پاتوژن‌های خطرناک باشد که به وسیله رواناب به آب‌های سطحی منتقل شده و برای انسان مضر باشد (پیتر و باستا، ۱۹۹۶). به عبارتی در سال‌های اخیر، نیاز به افزایش تولیدات دامی منجر به تراکم بالایی از دام‌ها در مزارع کوچک شده که به نوبه خود سبب تولید حجم زیادی از فضولات دامی که بسیار فراتر از توان مزارع توسعه یافته برای کاربرد و مصرف آنها می‌باشد شده است که علاوه بر مشکلات گفته شده پیشین، اشغال فضا و محدود بودن زمین‌های مناسب برای دفن فضولات دامی، وجود پاتوژن‌ها، تصاعد متان و ایجاد بوی نامطبوع و همچنین آلودگی‌های زیست‌محیطی را به دنبال داشته است (کلی و همکاران، ۵۱۰۲). بنابراین به دلایل ذکر شده امروزه تمایل به مصرف فضولات تازه و فرایند نشده حیوانی کاهش یافته است.

در کشورهای پیشرفته، کشاورزی پایدار به دلیل توجه زیاد به مسئله ترسیب کربن در خاک و نقش آن در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، تولید اصلاح‌کننده‌های کارآمد خاک و در عین حال با کمترین آسیب به محیط‌زیست مورد توجه زیادی قرار گرفته است. در سال‌های اخیر از بیوجار (زغال زیستی) به عنوان اصلاح‌کننده خاک (منبع کربن آلی) و به نوعی روشی برای ترسیب کربن در خاک‌های کشاورزی استفاده شده است. بیوجار، زغال تهیه شده از زیست‌توده‌های گیاهی و ضایعات کشاورزی مانند کاه گندم، ذرت، سبوس برنج و تغاله نیشکر است که طی

کیلوگرم بیوجار تولید شده از کود مرغی در دمای ۰۰۳ درجه سانتی‌گراد سبب افزایش رشد گیاه کاهو شد. اوزوما و همکاران (۱۱۰۲) نشان دادند کاربرد، ۰۱ تا ۰۲ تن در هکتار بیوجار تولید شده از کود گاوی در دمای ۰۰۵ درجه سانتی‌گراد به خاک شنی (در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه تربیت مدرس) سبب افزایش معنی‌دار رشد و عملکرد ذرت شده و کاربرد ۰۱ و ۰۲ تن در هکتار بیوجار کود گاوی به ترتیب سبب افزایش عملکرد دانه به مقدار ۱/۵ و ۱ برابر در مقایسه با شاهد شد. اسفناج با سطح زیرکشت حدود ۷۰۰ هکتار در ایران (آمارنامه محصولات کشاورزی فائو) یکی از سبزی‌های مهم فصل سرد و از خانواده چغندریان است. این گیاه مقاوم‌ترین سبزی نسبت به شرایط شوری آب و خاک است (خوشخوی و همکاران، ۱۳۸۷ به نقل از پورشیرازی و رخشنده‌رو، ۱۳۸۷). این گیاه به آبیاری متوسط و معمول نیاز دارد زارش شده نیاز آبی این گیاه حدود ۱۲۰ تا ۱۵۰ میلی‌متر می‌باشد (بون پونت، ۱۹۸۸). مریم‌ن که ارزش غذایی زیادی داشته و به دلیل نقش تغذیه‌ای آن برای انسان، افزایش عملکرد و بهبود کیفیت آن اهمیت فراوانی دارد (گرنه و همکاران، ۲۰۰۵).

برگ‌های اسفناج حاوی مقادیر زیاد آهن و ویتامین آ می‌باشند (آسیوتی و ابوصدرا، ۲۰۰۵). تحقیقاتی در ارتباط با بررسی اثر تنش رطوبتی بر ویژگی‌های رشد و عملکرد اسفناج انجام شده (بون پونت، ۱۹۸۸ و پورشیرازی و رخشنده‌رو، ۱۳۸۷) و نشان داده‌اند که آبیاری نامناسب از یک سو تأثیر نامناسبی بر کیفیت و بازار-پسندی محصول داشته و از سوی دیگر با تخریب اندام فتوسنتزکننده تأثیر نامطلوبی بر عملکرد اسفناج داشته است. با توجه به اینکه بررسی‌های انجام‌شده نشان داد در ارتباط با بررسی اثر بیوجار بر ویژگی‌های رشد و عملکرد اسفناج در شرایط تنش رطوبتی و کم‌آبیاری تاکنون تحقیقی انجام نشده است بنابراین این پژوهش با هدف بررسی اثر بیوجار حاصل از کود گاوی و سطوح رطوبتی خاک بر رشد، عملکرد و کارایی مصرف آب اسفناج در یک خاک آهکی انجام شد.

فرآیند ترموشیمیایی پیرولوسیس^۱ تولید می‌شود، این فرآیند، سوختن کند و آرام مواد آلی در شرایط کمبود اکسیژن یا نبود آن است (گلاسر و بیرک، ۲۰۱۲). با تبدیل ضایعات کشاورزی و حیوانی به بیوجار در واقع نه تنها انرژی آزاد شده بلکه حجم و وزن مواد زائد و اثرات نامطلوب شیرابه تا حد قابل‌توجهی کاهش می‌یابد (لهمان و جوزف، ۲۰۰۹). تولید بیوجار از کود حیوانی سبب افزایش ارزش غذایی آن (افزایش عناصر غذایی ضروری مورد نیاز گیاه و افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی) در مقایسه با بیوجار تولید شده از گیاهان می‌شود (سینگ و همکاران، ۲۰۱۰). بیوجار می‌تواند به‌عنوان یک اصلاح‌کننده برای بهبود کیفیت خاک استفاده شود. واکاری و همکاران (۲۰۱۱) با کاربرد ۶۰ تن در هکتار بیوجار تولید شده از چوب جنگلی در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد، ۳۰ درصد افزایش در عملکرد گندم را گزارش کردند.

بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که بیوجار یک ماده اصلاح‌کننده مفید برای بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، مؤثر در حفظ ماده آلی خاک، افزایش بهره‌وری کود استفاده شده و افزایش تولید محصول به-ویژه برای خاک‌های مناطق نیمه گرمسیری و گرمسیری که طولانی‌مدت کشت شده‌اند می‌باشد (وان زویتن و همکاران، ۲۰۱۲). ساپ ادیت و همکاران (۲۰۱۲) اثر سطوح ۰/۴، ۰/۸، ۱/۲، ۱/۶ و ۲ کیلوگرم در متر مربع بیوجار تولید شده از بستر بلدرچین در دمای ۰۰۵ درجه سانتی‌گراد را بر عملکرد سویا بررسی و گزارش کردند با افزایش بیوجار سطح برگ سویا افزایش یافت. اینال و همکاران (۲۰۱۲) نیز اثرات افزودن سطوح ۲/۵، ۵، ۰۱ و ۰۲ گرم در کیلوگرم بیوجار تولید شده از کود مرغی در دمای ۰۰۳ درجه سانتی‌گراد بر ویژگی‌های شیمیایی خاک آهکی و رشد گیاهان لوبیا و ذرت را بررسی و گزارش کردند که بیوجار و کود مرغی سبب بهبود ویژگی‌های شیمیایی خاک و افزایش رشد لوبیا و ذرت شد. گونز و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که افزودن ۰۱ گرم در

مواد و روش‌ها

خاک مورد نیاز از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک آهکی (رس سیلتی) سری کوی اساتید^۱ واقع در منطقه باجگاه استان فارس (در ارتفاع ۱۸۵۲ متری از سطح آزاد دریا و واقع بر طول جغرافیای ۵۲ درجه و ۴۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۵۰ دقیقه شمالی) برداشته شد. نمونه‌ها پس از جمع‌آوری، هوا خشک شدند. بخشی از نمونه‌ها از الک دو میلی‌متری عبور داده و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک با استفاده از روش‌های معمول استاندارد به شرح زیر اندازه‌گیری شد: پ-هاش در خمیر اشباع با دستگاه پ‌هاش‌متر، بافت خاک به روش هیدرومتری، ماده آلی به روش تر سوزانی، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع به وسیله هدایت‌سنج الکتریکی، نیتروژن کل به روش کدال، فسفر قابل استفاده به روش عصاره‌گیری با بی‌کربنات سدیم و غلظت عناصر کم‌مصرف کاتیونی (منگنز، مس، روی و آهن) به روش عصاره‌گیری بادی. تی. پی. ا. و قرائت با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد (جدول ۱).

