# اثر بیوچار کود گاوی بر ترکیب شیمیایی اسفناج رشد یافته در وضعیت‌های رطوبتی مختلف در یک خاک آهکی

ادریس گویلی، سید علی اکبر موسوی [1] و علی اکبر کامگار حقیقی

دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد 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

استاد بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز؛ aakamgar@shirazu.ac.ir

دریافت: 95/8/17 و پذیرش: 96/2/18

## چکیده

**تولید موفقیت‌آمیز گیاهان مستلزم خاک مناسب و وجود مقدار کافی از عناصر غذایی و قابل استفاده گیاهان است. عناصر غذایی نه تنها باید به‌صورت ترکیباتی باشند که به‌سهولت مورد استفاده گیاهان قرار گیرند، بلکه تعادل بین مقدار آنها نیز حائز اهمیت است. مواد آلی و موادی که برای اصلاح خاک و یا مقابله با شرایط تنش استفاده می‌شوند می‌توانند بر غلظت عناصر غذایی در گیاه مؤثر باشند. بنابراین، این پژوهش با هدف بررسی اثر سطوح بیوچار کود گاوی بر ترکیب شیمیایی گیاه اسفناج (رقم *Viroflay*) رشد یافته در شرایط تنش رطوبتی در یک خاک آهکی در شرایط گلخانه‌ای به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل چهار سطح بیوچار (صفر، 1/25، 2/50 و 5 درصد وزنی) و سه سطح رطوبتی (ظرفیت مزرعه (بدون تنش)، 70 و 55 درصد ظرفیت مزرعه) بود. نتایج نشان داد که اعمال سطوح تنش رطوبتی سبب کاهش معنی‌دار جذب همه عناصر مورد مطالعه و افزایش غلظت عناصر سدیم، پتاسیم، فسفر و نیتروژن در اندام هوایی اسفناج شد. همچنین کاربرد 1/25 درصد بیوچار سبب افزایش منگنز، سدیم، پتاسیم، کاربرد 2/5 درصد بیوچار سبب افزایش فسفر، منیزیم، سدیم، پتاسیم و کاربرد 5 درصد بیوچار نیز سبب افزایش منگنز، نیتروژن، فسفر، منیزیم و سدیم در اندام هوایی اسفناج شد. به‌طورکلی، کاربرد بیوچار و سطوح رطوبتی خاک سبب تغییر ترکیب شیمیایی و غلظت و جذب عناصر (به‌ویژه عناصر پرمصرف) در اندام هوایی اسفناج شد. بنابراین در مواردی که به منظور کاهش اثرات تنش رطوبتی بر گیاه از بیوچار استفاده می‌شود بایستی به تغییرات احتمالی در ترکیب شیمیایی گیاه و غلظت عناصر نیز توجه شود و این موضوع در مدیریت حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه در مناطق خشک مد نظر قرار گیرد. بایستی توجه شود که اثر بیوچار بر ترکیب شیمیایی گیاه و همچنین ویژگی‌های خاک به نوع مواد اولیه مورد استفاده و شرایط تهیه بیوچار، نوع و رقم گیاه و شرایط خاک مورد مطالعه بستگی دارد بنابراین توصیه می‌شود به منظور دستیابی به نتایج وسیع‌تر و مطمئن‌تر، آزمایش در شرایط مزرعه برای گیاهان مختلف و با استفاده از بیوچار تولید شده از منابع متفاوت و در شرایط مختلف انجام شود.**

**واژه‌های کلیدی:** زغال زیستی، عناصر پر مصرف، عناصر کم مصرف، ظرفیت زراعی، تنش خشکی، وضعیت تغذیه

[1] نویسنده مسئول، آدرس: شیراز، بخش علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