تهیه و تجزیه آزمایشگاهی بیوچار

جهت تهیه بیوچار کود گاوی پس از جمع‌آوری از ایستگاه دامپروری دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز واقع در منطقه باجگاه، هوا خشک شده و پس از عبور از الک دو میلی‌متری در ورقه‌های آلومینیومی بسته‌بندی و به مدت تقریباً چهار ساعت در دمای ۶۰۰ درجه سلسیوس در داخل کوره الکتریکی قرار داده شد تا فرآیند پیرولیسیس انجام شود (لهمان، ۲۰۰۷). سپس بیوچار تولید شده از کوره خارج شده و برخی از ویژگی‌های آن با استفاده از روش‌های مورد استفاده برای اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک، اندازه‌گیری شد (جدول ۲).

آزمایش گلخانه‌ای

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه در آبان تا دی ماه ۱۳۹۳ انجام شد. تیمارها شامل چهار سطح بیوچار (صفر، ۱/۲۵، ۲/۵ و ۵ درصد وزنی خاک اولیه) و سه سطح رطوبتی (۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه (بدون تنش)، ۷۰ و ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه بود. سطوح تنش رطوبتی (حداکثر سطح رطوبتی خاک) در طول فصل رشد با توزین روزانه گلدان‌ها و جبران کمبود آب خاک در زمان آبیاری با افزودن مقدار آب لازم به آن‌ها اعمال شد. در ابتدا با توجه به تیمارهای بیوچار نمونه‌های خاک به وزن سه کیلوگرم آماده و سپس در کیسه‌های پلاستیکی قرار داده شد. به منظور جلوگیری از کمبود احتمالی سایر عناصر غذایی و بر اساس نتایج آزمون خاک اولیه عناصر نیتروژن، آهن، منگنز، روی و مس به ترتیب به مقدار ۰.۵، ۰.۱، ۰.۱ و ۰.۱ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک و از منابع اوره، سکوسترین آهن، سولفات منگنز، کلات روی و سولفات مس و به صورت محلول به خاک اولیه اضافه شد. سپس خاک درون کیسه‌ها کاملاً مخلوط شده و به داخل گلدان‌های سه کیلوگرمی پلاستیکی منتقل شد. در هر گلدان هشت عدد بذر اسفناج رقم *yalforiv* در تاریخ ۰۲ آبان ۱۳۹۳ در عمق مناسب کاشته شد. پس از سه هفته تعداد گیاهان به پنج بوته در هر گلدان کاهش یافت. در طول فصل رشد سطوح تنش رطوبتی با توزین روزانه گلدان‌ها و افزودن آب مقطر به آنها انجام و میزان آب اضافه شده به هر گلدان نیز در طول فصل رشد اندازه‌گیری شد (در هر روز میزان آب افزوده شده به هر گلدان تا رسیدن به سطح رطوبتی مورد نظر اندازه‌گیری شد و میزان کل آب مصرفی در هر دوره از فصل رشد از مجموع آب مصرفی در تمام روزهای هر دوره محاسبه شد).

1 - Loamy skeletal over fragmental, carbonatic, mesic, Fluventic Xerorthents

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

ویژگی خاک	رس	سیلت	شن	ماده آلی	نیتروژن کل		قابلیت هدایت الکتریکی ^a		فسفر ^b	آهن ^c	روی ^c	منگنز ^c	مس ^c
					پ هاش ^a	الکتریکی ^a	(دسی زمینس بر متر)	(میلی گرم در کیلوگرم خاک)					
مقدار	۴۱/۶	۴۴	۱۴/۴	۱/۱۹	۰/۱۱	۷/۵۳	۰/۵۳	۴۶/۵	۵/۷۹	۱/۳۳	۴/۴۸	۰/۱۲	

^a پ هاش و قابلیت هدایت الکتریکی به ترتیب در خمیر و عصاره اشباع خاک. ^b قابل استخراج با بی کربنات سدیم (اولسن، ۱۹۵۴). ^c قابل استخراج با دی. تی. پی. ا. (لیندزی و نورول، ۱۹۷۸).

جدول ۲- برخی ویژگی‌های شیمیایی بیوجار مورد استفاده تولید شده از کود گاوی در دمای ۶۰۰ درجه سانتی گراد

ویژگی بیوجار	نیتروژن کل	پ هاش ^a	قابلیت هدایت الکتریکی ^a		فسفر ^b	آهن ^c	روی ^c	منگنز ^c	مس ^c	پتاسیم
			(دسی زمینس بر متر)	(میلی گرم در کیلوگرم بیوجار)						
مقدار	۱/۹۵	۱۰/۰۲	۱۴	۲۸۰	۱۳۱۱	۱۴۳	۲۷۱	۳۱	۲۰۴۰۰	

^a پ هاش و قابلیت هدایت الکتریکی در نسبت ۱:۱۰ بیوجار به آب. ^b قابل استخراج با بی کربنات سدیم (اولسن، ۱۹۵۴). ^c قابل استخراج با دی. تی. پی. ا. (لیندزی و نورول، ۱۹۷۸).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم-افزارهای آماری EXCEL و SAS انجام و میانگین‌ها با آزمون دانکن و در سطح آماری پنج درصد با یکدیگر مقایسه شدند.

نتایج و بحث

شاخص سبزینگی برگ

نتایج نشان داد از میان سطوح رطوبتی اعمال شده تنها کاربرد سطح رطوبتی ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه شاخص سبزینگی برگ گیاه را در هر سه مرحله زمانی به-طور معنی داری به ترتیب به میزان ۱۴، ۱۴ و ۱۱ درصد در مراحل اول، دوم و سوم (به ترتیب در مراحل زمانی ۴۰، ۵۵ و ۷۰ روز پس از کشت) در مقایسه با شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه) افزایش داد (جدول ۳). اعمال تنش رطوبتی سبب کاهش وزن خشک گیاه و در نتیجه افزایش غلظت نیتروژن (جدول ۴) در اندام هوایی گیاه شده و از آنجا که نیتروژن در ساخت کلروفیل نقش داشته و بین نیتروژن و کلروفیل همبستگی مثبت وجود دارد می توان گفت اعمال تنش به دلیل ذکر شده سبب افزایش شاخص سبزینگی شده است. سایر محققان نیز گزارش کردند با افزایش تنش خشکی نسبت کلروفیل a/b برگ یونجه (آنتولین و همکاران، ۱۹۹۵) و شاخص سبزینگی برگ

در طول فصل رشد در سه مرحله (۰۴، ۵۵ و ۰۷ روز پس از کشت) میزان شاخص سبزینگی (که یک شاخص عددی بدون بعد بوده و نشان دهنده وضعیت سبزی برگ و شاخصی از میزان کلروفیل برگ‌های گیاه می باشد) برگ با دستگاه کلروفیل متر دستی SPAD 502، هدایت روزنه-ای با دستگاه Leaf Porometer Device و سطح برگ با دستگاه Leaf Area Meter اندازه گیری شد. اندازه-گیری‌های مذکور در جوان ترین برگ‌های توسعه یافته و به صورت تصادفی در هر گلدان در ساعت ۱۰ تا ۱۲ روز انجام شد. حدود ۱۰ هفته پس از کشت گیاه و در اواخر فصل رشد (۲۹ دی ۱۳۹۳) ابتدا میزان شاخص سبزینگی، مقاومت روزنه و سطح برگ گیاه اندازه گیری شد. سپس گیاه از طوقه از سطح خاک برداشت شده و پس از توزین و شستشو با آب معمولی و سپس با آب مقطر، نمونه‌های گیاهی در دمای ۶۵ درجه سلسیوس در آون خشک شد. نمونه‌های خشک شده توزین و کارایی مصرف آب نیز با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد (البته بایستی ذکر شود که کارایی مصرف آب برابر با نسبت وزن خشک گیاه به میزان تبخیر و تعرق است. اما با توجه به اینکه در این پژوهش آب خروجی به صورت زهاب وجود نداشت بنابراین میزان آب مصرفی با میزان تبخیر و تعرق برابر بود).

$$(1) \quad \text{وزن خشک گیاه (گرم)} / \text{کل آب مصرفی (لیتر)} = \text{کارایی مصرف آب}$$

گندم و ذرت (بردمایر، ۲۰۰۵؛ مجیدیان و همکاران، ۱۳۸۶؛ اسمیل و ژانگ، ۱۹۹۴) افزایش می‌یابد.