Archive of SID

www.SID.ir

## مقدمه

انباشت و تجزیه سریع بقایای گیاهی سبب انتشار گازهایی نظیر مونواکسیدکربن، دی اکسیدکربن، اکسید نیتروژن و سایر گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر شده که از عوامل اصلی تخریب لایه اوزن، گرمایش جهانی و تغییر اقلیم می‌باشند. راهکارهای نوینی برای کاهش دی-اکسید کربن اتمسفر ارائه شده است که یکی از آنها تثبیت کربن مواد آلی به‌وسیله تولید بیوچار است. بیوچار (زغال زیستی)، زغال تهیه شده از ضایعات آلی است که طی فرآیند ترموشیمیایی (پیرولوسیس[2]) تولید می‌شود، این فرآیند، سوختن کند و آرام مواد آلی در شرایط کمبود یا نبود اکسیژن است (ویرهای جن و همکاران، 2010). تبدیل ضایعات آلی به بیوچار می‌تواند یک روش مناسب برای بازیافت ضایعات، ترسیب کربن، استفاده در بخش کشاورزی برای بهبود ویژگی‌های خاک و رشد گیاه باشد (گاسکین و همکاران، 2010). ظرفیت تبادل کاتیونی بیوچار از هر نوع خاک، کانی رسی و ماده آلی بیش‌تر است. این ویژگی بیوچار از سطح ویژه زیاد آن (که با افزایش دما در طول فرآیند تشکیل افزایش می‌یابد) و همچنین وفور گروه‌های کربوکسیل در آن ناشی می‌شود. گروه‌های کربوکسیل بیوچار چه در درون خاک و چه بیرون از آن به مرور زمان در نتیجه‌ی اکسایش مداوم سطوح قابل دسترس بیوچار به وسیله واکنش‌های زیستی یا غیرزیستی افزایش می‌یابد. این عامل سبب می‌شود که ظرفیت تبادل کاتیونی بیوچار پس از تولید با گذشت زمان افزایش یابد (لایرد و همکاران، 2010). لهمان (2007) بیان کرد در دماهای کم پیرولوسیس ظرفیت تبادل کاتیونی بیوچار کم‌تر است اما در دماهای بیش‌تر پیرولوسیس، ظرفیت تبادل کاتیونی بیوچار حاصل بیش‌تر می‌شود. چنگ و همکاران (2006 و 2008) بیان کردند اکسیداسیون سطوح زنده و غیرزنده بیوچار سبب افزایش گروه‌های کربوکسیل سطح و در نتیجه افزایش بار منفی سطح و افزایش جذب کاتیون‌ها می‌شود.

بیوچار به‌دلیل ویژگی‌های ذکر شده می‌تواند سبب بهبود ویژگی‌های خاک و افزایش تولید محصول شود. گلاسر و همکاران (2002) بیان کردند ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک در اثر کاربرد بیوچار بهبود می‌یابد. کاربرد بیوچار از طریق بهبود وضعیت آب گیاه، افزایش راندمان استفاده از مواد غذایی، حفظ مواد غذایی و افزایش فراهمی عناصر برای گیاه (مک کورماک و همکاران، 2013) در خاک اثرات مثبتی بر بهبود وضعیت حاصلخیزی (گاسکین و همکاران، 2010) و در نتیجه افزایش محصول (جفری و همکاران، 2011) دارد. فارل و همکاران (2014) نیز اثرات مثبت بیوچار بر فراهمی فسفر در خاک‌های آهکی را گزارش کردند. افزایش غلظت کلسیم، منیزیم و روی در برخی سبزیجات مانند اسفناج و کلم بروکلی تحت تأثیر کاربرد بیوچار (گارتلر و همکاران، 2013)، افزایش فراهمی فسفر خاک در اثر کاربرد10 تا 100 تن در هکتار بیوچار تهیه شده از بقایای ذرت (ژائو و همکاران، 2014)، افزایش غلظت فسفر، پتاسیم و نیتروژن اندام هوایی ذرت در اثر کاربرد 100 تن در هکتار بیوچار تهیه شده از منابع مختلف شامل بقایای گندم، ذرت، پنبه، سویا و کود دامی (لیو و همکاران، 2014) و افزایش فراهمی کلسیم، پتاسیم، مس و فسفر و کاهش فراهمی نیتروژن، منیزیم، گوگرد، منگنز و روی در اثر کاربرد 40 تن بیوچار پوست گردو در یک خاک ساحلی (نواک و همکاران، 2009) نیز گزارش شده است.