جدول ۳- اثر سطوح رطوبتی خاک و بیوچار کود گاوی بر شاخص سبزی‌نگی برگ (بدون بعد) اسفناج در مراحل مختلف رشد گیاه بیوچار (درصد وزنی)

میانگین	بیوچار (درصد وزنی)				سطوح رطوبتی (درصد ظرفیت مزرعه)
	۵	۲/۵	۱/۲۵	صفر	
مرحله اول (۴۰ روز پس از کاشت)					
۳۷/۹۱ B	۳۹/۸۰ ad	۳۹/۹۷ ad	۳۷/۱۲ bd	۳۴/۷۶ ^o d	۱۰۰
۳۹/۱۲ B	۴۲/۵۲ ac	۳۸/۰۴ ad	۳۹/۲ ad	۳۶/۷۳ a	۷۰
۴۳/۰۶ A	۴۴/۲۹ a	۴۳/۴۴ ab	۴۲/۴۹ ac	۴۲/۰۰ ac	۵۵
۴۰/۰۳ C	۴۲/۲۰ A	۴۰/۴۹ AB	۳۹/۶۰ AB	۳۷/۸۲ B	میانگین
مرحله دوم (۵۵ روز پس از کاشت)					
۵۰/۸۲ B	۵۰/۲۲ bc	۵۲/۱۵ bc	۵۲/۳۰ bc	۴۸/۵۸ c	۱۰۰
۵۲/۲۳ B	۵۴/۳۶ b	۵۲/۰۴ bc	۵۱/۱۲ bc	۵۱/۳۸ bc	۷۰
۵۷/۹۷ A	۵۸/۸۵ a	۵۹/۱۰ a	۵۹/۹۸ a	۵۳/۹۷ b	۵۵
۵۳/۶۷ A	۵۴/۴۸ A	۵۴/۴۳ A	۵۴/۴۷ A	۵۱/۳۱ B	میانگین
مرحله سوم (۷۰ روز پس از کاشت)					
۴۵/۹۶ B	۴۵/۸۱ cd	۴۶/۰۲ cd	۴۵/۴۸ cd	۴۶/۵۱ bd	۱۰۰
۴۶/۲۵ B	۴۴/۸۶ d	۴۸/۳۰ bd	۴۸/۵۰ bd	۴۳/۳۳ d	۷۰
۵۱/۰۳ A	۵۱/۴۰ ab	۵۵/۲۷ a	۴۷/۲۶ bd	۵۰/۲۰ bc	۵۵
۴۷/۷۵ B	۴۹/۸۶ A	۴۷/۳۶ AB	۴۷/۰۸ B	۴۶/۶۸ B	میانگین

^o اعدادی که در بدنه جدول در یک حرف کوچک و میانگین‌هایی که در هر ردیف یا ستون در یک حرف بزرگ مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار آماری ندارند.

جدول ۴- اثر سطوح رطوبتی خاک و بیوچار کود گاوی بر غلظت نیتروژن (درصد) در اندام هوایی گیاه اسفناج

میانگین	بیوچار (درصد وزنی)				سطوح رطوبتی (درصد ظرفیت مزرعه)
	۵	۲/۵	۱/۲۵	صفر	
۲/۴۵ C	۲/۶۳ a	۲/۱۰ f	۲/۲۶ ef	۲/۱۰ f	۱۰۰
۲/۷۵ B	۳/۱۸ ab	۲/۷۲ cd	۲/۵۷ ce	۲/۵۴ de	۷۰
۲/۹۴ A	۳/۲۶ a	۲/۹۲ bc	۲/۸ bd	۲/۷۳ cd	۵۵
	۳/۲۷ A	۲/۵۸ B	۲/۵۷ B	۲/۴۶ B	میانگین

^o اعدادی که در بدنه جدول در یک حرف کوچک و میانگین‌هایی که در هر ردیف یا ستون در یک حرف بزرگ مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار آماری ندارند.

حاصل از کاربرد بیوچار (جدول ۴) سبب افزایش معنی‌دار شاخص سبزی‌نگی شده است. نتایج با نتایج اختر و همکاران (۲۰۱۵) که 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 هم‌خوانی دارد.

نتایج همچنین نشان داد کمترین و بیشترین میزان شاخص سبزی‌نگی به‌ترتیب با مقادیر حدود ۴۰ و ۵۴ در مراحل اول و دوم رشد به دست آمد و میزان شاخص سبزی‌نگی در مرحله آخر (قبل از برداشت) به میزان حدود ۴۸ حد واسط دو مرحله قبل بود. کمتر و بیشتر بودن

بیوچار سبب افزایش معنی‌دار شاخص سبزی‌نگی برگ در مقایسه با شاهد (صفر درصد بیوچار) شد (جدول ۳). در مرحله اول تنها کاربرد پنج درصد بیوچار شاخص سبزی‌نگی را به‌طور معنی‌داری به میزان ۱۲ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. در حالی‌که در مقایسه با شاهد در مرحله دوم کاربرد تمام سطوح بیوچار شاخص سبزی‌نگی را به‌طور معنی‌داری به میزان شش درصد افزایش دادند. همچنین در مرحله سوم کاربرد پنج درصد بیوچار سبب افزایش هفت درصدی شاخص سبزی‌نگی در مقایسه با شاهد شد. با توجه به اینکه شاخص سبزی‌نگی در ارتباط با محتوای نیتروژن گیاه است می‌توان گفت افزایش نیتروژن

(۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه) کمتر بود (جدول ۵). به نظر می‌رسد در شرایط تنش، گیاه به منظور سازگاری بیشتر با شرایط و جلوگیری از تبخیر بیشتر آب، سطح برگ‌ها را کاهش می‌دهد. بوم و توماس (۱۹۹۸) و دهاندا و ستی (۱۹۹۸) نیز گزارش کردند که باز شدن و توسعه سطح برگ‌های گیاه حساسیت زیادی به تنش آبی داشته و کاهش و حتی توقف توسعه سطح برگ‌ها از علائم تنش آبی می‌باشد. سایر محققان (راسکیو و همکاران، ۱۹۹۸؛ لیپورت و همکاران، ۱۹۹۹؛ یاداو و همکاران، ۲۰۰۱) نیز در ارتباط با کاهش سطح برگ گیاه در اثر کاهش مقدار آب خاک به نتایج مشابهی دست یافتند. کامانن و همکاران (۲۰۱۱) نیز نشان دادند با کاهش فراهمی آب از ۱۰۰ به ۶۰ و ۲۰ درصد ظرفیت نگهداری رطوبت خاک، سطح برگ گیاه کینوا به طور معنی‌داری کاهش یافت.

شاخص سبزی‌نگی به ترتیب در مراحل اول و دوم ممکن است به دلیل عدم تکامل و بلوغ گیاه در مرحله اول و تکامل و بلوغ گیاه و افزایش شاخص سبزی‌نگی در مرحله دوم باشد. کاهش شاخص سبزی‌نگی در مرحله آخر و قبل از برداشت نیز می‌تواند به دلیل شروع زوال برگ‌ها در انتهای فصل رشد باشد.

سطح برگ

نتایج نشان داد در شرایط رطوبتی ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه سطح برگ گیاه به طور معنی‌داری به ترتیب به میزان ۱۱، ۴۱ و ۲۷ درصد و در شرایط رطوبتی ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه به ترتیب به میزان ۲۳، ۵۹ و ۵۱ درصد در مراحل اول، دوم و سوم رشد (به ترتیب معادل ۵۰، ۵۵ و ۷۰ روز پس از کشت گیاه) در مقایسه با شاهد

جدول ۵- اثر سطوح رطوبتی خاک و بیوپچار کود گاوی بر سطح برگ (سانتی‌متر مربع در گلدان) اسفناج در مراحل مختلف رشد گیاه.

میانگین	بیوپچار (درصد وزنی)				سطوح رطوبتی (درصد ظرفیت مزرعه)
	۵	۲/۵	۱/۲۵	صفر	
مرحله اول (۴۰ روز پس از کاشت)					
۱۸۳ A	۱۵۹ be	۱۵۱ ce	۲۴۱ a	۱۸۳* bc	۱۰۰
۱۶۳ B	۱۵۷ be	۱۶۱ be	۱۸۵ b	۱۴۹ de	۷۰
۱۴۰ C	۱۱۰ f	۱۳۵ ef	۱۷۳ bd	۱۴۲ de	۵۵
۱۶۲ C	۱۴۲ B	۱۴۹ B	۱۹۹ A	۱۵۸ B	میانگین
مرحله دوم (۵۵ روز پس از کاشت)					
۱۰۵۴ A	۷۶۳ b	۱۰۹۰ a	۱۲۳۸ a	۱۱۲۴ a	۱۰۰
۶۲۴ B	۴۴۸ de	۶۶۷ bc	۷۳۷ b	۶۴۴ bc	۷۰
۴۳۶ C	۳۱۸ e	۴۱۵ de	۴۶۶ de	۵۴۶ cd	۵۵
۷۰۵ B	۵۱۰ B	۷۲۴ A	۸۱۴ A	۷۷۱ A	میانگین
مرحله سوم (۷۰ روز پس از کاشت)					
۲۲۱۲ A	۱۹۰۱ bc	۲۱۸۶ b	۲۶۷۵ a	۲۰۸۴ b	۱۰۰
۱۶۱۹ B	۱۴۶۶ de	۱۴۸۳ ce	۱۸۶۴ bd	۱۶۶۶ cd	۷۰
۱۰۷۹ B	۱۰۲۵ f	۱۲۳۴ ef	۹۶۴ f	۱۰۹۱ ef	۵۵
۱۶۳۷ A	۱۴۶۵ B	۱۶۳۵ AB	۱۸۳۴ A	۱۶۱۴ AB	میانگین

*. اعدادی که در بدنه جدول در یک حرف کوچک و میانگین‌هایی که در هر ردیف یا ستون در یک حرف بزرگ مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار آماری ندارند.