لهمان و جوزف (2009) نیز بیان کردند ماده آلی، ظرفیت نگهداری آب و مواد غذایی و جذب عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم و کلسیم در خاک‌های تراپرتا که در آن‌ها بیوچار فراوان است بیش‌تر از اکسی-سول‌های مجاور می‌باشد. در برخی مطالعات استفاده از بیوچار را به‌عنوان اصلاح‌کننده ویژگی‌های شیمیایی در خاک‌هایی با فرسایش زیاد در مناطق گرمسیری برای تولید محصول بیش‌تر معرفی کرده‌اند (لیانگ و همکاران، 2006). آبشویی عناصر در خاک‌های زراعی **به‌شدت** هوادیده مشکلاتی از قبیل کاهش حاصلخیزی خاک، **اسیدی شدن بیش‌تر** و کاهش عملکرد محصول را به دنبال داشته است. در خاک‌های اکسی‌سول با ظرفیت تبادل کاتیونی کم، وجود بیوچار سبب افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و کاهش آبشویی عناصر غذایی از خاک می‌شود. چنگ و همکاران (2008) بیان کردند بیوچار در پ‌هاش 3/5 ظرفیت تبادل آنیونی دارد که در اثر گذشت زمان به صفر کاهش می‌یابد. کاربرد بیوچار با پ‌هاش حدود 7 تا 9، سبب افزایش معنی‌دار پ‌هاش خاک‌های اسیدی (حتی تا 2 واحد) و در نهایت منجر به افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و تغییر در قابلیت استفاده عناصر غذایی می‌شود. با توجه به این‌که در مطالعات انجام شده کاربرد بیوچار در خاک‌های اسیدی، پ‌هاش این خاک‌ها را به محدوده مناسب برای فراهمی عناصر غذایی نزدیک‌تر کرده است، رابطه مستقیمی بین افزایش عملکرد گیاه و افزایش پ‌هاش در اثر کاربرد بیوچار ایجاد شده است؛ بنابراین اثرات قلیایی بیوچار یکی از واکنش‌های

[1] Pyrolysis

Archive of SID

www.SID.ir

مهم است که منجر به افزایش عملکرد گیاه در خاک‌های اسیدی شده است (بلک ول و همکاران، 2009). وان-زویتین و همکاران (2007) بیان کردند کربنات حاصل از بیوچار به‌عنوان آهک در خاک می‌تواند پ‌هاش خاک خنثی یا اسیدی را افزایش دهد. اوزوما و همکاران (2011) بیان کردند که کاربرد سطوح 10، 15 و 20 تن در هکتار بیوچار تولید شده از کود گاوی در دمای 500 درجه سانتی‌گراد به خاک شنی تحت کشت ذرت موجب افزایش پ‌هاش، کربن و نیتروژن کل، فسفر قابل عصاره-گیری به روش اولسن، قابلیت هدایت الکتریکی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک شد.

امروزه، از یک طرف افزایش تولیدات دامی و در نتیجه نگهداری دام‌ها به صورت متراکم در فضاهای کوچک سبب تولید میزان زیادی از فضولات دامی در مقایسه با مقدار کاربرد آنها در مصارفی هم‌چون کشاورزی شده است. انباشت چنین مقادیر زیادی از فضولات دامی نیز به نوبه خود سبب آلودگی آب‌ها به فسفر و نیتروژن و عوامل بیماری‌زا، تولید و انتشار گاز متان به اتمسفر و ایجاد بوی نامطبوع خواهد شد. با این حال، پیرولوسیس فضولات حیوانی و در نتیجه تولید بیوچار به عنوان یک راه‌کار ساده و عملی در مدیریت فضولات دامی مورد پذیرش قرار گرفته است (سلی و همکاران، 2015). از طرف دیگر شرایط کمبود آب در نتیجهِ پراکنش نامناسب بارش، تبخیر زیاد و کاهش میزان بارش در سال‌های اخیر در کشور سبب ایجاد نگرانی به‌ویژه در ارتباط با تولید محصولات کشاورزی شده است. تنش رطوبتی به‌عنوان یکی از انواع تنش‌های غیرزیستی نقش مهمی در تغییرات فیزیولوژیکی گیاه دارد. بنابراین در سال‌های اخیر، استفاده از بیوچار به عنوان یک ماده آلی متخلخل، پایدار و مقاوم به تجزیه‌های میکروبی در خاک جهت کاهش اثرات سوء تنش‌های رطوبتی مورد پژوهش قرار گرفته است (اختر و همکاران، 2015؛ بتول و همکاران، 2015). گویلی و همکاران (1395) نشان دادند تنش رطوبتی و بیوچار اضافه شده به خاک اثرات معنی‌داری بر ویژگی‌های رشد اسفناج شامل شاخص سبزینگی و سطح برگ، هدایت روزنه‌ای، تولید ماده تر و خشک گیاه و کارایی مصرف آب گیاه دارد. با این وجود، تنش رطوبتی و بیوچار اضافه شده (هم به عنوان یک ماده برای تقویت حاصلخیزی خاک و هم به عنوان یک ماده برای تعدیل اثرات تنش رطوبتی)، هر دو می‌توانند سایر ویژگی‌های رشد گیاه از جمله ترکیب شیمیایی و غلظت و جذب عناصر را تحت تأثیر قرار دهند. با توجه به موضوعات گفته شده و اینکه تغییر در غلظت عناصر ناشی از تنش رطوبتی یا افزودن بیوچار به خاک ممکن است سبب القا کمبود یا سمیت یک یا چند عنصر غذایی در گیاه شوند و همچنین بر ارزش غذایی محصول تولیدی موثر باشند بنابراین بررسی تغییرات برخی عناصر پرمصرف و کم مصرف در گیاه اسفناج رشد یافته در یک خاک آهکی تحت تأثیر کاربرد بیوچار در شرایط رطوبتی مختلف از اهداف این تحقیق و مد نظر بود.

## مواد و روش‌ها

خاک مورد نیاز از عمق صفر تا 30 سانتی‌متری خاک آهکی (رس سیلتی) سری کوی اساتید ( Loamy skeletal over fragmental, carbonatic, mesic, Fluventic Xerorthents ) واقع در منطقه باجگاه استان فارس (در ارتفاع 1852 متری از سطح آزاد دریا و واقع بر طول جغرافیای 52 درجه و 46 دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی 29 درجه و 50 دقیقه شمالی) برداشته شد. نمونه‌ها پس از جمع‌آوری، هوا خشک شدند. بخشی از نمونه‌ها از الک دو میلی‌متری عبور داده و برخی ویژگی-های فیزیکی و شیمیایی خاک با استفاده از روش‌های معمول استاندارد به شرح زیر اندازه‌گیری شدند: بافت خاک به روش هیدرومتری، ماده آلی به روش تر سوزانی، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع به‌وسیله هدایت‌سنج الکتریکی، پ‌هاش در خمیر اشباع با دستگاه پ‌هاش‌متر، فسفر قابل‌استفاده به روش عصاره‌گیری با بی-کربنات‌سدیم، غلظت عناصر کم‌مصرف کاتیونی (منگنز، مس، روی و آهن) به روش عصاره‌گیری با دی‌تی‌پی‌ا و قرائت با دستگاه جذب اتمی (مدل شیمادزو، AA-670) و نیتروژن کل به روش کلدال اندازه‌گیری شد (جدول 1).

**جدول 1- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه**

| رس | سیلت | شن | ماده آلی | نیتروژن کل | پ‌هاش[a] | قابلیت هدایت الکتریکی[a] | فسفر[b] | آهن[c] | روی[c] | منگنز[c] | مس[c] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (درصد) | | | | | | (دسی زیمنس بر متر) | (میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) | | | | |
| 41/6 | 44 | 14/4 | 1/19 | 0/11 | 7/53 | 0/53 | 46/5 | 5/79 | 1/33 | 4/48 | 0/12 |

[a]پ‌هاش و قابلیت هدایت‌الکتریکی به‌ترتیب در خمیر و عصاره اشباع خاک. [b]قابل استخراج با بی‌کربنات سدیم (اولسن، 1954). [C]قابل استخراج با دی. تی. پی. ا (لیندزی و نورول، 1978).

Archive of SID

www.SID.ir

**تهیه و تجزیه آزمایشگاهی کود گاوی و بیوچار حاصل از آن**

جهت تهیه بیوچار مقدار مورد نیاز کود گاوی از ایستگاه دامپروری دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز واقع در منطقه باجگاه جمع‌آوری و هوا خشک شد. پس از عبور از الک 2 میلی‌متری، در کود هوا خشک شده برخی از ویژگی‌های شیمیایی با استفاده از روش‌های مورد استفاده برای اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک، اندازه‌گیری شدند (جدول 2). برای تولید بیوچار، کود گاوی هوا خشک شده و عبور یافته از الک دو میلی متری در ورقه-های آلومینیومی بسته‌بندی و به مدت تقریباً چهار ساعت در دمای 600 درجه سلسیوس در داخل کوره الکتریکی قرار داده شد تا فرآیند پیرولوسیس انجام شود (لهمان، 2007). 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 2).