پنج درصد شد (هر چند این افزایش معنی‌دار نبود)، در حالی که کاربرد پنج درصد بیوپچار سبب کاهش معنی‌دار میانگین سطح برگ به میزان ۳۴ درصد نسبت به شاهد شد. در مرحله سوم (۷۰ روز پس از کشت) نیز کاربرد سطوح ۱/۲۵ و ۲/۵ درصد بیوپچار سبب افزایش میانگین

در مرحله اول (۴۰ روز پس از کشت) تنها کاربرد ۱/۲۵ درصد بیوپچار سبب افزایش معنی‌دار میانگین سطح برگ به میزان ۲۶ درصد در مقایسه با شاهد شد. در مرحله دوم (۵۵ روز پس از کشت) نیز کاربرد ۱/۲۵ درصد بیوپچار سبب افزایش میانگین سطح برگ به میزان

سطح برگ به‌ترتیب به میزان ۱۴ و ۱ درصد در مقایسه با شاهد شد (هر چند افزایش‌ها معنی‌دار نبودند)، در حالی که کاربرد ۱/۲۵ درصد بیوچار در مقایسه با کاربرد پنج درصد میانگین سطح برگ را به‌طور معنی‌داری به میزان ۲۰ درصد افزایش داد (جدول ۵). در هر سه مرحله کاربرد ۱/۲۵ درصد بیوچار احتمالاً به دلیل تأمین نیتروژن و سایر عناصر غذایی مورد نیاز گیاه سبب افزایش سطح برگ شد اگرچه در مراحل دوم و سوم این افزایش معنی‌دار نبود.

در حالی که کاربرد سطوح زیادتر بیوچار احتمالاً به دلیل افزایش شوری اثر معنی‌داری بر سطح برگ نداشت یا آن را در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش داد. با توجه به قابلیت هدایت الکتریکی زیاد بیوچار تهیه شده (۱۴ دسی زیمنس بر متر) کاربرد ۱/۲۵، ۲/۵ و ۵ درصد بیوچار به‌طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد میزان قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک را به‌ترتیب به میزان ۱۳۳، ۲۷۶ و ۵۱۴ درصد افزایش داد (قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک پس از برداشت در تیمارهای کاربرد سطوح ۰، ۱/۲۵، ۲/۵ و پنج درصد وزنی بیوچار به‌ترتیب ۱/۶۹، ۳/۰۰، ۴/۳۴ و ۷/۱۸ دسی زیمنس بر متر به دست آمد). نتایج تا حدودی با نتایج کامان و همکاران (۲۰۱۱) که نشان دادند کاربرد ۱۰۰ و ۲۰۰ تن در هکتار بیوچار تولید شده از بقایای پوست بادام‌زمینی به‌طور معنی‌داری سطح و زیست‌توده برگ گیاه کینوا در هر دو تیمار آبیاری ۶۰ و ۲۰ درصد ظرفیت نگهداری رطوبت را افزایش داد همخوانی دارد.

هدایت روزه‌ای

تنش رطوبتی هدایت روزه‌ای گیاه را در هر سه مرحله زمانی به‌طور معنی‌داری به‌ترتیب به میزان ۲۴، ۱۳ و ۳۱ درصد در سطح رطوبتی ۷۰ درصد و به میزان ۳۸، ۲۴ و ۴۵ درصد در سطح رطوبتی ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه به‌ترتیب در مراحل اول، دوم و سوم (۴۰، ۵۵ و ۷۰ روز پس از کشت) در مقایسه با شاهد (۱۰۰ درصد

ظرفیت مزرعه) کاهش داد (جدول ۶). به نظر می‌رسد گیاه در شرایط تنش به منظور مقابله با تنش، هدایت روزه‌ای را کاهش داده تا از تبخیر بیشتر آب و تشدید تنش جلوگیری کند. نتایج با یافته‌های اختر و همکاران (۲۰۱۴) که گزارش کردند کم‌آبیاری و آبیاری در ناحیه ریشه در مقایسه با آبیاری کامل سبب کاهش معنی‌دار هدایت روزه‌ای گندم شد همخوانی دارد. لوپز و همکاران (۱۹۸۸) نیز بیان کردند عمده کاهش در تعرق و هدایت روزه‌ای در گیاهان تحت شرایط تنش خشکی، احتمالاً ناشی از این است که گیاه برای اجتناب از خشکی و بیشترین استفاده از میزان محدود آب در دسترس، اقدام به بستن روزه‌ها و جلوگیری از هدرروی آب می‌نماید. به عبارتی با شروع تنش خشکی تا مدتی گیاه تعرق و هدایت روزه‌ای را در بیشترین سطح نگه داشته ولی با تداوم دوره خشکی اقدام به کم کردن بازشدگی روزه‌ها و در نهایت بستن آنها می‌نماید.

آنان همچنین بیان نمودند از آنجا که تداوم باز بودن روزه به تورم (آماس) سلول‌های محافظ روزه که خود جزئی از بافت اپیدرم برگ می‌باشند وابسته است، بنابراین کاهش میزان محتوی نسبی آب برگ می‌تواند دلیل دیگر کاهش هدایت روزه‌ای و تعرق در شرایط تنش باشد (لوپز و همکاران، ۱۹۸۸). گزارش شده تجمع اسید آسزیک در سلول محافظ روزه در اثر ارسال پیام تنش از ریشه به برگ و کاهش محتوی نسبی آب برگ از جمله مهم‌ترین دلایل بسته شدن روزه در اثر تنش خشکی در مرحله رویشی می‌باشند (کلاول و همکاران، ۲۰۰۵؛ چارتزولاکیسا و همکاران، ۲۰۰۲). مرادی و همکاران (۱۳۸۷) و قادری و همکاران (۱۳۸۵) نیز بیان کردند تنش خشکی در مرحله رشد رویشی به ترتیب در گیاه ماش و دو رقم انگور هدایت روزه‌ای را به دلیل بسته شدن روزه و کاهش جذب دی‌اکسید کربن ناشی از آن کاهش داد.

کاربرد ۱/۲۵، ۲/۵ و ۵ درصد بیوچار در مرحله اول (۴۰ روز پس از کشت) هدایت روزه‌ای را در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری به‌ترتیب به میزان ۳۳، ۳۸ و ۳۸

درصد، در مرحله دوم (۵۵ روز پس از کشت) به میزان ۲۲، ۱۷ و ۱۱ درصد و در مرحله سوم به ترتیب به میزان ۶۳، ۲۵ و ۴۴ درصد افزایش داد (جدول ۶). نتایج با یافته‌های وانگ و همکاران (۲۰۱۴) که بیان کردند با کاربرد ۲۰ و ۸۰ گرم بیوجار در کیلوگرم خاک هدایت روزه‌ای به-طور معنی‌داری به ترتیب به میزان ۳۱ و ۴۷ درصد افزایش یافت همخوانی دارد. اختر و همکاران (۲۰۱۴) نیز گزارش کردند کاربرد بیوجار تولید شده از ترکیب پوسته برنج و دانه کتان سبب افزایش معنی‌دار هدایت روزه‌ای در گیاه گوجه‌فرنگی شد.