**جدول 2- برخی ویژگی‌های شیمیایی کود گاوی و بیوچار مورد استفاده تولید شده از آن در دمای 600 درجه سانتی‌گراد**

| | نیتروژن کل (درصد) | پ‌هاش[a] | قابلیت هدایت الکتریکی[a] (دسی زیمنس بر متر) | فسفر[b] | آهن[c] | روی[c] | منگنز[c] | مس[c] | پتاسیم |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | (میلی‌گرم در کیلوگرم بیوچار) | | | | | |
| کود گاوی | 1/90 | 8/50 | 9/7 | 135 | 456 | 69 | 137 | 18 | 9000 |
| بیوچار کود گاوی | 1/95 | 10/02 | 14 | 280 | 1311 | 143 | 271 | 31 | 20400 |

[a] پ‌هاش و قابلیت هدایت الکتریکی در نسبت 1:10 **کود یا** بیوچار به آب. [b] قابل استخراج با بی‌کربنات سدیم (اولسن، 1954). [C]قابل استخراج با دی. تی. پی. ا (لیندزی و نورول، 1978).

**آزمایش گلخانه‌ای**

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه از آبان تا دی ماه 1393 انجام شد. تیمارها شامل چهار سطح بیوچار (صفر، 1/25، 2/5 و 5 درصد وزنی خاک اولیه) و سه سطح رطوبتی (100 درصد ظرفیت مزرعه (بدون تنش)، 70 و 55 درصد ظرفیت مزرعه) بود. سطوح رطوبتی ذکر شده 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. به‌منظور جلوگیری از کمبود احتمالی سایر عناصر غذایی و بر اساس نتایج آزمون خاک اولیه (جدول 1) عناصر نیتروژن، آهن، منگنز، روی و مس به‌ترتیب به مقدار 150، 10، 10، 10 و 5 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک و از منابع اوره، کلات آهن (Fe- EDDHA)، سولفات منگنز، سولفات روی و سولفات مس و به‌صورت محلول به خاک اولیه اضافه شد. سپس خاک درون کیسه‌ها به‌طور کامل مخلوط شده و به داخل گلدان‌های سه کیلوگرمی پلاستیکی منتقل شد. در تاریخ 20 آبان 1393 در هر گلدان 8 عدد بذر اسفناج رقم virofly در عمق مناسب کاشته شد. پس از سه هفته تعداد گیاهان به 5 بوته در هر گلدان کاهش یافت. در طول فصل رشد سطوح رطوبتی با توزین روزانه گلدان‌ها و افزودن آب مقطر به آنها و جبران کمبود آب خاک در زمان آبیاری انجام شد. حدود 10 هفته پس از کشت گیاه و در اواخر فصل رشد (29 دی 1393) 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 65 درجه سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت در آون خشک شد. نمونه‌های خشک شده توزین و به‌وسیله آسیاب برقی پودر شدند. برای تجزیه گیاه یک گرم ماده خشک گیاه در دمای 550 درجه سلسیوس خاکستر شده و سپس 5 میلی‌لیتر اسید کلریدریک 2 نرمال به آن افزوده شد تا نمونه حل شود. سپس نمونه حل شده از کاغذ صافی واتمن 42 عبور داده شد و حجم محلول صاف شده با آب مقطر به حجم 50 میلی‌لیتر رسانده شد و غلظت عناصر کم‌مصرف آهن، منگنز، مس و روی با استفاده از دستگاه جذب اتمی، غلظت سدیم، پتاسیم با دستگاه شعله‌سنج، کاتیون‌های کلسیم و منیزیم به‌وسیله تیتراسیون با ای. دی. تی. ا. اندازه‌گیری شد. غلظت عناصر نیتروژن و فسفر نیز به‌ترتیب با روش-های کجلدال (برمنر، 1996) و مورفی و رایلی (مورفی و رایلی، 1952) اندازه‌گیری شد.

Archive of SID

www.SID.ir

**تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها**

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم-افزارهای آماری EXCEL و SAS انجام و میانگین‌ها با آزمون چند دامنه دانکن و در سطح آماری 5 درصد با یکدیگر مقایسه شدند.