جدول ۶- اثر سطوح رطوبتی خاک و بیوجار کود گاوی بر هدایت روزه‌ای (میکرو مول در مترمربع در ثانیه) در مراحل مختلف رشد اسفناج بیوجار (درصد وزنی)

میانگین	بیوجار (درصد وزنی)				سطوح رطوبتی خاک (درصد ظرفیت مزرعه)
	۵	۲/۵	۱/۲۵	صفر	
مرحله اول (۴۰ روز پس از کاشت)					
۰/۳۴ A	۰/۳۷ a	۰/۳۴ ab	۰/۳۳ ab	۰/۳۰ [*] bc	۱۰۰
۰/۲۶ B	۰/۲۶ ce	۰/۳۰ cd	۰/۳۰ bc	۰/۱۹ gf	۷۰
۰/۲۱ C	۰/۲۳ ef	۰/۲۴ df	۰/۲۲ ef	۰/۱۵ g	۵۵
۰/۲۷ B	۰/۲۹ A	۰/۲۹ A	۰/۲۸ A	۰/۲۱ B	میانگین
مرحله دوم (۵۵ روز پس از کاشت)					
۰/۴۶ A	۰/۴۵ ab	۰/۴۹ a	۰/۵۰ a	۰/۴۲ ae	۱۰۰
۰/۴۰ B	۰/۳۸ bf	۰/۴۴ ac	۰/۴۳ ad	۰/۳۵ df	۷۰
۰/۳۵ C	۰/۳۶ cf	۰/۳۴ ef	۰/۳۹ bf	۰/۳۳ f	۵۵
۰/۴۱ A	۰/۴۰ AB	۰/۴۲ A	۰/۴۴ A	۰/۳۶ B	میانگین
مرحله سوم (۷۰ روز پس از کاشت)					
۰/۲۹ A	۰/۲۷ b	۰/۲۸ b	۰/۳۶ a	۰/۲۳ bc	۱۰۰
۰/۲۰ B	۰/۲۴ bc	۰/۱۷ d	۰/۲۱ cd	۰/۱۶ de	۷۰
۰/۱۶ C	۰/۱۷ d	۰/۱۵ de	۰/۲۰ cd	۰/۱۰ e	۵۵
۰/۲۱ C	۰/۲۳ AB	۰/۲۰ B	۰/۲۶ A	۰/۱۶ C	میانگین

* اعدادی که در بدنه جدول در یک حرف کوچک و میانگین‌هایی که در هر ردیف یا ستون در یک حرف بزرگ مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار آماری ندارند.

وزن تر اندام هوایی

بیوجار، میانگین وزن تر اندام هوایی را در مقایسه با شاهد به ترتیب به میزان ۱۶ و ۳ درصد افزایش داد (هرچند افزایش حاصل از کاربرد ۲/۵ درصد بیوجار در مقایسه با شاهد معنی‌دار نبود). در حالی که کاربرد پنج درصد بیوجار وزن تر اندام هوایی را در مقایسه با شاهد به طور معنی‌داری به میزان ۱۰/۲۶ درصد کاهش داد که همان‌گونه که قبلاً نیز گفته شد احتمالاً به دلیل افزایش شوری حاصل از کاربرد مقادیر زیاد بیوجار می‌باشد (افزایش ۱۳۳، ۲۷۶ و ۵۱۴ درصدی قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک پس از برداشت به ترتیب در تیمارهای کاربرد مقادیر ۱/۲۵، ۲/۵ و ۵ درصد وزنی بیوجار).

اعمال سطوح رطوبتی ۷۰ و ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه وزن تر اندام هوایی را در مقایسه با شاهد به طور معنی‌داری به ترتیب به میزان ۲۸ و ۵۲ درصد کاهش داد. که احتمالاً می‌تواند به دلیل کاهش جذب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه از خاک و همچنین کاهش جذب دی-اکسیدکربن به دلیل بسته شدن روزه‌ها در شرایط خشکی و در نتیجه کاهش میزان فتوسنتز و کربوهیدرات‌های تولید شده طی فرایند فتوسنتز می‌باشد. نتایج نشان داد در سطوح رطوبتی مختلف بیشترین وزن تر اندام هوایی در مقایسه با شاهد با کاربرد ۱/۲۵ درصد بیوجار به دست آمد (جدول ۷). به طوری که کاربرد سطوح ۱/۲۵ و ۲/۵ درصد

جدول ۷- اثر سطوح رطوبتی خاک و بیوجار کود گاوی بر وزن تر و خشک (گرم در گلدان) اندام هوایی اسفناج

میانگین	بیوجار (درصد وزنی)				سطوح رطوبتی (درصد ظرفیت مزرعه)
	۵	۲/۵	۱/۲۵	صفر	
	وزن تر اندام هوایی				
۱۰۹ A	۹۶ c	۱۰۹ b	۱۲۹ a	۱۰۳* bc	۱۰۰
۷۸ B	۷۲ e	۷۶ de	۸۶ d	۷۹ de	۷۰
۵۲ C	۴۳ g	۵۶ f	۵۷ f	۵۲ f	۵۵
	۷۰ C	۸۱ B	۹۱ A	۷۸ B	میانگین
وزن خشک اندام هوایی					
۱۲/۳۸ A	۱۰/۵ c	۱۲/۴۷ b	۱۴/۳۷ a	۱۲/۱۷ b	۱۰۰
۹/۰۲ B	۷/۸ e	۹/۰۰ d	۹/۵۷ cd	۹/۶۷ cd	۷۰
۶/۱۱ C	۵/۰۳ g	۶/۳۷ f	۹/۷۷ ef	۶/۲۷ f	۵۵
	۷/۷۸ C	۹/۲۸ B	۱۰/۲۴ A	۹/۳۷ B	میانگین

*. اعدادی که در بدنه جدول در یک حرف کوچک و میانگین‌هایی که در هر ردیف یا ستون در یک حرف بزرگ مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار آماری ندارند

تعداد برگ‌ها در کاهو و کلم در مقایسه با شاهد (بدون مصرف بیوجار) شد. آنان بیشترین افزایش زیست‌توده را به میزان ۹۰۳ درصد با کاربرد ۵۰ گرم بیوجار در کیلوگرم خاک در مقایسه با شاهد (بدون مصرف بیوجار) گزارش کردند. اوزوما و همکاران (۲۰۱۱) نیز نشان دادند که کاربرد بیوجار سبب افزایش رشد و عملکرد ذرت در مقایسه با شاهد شده و اثر معنی‌داری بر ارتفاع و تعداد برگ‌ها در مراحل مختلف رشد ذرت در خاک شنی مورد مطالعه داشت. آنان بیان کردند کاربرد سطوح ۱۵ و ۲۰ تن در هکتار بیوجار کود گاوی به ترتیب موجب افزایش عملکرد دانه به مقدار ۱۵۰ و ۹۸ درصد در مقایسه با شاهد شد. دلیل عدم تطابق نتایج به‌ویژه در تیمارهای کاربرد مقادیر زیاد بیوجار با نتایج سایر محققان می‌تواند به دلیل تفاوت در نوع و ویژگی‌های بیوجار به کار رفته، تفاوت در نوع گیاه و ویژگی‌های خاک مورد استفاده باشد.

وزن خشک اندام هوایی

وزن خشک اندام هوایی اسفناج در سطوح رطوبتی ۷۰ و ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری به ترتیب به میزان ۲۷ و ۵۱ درصد کاهش یافت (جدول ۷). لاور و کرنیک (۲۰۰۲) گزارش کردند در شرایط تنش آبی کاهش ماده خشک می‌تواند به

گزارش شده کاربرد کود دامی به دلیل افزایش قابلیت هدایت الکتریکی خاک سبب کاهش عملکرد گیاه می‌شود (نورقلی پور و همکاران، ۱۳۸۲). در حالی که اختر و همکاران (۲۰۱۵) نیز در آزمایشی اثر بیوجار را بر رشد گندم در شرایط با و بدون تنش شوری بررسی و گزارش کردند بیوجار بر همه ویژگی‌های مورد مطالعه (طول ساقه، تعداد پنجه، تعداد خوشه، طول خوشه، تعداد سنبلچه در خوشه و عملکرد دانه) در هر دو شرایط با و بدون تنش اثر مثبت داشت. ژانگ و همکاران (۲۰۱۲) نیز گزارش کردند کاربرد ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار بیوجار تولید شده از کاه گندم، عملکرد ذرت را به ترتیب به میزان ۱۱/۶ و ۱۸/۲ درصد در شرایط کاربرد کود نیتروژن و به میزان ۷ و ۱۶ درصد در شرایط بدون کاربرد نیتروژن در یک خاک لومی آهکی فقیر از کربن آلی افزایش داد. سایر محققان (چان و همکاران، ۲۰۰۸ و ژانگ و همکاران، ۲۰۱۰) نیز افزایش عملکرد ذرت در تیمارهای بیوجار را به افزایش فراهمی عناصر غذایی و بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند کاهش چگالی ظاهری نسبت دادند. واکاری و همکاران (۲۰۱۱) نیز اثر مثبت بیوجار را بر رشد، عملکرد و کیفیت دانه گندم گزارش کردند. کارتر و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند کاربرد سطوح ۲۵، ۵۰ و ۱۵۰ گرم در کیلوگرم بیوجار تولید شده از پوسته برنج سبب افزایش نهایی زیست‌توده گیاهی، زیست‌توده ریشه، ارتفاع گیاه و

دلیل فشار آماس سلولی ناشی از کاهش سطح برگ گیاه و همچنین کاهش میزان فتوسنتز به دلیل محدودیت‌های بیوشیمیایی ناشی از کمبود آب از قبیل کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی به‌ویژه کلروفیل‌ها باشد. رودریگز و همکاران (۲۰۱۰) نیز بیان کردند کاهش سطح برگ در تیمارهای تحت تنش آبی، جذب نور توسط پوشش گیاهی گلرنگ و در نتیجه ماده خشک گیاه را کاهش داده است.

نتایج نشان داد تنها کاربرد ۱/۲۵ درصد بیوچار سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی به میزان ۹/۳ درصد در مقایسه با شاهد شد. در حالی که کاربرد مقادیر بیشتر بیوچار یا اثر معنی‌داری بر وزن خشک اندام هوایی نداشت (۲/۵ درصد بیوچار) و یا اینکه وزن خشک را به‌طور معنی‌داری کاهش داد (کاهش ۱۷ درصد وزن خشک با کاربرد پنج درصد بیوچار در مقایسه با شاهد). افزایش وزن خشک اندام هوایی در اثر کاربرد مقادیر کم بیوچار می‌تواند به دلیل افزایش دسترسی عناصر غذایی در خاک و بهبود شرایط رشد و در نتیجه افزایش عملکرد باشد. همان‌گونه که ماجور و همکاران (۲۰۱۰) نیز بیان کردند افزایش عملکرد در اثر کاربرد بیوچار در خاک می‌تواند به دلیل اثرات مستقیم (عناصر غذایی موجود در زیست‌توده که طی فرایند تجزیه حرارتی به بیوچار تبدیل شده) و غیرمستقیم (بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک) آن باشد. کاهش وزن خشک گیاه احتمالاً به دلیل افزایش شوری در اثر کاربرد مقادیر زیاد بیوچار می‌باشد. در برخی پژوهش‌ها (نورقلی پور و همکاران، ۱۳۸۲) نیز گزارش شده کود دامی به دلیل افزایش شوری سبب کاهش عملکرد گیاه می‌شود.

واکاری و همکاران (۲۰۱۱) با کاربرد ۶۰ تن در هکتار بیوچار حاصل از چوب‌های جنگلی در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد، ۳۰ درصد افزایش در عملکرد گندم را گزارش کردند. آلبریکیری و همکاران (۲۰۱۳) نیز گزارش کردند کاربرد ۰/۵، ۱ و ۲/۵ درصد وزنی بیوچار بقایای گندم و بقایای هرس شده زیتون اثر کمی بر عملکرد گندم در شرایط عدم استفاده از کودهای معدنی داشت.

درحالی‌که ترکیب کود معدنی و بیوچار سبب تولید بیشترین میزان دانه و زیست‌توده گیاه شد که نشان‌دهنده مفید بودن کاربرد بیوچار در خاک است. اوزوما و همکاران (۲۰۱۱) نیز نشان دادند که کاربرد ۱۰، ۱۵ و ۲۰ تن در هکتار بیوچار کود گاوی در خاک شنی سبب افزایش معنی‌دار رشد، عملکرد و جذب عناصر غذایی در اندام هوایی ذرت شد. آنان بیان کردند کاربرد ۱۵ و ۲۰ تن در هکتار بیوچار به ترتیب سبب افزایش عملکرد دانه به میزان ۱۵۰ و ۹۸ درصد در مقایسه با شاهد شد. اینال و همکاران (۲۰۱۵) نیز گزارش کردند افزودن ۵، ۲/۵، ۱۰ و ۲۰ گرم در کیلوگرم بیوچار کود مرغی سبب بهبود ویژگی‌های شیمیایی خاک آهکی و افزایش رشد لوبیا و ذرت شد.

آب مصرفی در طول دوره رشد

مقدار آب مصرفی در مراحل اول، دوم و سوم (به ترتیب ۴۰، ۵۵ و ۷۰ روز پس از کشت) به‌طور معنی‌داری به ترتیب به میزان ۳، ۳۵ و ۳۲ درصد در شرایط رطوبتی ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه و به ترتیب به میزان ۶، ۵۵ و ۵۶ درصد در شرایط رطوبتی ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه در مقایسه با شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه) کمتر بود (جدول ۸) که با توجه به مصرف کمتر آب در شرایط اعمال تنش رطوبتی در مقایسه با شرایط بدون تنش قابل توجیه است.

نتایج نشان داد کاربرد بیوچار میزان آب مصرفی را در مراحل مختلف رشد گیاه در مقایسه با شاهد کاهش داد به‌طوری‌که کاربرد ۱/۲۵ درصد بیوچار میزان آب مصرفی را به ترتیب به میزان ۰/۰۹، ۰/۳ و ۲/۸ درصد، کاربرد ۲/۵ درصد بیوچار آب مصرفی را به ترتیب به میزان ۸/۸، ۵/۳ و ۲۳ درصد و کاربرد ۵ درصد بیوچار میزان آب مصرفی را به ترتیب به میزان ۳/۹، ۴/۱ و ۱۷ درصد در مراحل اول، دوم و سوم در مقایسه با شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه) کاهش داد که احتمالاً به دلیل افزایش ظرفیت نگهداری آب در اثر کاربرد بیوچار است. بیشترین

و کمترین مقدار آب مصرفی در مرحله اول به ترتیب به میزان ۲۲۱۰ و ۲۰۴۰ میلی‌لیتر در تیمارهای کاربرد ۵/۲، ۵ درصد بیوچار و به ترتیب در سطوح رطوبتی ۱۰۰ و ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه مشاهده شد. در مرحله دوم بیشترین و کمترین مقدار آب مصرفی گیاه به ترتیب به میزان ۲۳۴۵ و ۲۰۶۰ میلی‌لیتر در تیمارهای بدون کاربرد بیوچار و رطوبت‌های ۱۰۰ و ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه مشاهده شد.

جدول ۸- اثر سطوح رطوبتی خاک و بیوچار کود گاوی بر مقدار آب مصرفی (میلی‌لیتر در گلدان) اسفناج در مراحل مختلف رشد گیاه.

میانگین	بیوچار (درصد وزنی)				سطوح رطوبتی (درصد ظرفیت مزرعه)
	۵	۲/۵	۱/۲۵	صفر	
مرحله اول (۴۰ روز پس از کاشت)					
۲۱۷۸ A	۲۱۰۰ f	۲۲۱۰ a	۲۲۰۰ b	۲۲۰۰ [*] b	۱۰۰
۲۱۱۱ B	۲۰۷۰ g	۲۱۲۰ e	۲۱۲۵ d	۲۱۳۰ c	۷۰
۲۰۵۰ C	۲۰۴۰ i	۲۰۴۰ i	۲۰۶۰ h	۲۰۶۰ h	۵۵
۲۱۱۳ A	۲۰۷۰ D	۲۱۲۳ C	۲۱۲۸ B	۲۱۳۰ A	میانگین
مرحله دوم (۵۵ روز پس از کاشت)					
۲۲۱۳ A	۱۸۸۰ d	۲۳۱۵ b	۲۳۱۰ c	۲۳۴۵ a	۱۰۰
۱۴۴۳ B	۱۲۰۰ h	۱۴۹۵ f	۱۳۷۰ g	۱۷۰۵ e	۷۰
۹۹۹ C	۸۵۰ l	۱۰۵۵ j	۱۰۰۵ k	۱۰۸۵ i	۵۵
۱۵۵۱ B	۱۳۱۰ D	۱۶۲۲ B	۱۵۶۲ C	۱۷۱۲ A	میانگین
مرحله سوم (۷۰ روز پس از کاشت)					
۲۷۸۳ A	۲۵۳۰ d	۲۸۳۰ b	۲۸۲۰ c	۲۹۵۰ a	۱۰۰
۱۸۸۰ B	۱۶۹۰ h	۱۹۱۵ f	۱۹۱۰ g	۲۰۰۵ e	۷۰
۱۲۱۶ C	۱۰۹۰ l	۱۲۳۵ k	۱۲۶۰ j	۱۲۸۰ i	۵۵
۱۹۶۰ A	۱۷۱۷ D	۱۹۹۳ C	۱۹۹۷ B	۲۰۷۸ A	میانگین

*. اعدادی که در بدنه جدول در یک حرف کوچک و میانگین‌هایی که در هر ردیف یا ستون در یک حرف بزرگ مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار آماری ندارند

کارایی مصرف آب

با توجه به نتایج جدول ۱۰، تنها با اعمال سطح رطوبتی ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه کارایی مصرف آب در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری به میزان ۱۶/۹ درصد کاهش یافت. به‌عبارتی نتایج نشان داد کارایی مصرف آب در تیمارهای رطوبتی ۷۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه از نظر آماری یکسان است که نشان‌دهنده این واقعیت است که اعمال تنش تا سطح ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه ضمن اینکه سبب کاهش معنی‌دار مصرف آب گیاه (۲۴ درصد) می‌شود اثر معنی‌داری بر کارایی مصرف آب گیاه نخواهد داشت.

کل آب مصرفی گیاه

نتایج نشان داد مقدار کل آب مصرفی در سطوح رطوبتی ۷۰ و ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه به‌طور معنی‌داری به ترتیب به میزان ۲۴ و ۴۱ درصد کمتر از شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه) است (جدول ۹) که با توجه به مصرف آب کمتر در تیمارهای تحت تنش آبی قابل توجهی است. همچنین نتایج نشان داد کاربرد ۱/۲۵، ۲/۵ و ۵ درصد بیوچار سبب کاهش معنی‌دار مقدار کل آب مصرفی گیاه به ترتیب به میزان ۴، ۳ و ۱۳ درصد در مقایسه با شاهد شد که احتمالاً به دلیل افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک و نیاز به آب کمتر در طول فصل رشد می‌باشد.

جدول ۹- اثر سطوح رطوبتی خاک و بیوپچار کود گاوی بر مقدار کل آب مصرفی گیاه (میلی لیتر در گلدان) اسفناج در طول دوره رشد

میانگین	بیوپچار (درصد وزنی)				سطوح رطوبتی (درصد ظرفیت مزرعه)
	۵	۲/۵	۱/۲۵	صفر	
۷۱۷۳ A	۶۵۱۰ d	۷۳۵۵ b	۷۳۳۰ c	۷۴۹۵ ^a	۱۰۰
۵۴۳۴ B	۴۹۶۰ h	۵۵۳۰ f	۵۴۰۵ g	۵۸۴۰ e	۷۰
۴۲۶۵ C	۳۹۸۰ k	۴۳۳۰ j	۴۳۲۵ j	۴۴۲۵ i	۵۵
	۵۱۵۰ D	۵۷۳۸ B	۵۶۸۷ C	۵۹۲۰ A	میانگین

* اعدادی که در بدنه جدول در یک حرف کوچک و میانگین‌هایی که در هر ردیف یا ستون در یک حرف بزرگ مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار آماری ندارند.

جدول ۱۰- اثر سطوح رطوبتی خاک و بیوپچار کود گاوی بر کارایی مصرف آب (گرم در لیتر) گیاه اسفناج

میانگین	بیوپچار (درصد وزنی)				سطوح رطوبتی (درصد ظرفیت مزرعه)
	۵	۲/۵	۱/۲۵	صفر	
۱/۷۲ A	۱/۶۱ bd	۱/۷۰ bc	۱/۹۶ a	۱/۶۲ ^b	۱۰۰
۱/۶۶ A	۱/۵۷ bd	۱/۶۳ bd	۱/۷۸ ab	۱/۶۵ bd	۷۰
۱/۴۳ B	۱/۲۶ e	۱/۴۷ ce	۱/۵۶ bd	۱/۴۲ de	۵۵
	۱/۴۸ B	۱/۶۰ B	۱/۷۷ A	۱/۵۷ B	میانگین

* اعدادی که در بدنه جدول در یک حرف کوچک و میانگین‌هایی که در هر ردیف یا ستون در یک حرف بزرگ مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار آماری ندارند.

خاک شنی را به‌طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد به- ترتیب به میزان ۶، ۱۳۹ و ۹۱ درصد افزایش داد.

نتیجه‌گیری

تنش رطوبتی سطح برگ، هدایت روزنه‌ای، آب مصرفی، وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. در حالی که بیوپچار شاخص سبزی‌نگی، سطح برگ و هدایت روزنه‌ای را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. یافته‌ها نشان داد تنش رطوبتی تا ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه ضمن اینکه سبب کاهش معنی‌دار مصرف آب گیاه شد اثر معنی‌داری بر کارایی مصرف آب نداشت. به‌طورکلی با توجه به اینکه کاربرد ۱/۲۵ درصد بیوپچار رشد گیاه را در مقایسه با شاهد افزایش داده و اثرات منفی تنش رطوبتی بر گیاه را کاهش داد بنابراین کاربرد آن برای گیاه و به‌ویژه در شرایطی که گیاه تحت تنش خشکی است و یا در گلخانه‌ها و خزانه‌ها به‌منظور کاهش میزان آب مصرفی و بهبود رشد و عملکرد گیاه قابل توصیه می‌باشد. هرچند پیشنهاد می‌شود آزمایش در شرایط مزرعه نیز انجام شود.

یافته‌ها نشان داد از میان سطوح بیوپچار، تنها کاربرد ۱/۲۵ درصد بیوپچار کارایی مصرف آب را به‌طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد از ۱/۵۷ به ۱/۷۷ گرم بر لیتر (۱۱/۳ درصد) افزایش داد (هم به دلیل کاهش میزان آب مصرفی و هم به دلیل افزایش تولید ماده خشک). همان‌گونه که مشاهده شد کاربرد ۱/۲۵ درصد بیوپچار کارایی مصرف آب را افزایش داده درحالی‌که افزایش تنش سبب کاهش کارایی مصرف آب شده است. اگرچه این کاهش در مورد ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه معنی‌دار نبود. اختر و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند کم آبیاری و آبیاری در ناحیه ریشه کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی را در مقایسه با آبیاری کامل به‌طور معنی‌داری به‌ترتیب به میزان ۳۵ و ۱۵ افزایش داد. آنان همچنین گزارش کردند کاربرد بیوپچار حاصل از ترکیب پوسته برنج و دانه کتان سبب افزایش کارایی مصرف آب در همه تیمارهای آبیاری در مقایسه با شرایط بدون بیوپچار شد. ازوما و همکاران (۲۰۱۱) نیز گزارش کردند کاربرد ۱۰، ۱۵ و ۲۰ تن در هکتار بیوپچار کود گاوی کارایی مصرف آب ذرت در یک

فهرست منابع

۱. پورشیرازی، م. و م. رخشنده‌رو. ۱۳۸۷. بررسی اثرات رژیم آبیاری، تراکم بوته و روش کشت بر عملکرد گیاه اسفناج (مطالعه موردی: استان بوشهر). مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۲، شماره ۲، صفحات: ۱۸۷-۱۹۸.
۲. قادری، ن.ع.، س. سی و سه مرده، و ص. شاهویی. ۱۳۸۵. بررسی اثرات تنش بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی در دو رقم انگور. مجله علوم کشاورزی ایران، جلد ۳۱، شماره ۱، صفحات: ۴۵-۵۰.
۳. مجیدیان، م.، ا. قلاوند، ع. ا. کامگارحقیقی و ن. ع. کریمیان. ۱۳۸۶. اثر تنش خشکی، کود شیمیایی نیتروژن و کود آلی بر قرائت کلروفیل متر، عملکرد دانه و اجزای عملکرد ذرت دانانی سینگل کراس ۷۰۴. مجله علوم زراعی ایران، جلد ۱۰، شماره ۳، صفحات: ۳۰۳ تا ۳۳۰.
۴. مرادی، ع.، ع. احمدی و ع. حسین زاده. ۱۳۸۷. واکنش زراعی فیزیولوژی ماش (رقم پرتو) به تنش شدید و خفیف خشکی درمراحل رشد رویشی و زایشی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال ۱۲، شماره ۴، صفحات: ۶۵۹-۶۷۱.
۵. نورقلی پور، ف.، ک. خاوازی و م. ج. ملکوتی. ۱۳۸۲. تاثیر کاربرد خاکی فسفات به همراه گوگرد، باکتری تیوباسیلوس و ماده آلی بر عملکرد کمی و کیفی سویا. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران. رشت. صفحات: ۲۸ تا ۴۱.
6. Akhtar, S. S., M. N. Andersen, and F. Liu. 2014. Biochar enhances yield and quality of tomato under reduced irrigation. *Agric. Water Manage.* 138: 37-44.
7. Akhtar, S. S., M. N. Andersen, and F. Liu. 2015. Residual effects of biochar on improving growth, physiology and yield of wheat under salt stress. *Agric. Water Manage.* 158: 61-68.
8. Alburquerque, J. A., P. Salazar, V. Barrón, J. Torrent, M. D. C. del Campillo, A. Gallardo, and R. Villar. 2013. Enhanced wheat yield by biochar addition under different mineral fertilization levels. *Agron. Sust. Develop.* 33: 475-484.
9. Antolin, M. C., J. Yoller and M. Sanchez-Diaz. 1995. Effects of temporary drought on nitrate-fed and nitrogen fixing alfalfa plants. *Plant Sci.* 107: 159-165.
10. Assiouty, F. and S. Abo-Sedera. 2005. Effect of bio and chemical fertilizers on seed production and quality of spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Inter. J. Agric. Biol. Engin.* 16: 947-952.
11. Boem, G. F. H. and G. W. Thomas. 1998. Phosphorus nutrition affects wheat response to water deficit. *Agron. J.* 90: 166-171.
12. Bonpont, A. 1988. Water requirement of spinach and carrot. UNILEC Information, (Union Nationale Interprofessionnelle des Legumes de Conserve). August. 28 p.
13. Bredemeier, C. 2005. Laser-induced chlorophyll fluorescence sensing as a tool for site-specific nitrogen fertilizer evaluation under controlled environmental and field conditions in wheat and maize. Ph. D. Thesis. Technical University of Munich, Germany. 219 p.
14. Carter, S., S. Shackley, S. Sohi, T. B. Suy, and S. Haefele. 2013. The impact of biochar application on soil properties and plant growth of pot grown lettuce (*Lactuca sativa*) and cabbage (*Brassica chinensis*). *Agron. J.* 3: 404-418.
15. Cely, P., G. Gasco, J. Paz-Ferreiro, and A. Mendez. 2015. Agronomic properties of biochars from different manure wastes. *J. Anal. Appl. Pyrol.* 111: 173-182.

16. Chan, K., L. Van Zwieten, I. Meszaros, A. Downie, and S. Joseph. 2008. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Soil Res.* 45: 629-634.
17. Chartzoulakisa, K., A. Patakasb, A. Kofidisc, A. Bosabilidisc and A. Wastoub. 2002. Water stress affects on leaf anatomy, gas exchange. *Water relations and growth of two avocando cultivars.* *Sci. Hort.* 95: 39-50.
18. Clavel, D., N. K. Drame, H. RoyMacauley, S. Bracounier and D. Laffray. 2005. Analysis of early responses to drought associated with field drought adaptation in four sahelian groundnut (*Arachis hypogaea* L.) culativavs. *Environ. Exp. Bot.* 54: 219-23.
19. Dhanda, S. S. and G. S. Sethi. 1998. Inheritance of excised- leaf water loss and relative water content in bread wheat (*Triticum aestivum*). *Euphytica*, 104: 39-47.
20. Dominguez, J., C. Edwards, and S. Subler. 1997. Comparison of vermicomposting and composting, biocycle. *J. Compost. Organics Recycl.* 38: 57-59.
21. Dueck, T. A., A. Zuin, and J. Elderson. 1998. Influence of ammonia and ozone on growth and drought sensitivity of *Pinus sylvestris*. *Atm. Environ.* 32: 545-550.
22. Forster, P., V. Ramaswamy, P. Artaxo, T. Berntsen, R. Betts, D. W. Fahey, J. Haywood, J. Lean, D. C. Lowe, and G. Myhre. 2007. Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. Chapter 2, *Climate Change . The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, and H. L. Miller (Eds.)]. Cambridge University Press, pp. 129-234.
23. 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.
24. Grant, C., S. Bittman, M. Montreal, C. Plenchette, and C. Morel. 2005. Soil and fertilizer phosphorus: Effects on plant P supply and mycorrhizal development. *Can. J. Plant Sci.* 85: 3-14.
25. Gunes, A., A. Inal, M. B. Taskin, O. Sahin, E. C. Kaya, and A. Atakol. 2014. Effect of phosphorus-enriched biochar and poultry manure on growth and mineral composition of lettuce (*Lactuca sativa* L. cv.) grown in alkaline soil. *Soil Use Manage.* 30: 182–188.
26. Inal, A., A. Gunes, O. Sahin, M. B. Taskin and E. C. Kaya. 2015. Impacts of biochar and processed poultry manure, applied to a calcareous soil, on the growth of bean and maize. *Soil Use Manage.* 31: 106–113
27. Kammann, C. I., S. Linsel, J. W. Gößling, and H. W. Koyro. 2011. Influence of biochar on drought tolerance of *Chenopodium quinoa* Willd and on soil-plant relations. *Plant Soil.* 345: 195-210.
28. Kanasaki, Y., I. Suzuki, S. I. Allakhverdiev, K. Mikami, and N. Murata. 2002. Salt stress and hyperosmotic stress regulate the expression of different sets of genes in *Synechocystis* sp. PCC 6803. *Biochem. Biophysic. Res. Comm.* 290: 339-348.
29. Lawlor, D. W. and G. Cornic. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plant. *Plant Cell Environ.* 25: 249-279.
30. Lehmann, J. 2007. Bio-energy in the black. *Front. Ecol. Environ.* 5: 381–387.

31. Lehmann, J. and S. Joseph. 2009. Biochar for environmental management. In: J. Lehmann and S. Joseph (Eds.). Biochar for Environmental Management: Science and Technology. 3rd Ed, London, Earthscan, 405 p.
32. Leport, L., N. C. Turner, R. J. French, M. D. Barr, R. Duda, S. L. Davies, D. Tennant, and K. H. M. Siddique. 1999. Physiological responses of chickpea genotypes to terminal drought in a Mediterranean-type environment. *Europ. J. Agron.* 11: 279–291.
33. Lindsay, W. L. and W. A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 421-428.
34. Lopez, F. B., T. L. Setter and C.R. Mc David. 1988. Photosynthesis and Water vapor Exchange of Pigeon pea leaves in response to water deficit and recovery. *Crop Sci.* 28: 141-145.
35. Major, J., J. Lehmann, M. Rondon, and C. Goodale. 2010. Fate of soil-applied black carbon: downward migration, leaching and soil respiration. *Glob. Change Biol.* 16: 1366-1379.
36. Mary, B., S. Recous, D. Darwis, and D. Robin. 1996. Interactions between decomposition of plant residues and nitrogen cycling in soil. *Plant Soil.* 181: 71-82.
37. Olsen, S. R., C. V. Cole, F. S. Watanabe, and L. A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. United States Department of Agriculture. Circular, Washington DC, 939: 1-18.
38. Rascio, A., M. Russo, C. Platani and N. Difonzo. 1998. Drought intensity effects on genotypic differences in tissue affinity for strongly bound water. *Plant Sci.* 132: 121-126.
39. Rodrigues, J. G., P. M J. Edvardo, B. Forner, and F. Angeles. 2010. Citrus rootstock response to water stress. *Sci. Hort.* 126: 95-102.
40. Singh, B., B. P. Singh, and A. L. Cowie. 2010. Characterisation and evaluation of biochars for their application as a soil amendment. *Soil Res.* 48: 516-525.
41. Smeal, D. and H. Zhang. 1994. Chlorophyll meter evaluation for nitrogen management in corn. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 25: 1495-1503.
42. Suppadit, T., N. Phumkokrak, and P. Pongsuk. 2012. The effect of using quail litter biochar on soybean (*Glycine max* L. Merr.) production. *Chil. J. Agric. Res.* 72: 244-251.
43. Tate, R. L. 2000. Soil Microbiology. John Wily and Sons. New York, USA.
44. Uzoma, K., M. Inoue, H. Andry, H. Fujimaki, A. Zahoor, and E. Nishihara. 2011. Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition. *Soil Use Manage.* 27: 205-212.
45. Vaccari, F., S. Baronti, E. Lugato, L. Genesio, S. Castaldi, F. Fornasier, and F. Miglietta. 2011. Biochar as a strategy to sequester carbon and increase yield in durum wheat. *Europ. J. Agron.* 34: 231-238.
46. 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 Soil.* 327: 235-246.
47. Vieira, R., D. TeKrony, and D. Egli. 1992. Effect of drought and defoliation stress in the field on soybean seed germination and vigor. *Crop Sci. Soc. Am.* 32: 471-475.
48. Wang, Y., F. Pan, G. Wang, G. Zhang, Y. Wang, X. Chen, and Z. Mao. 2014. Effects of biochar on photosynthesis and antioxidative system of *Malus hupehensis* Rehd. seedlings under replant conditions. *Sci. Hort.* 175: 9-15.

49. Yadav, R. S., Gayadin, and A. K. Jaiswal. 2001. Morpho-physiological changes and variable yield of wheat genotypes under moisture stress conditions. *Ind. J. Plant Physiol.* 6: 390-394.
50. Zhang, A., L. Cui, G. Pan, L. Li, Q. Hussain, X. Zhang, J. Zheng, and D. Crowley. 2010. Effect of biochar amendment on yield and methane and nitrous oxide emissions from a rice paddy from Tai Lake plain, China. *Agric. Ecos. Environ.* 139: 469-475.
51. Zhang, A., Y. Liu, G. Pan, Q. Hussain, L. Li, J. Zheng, and X. Zhang. 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 Soil*, 351: 263-275.