## نتایج و بحث

**مقایسه ویژگی‌های کود گاوی و بیوچار تولید شده از آن**

نتایج نشان داد مقادیر تمام ویژگی‌های اندازه-گیری شده در بیوچار حاصل از کود گاوی بیشتر از کود گاوی اولیه بود (جدول 2). به‌طوری‌که میزان پ‌هاش کود اولیه 8/5 بود و پ‌هاش بیوچار حاصل به‌دلیل از دست دادن بخشی از اتم‌های هیدروژن در فرایند پیرولوسیس به حدود 10 افزایش یافت. قابلیت هدایت الکتریکی و غلظت عناصر موجود نیز به‌دلیل خروج برخی ترکیبات آلی و تغلیظ عناصر معدنی موجود به‌میزان قابل توجهی در بیوچار تولیدی در مقایسه با کود گاوی اولیه بیشتر بود. بنابراین بیوچار حاصل ضمن برخورداری از منافعی که در بخش مقدمه گفته شد در مقایسه با منبع اولیه از نظر عناصر غذایی غنی‌تر است. بیشتر بودن قابلیت هدایت الکتریکی (شورتر بودن) بیوچار در مقایسه با منبع اولیه و در نتیجه افزایش شوری خاک که ممکن است یکی از معایب بیوچار ذکر شود نیز بسته به هدف از کاربرد بیوچار می‌تواند به گونه‌ای اصلاح شود که از نظر شوری مشکلی برای گیاه ایجاد نشود. به‌عنوان نمونه افزودن بیوچار به خاک قبل از کشت و یا شستشوی بیوچار و سپس اضافه کردن آن به خاک. البته بایستی توجه شود همان‌گونه که حسین و همکاران (2011) گزارش کردند کیفیت بیوچار تولیدی به سه عامل منبع اولیه، درجه حرارت و زمان انجام فرایند بستگی دارد.

**نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح رطوبتی، بیوچار کود گاوی و اثر متقابل آنها بر ترکیب شیمیایی اسفناج**

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح رطوبتی بر غلظت سدیم، پتاسیم، فسفر و نیتروژن و جذب همه عناصر مورد مطالعه در اندام هوایی اسفناج در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود درحالی که اثر سطوح رطوبتی بر غلظت آهن، روی، مس، منگنز، کلسیم و منیزیم اندام هوایی اسفناج از نظر آماری معنی‌دار نبود. نتایج همچنین نشان داد اثر بیوچار بر غلظت آهن و مس و جذب نیتروژن معنی‌دار نبود در حالی‌که اثر بیوچار بر غلظت و جذب سایر عناصر مورد مطالعه در سطوح احتمال یک یا پنج درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل سطوح رطوبتی و بیوچار نیز بر غلظت همه عناصر به‌جز غلظت مس، منگنز، کلسیم و فسفر و جذب فسفر و مس از نظر آماری در سطوح یک یا پنج درصد معنی‌دار بود (جداول 3 و 4). لازم به ذکر است در مواردی که اثرات متقابل بیوچار و سطوح رطوبتی معنی‌دار بوده شرح نتایج و بحث‌های مربوطه آورده شده است.

**نیتروژن**

اعمال سطوح رطوبتی 70 و 55 درصد ظرفیت مزرعه به‌طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد غلظت نیتروژن در گیاه اسفناج را به‌ترتیب به‌میزان 5 و 20 درصد افزایش داد. نتایج مربوط به جذب نیتروژن نیز نشان داد با افزایش تنش خشکی میزان جذب نیتروژن اندام هوایی گیاه به‌طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد کاهش یافت (شکل 1). افزایش غلظت و کاهش جذب نیتروژن می-تواند به‌دلیل کاهش وزن خشک گیاه و در نتیجه افزایش تجمع نیتروژن در گیاه باشد. صالحی و همکاران (1382) نیز بیان کردند که افزایش غلظت نیتروژن در گیاهانی که تحت تنش آبی هستند به‌دلیل تجمع سریع اسیدآمینه‌هایی است که به پروتئین تبدیل نشده‌اند می‌باشد. نتایج همچنین نشان داد کاربرد 5 درصد بیوچار در مقایسه با شاهد به-طور معنی‌داری غلظت نیتروژن در گیاه اسفناج را به‌میزان 27 درصد افزایش داد درحالی که افزایش حاصل در جذب نیتروژن معنی‌دار نبود.

در ارتباط با تأثیر بیوچار بر فراهمی نیتروژن در خاک یافته‌های اخیر نشان داده است که بیوچار همانند یک منبع حاصلخیزکننده و همچنین نگهدارنده تعادل غذایی در اکوسیستم خاکی با فراهم آوردن و نگهداری عناصر مغذی از جمله نیتروژن سبب افزایش رشد گیاهان و بازدهی محصول خواهد شد (گلیسر و همکاران، 2001؛ مک‌هنری، 2009؛ گاسکین و همکاران، 2010؛ جفری و همکاران، 2011؛ فارل و همکاران، 2014). سولومون و همکاران (2007) و لیانگ و همکاران (2006) نیز محتوی زیاد نیتروژن در خاک‌های غنی از بیوچار تراپرتا را نشان دادند. نتایج همچنین نشان داد در همه سطوح رطوبتی با افزایش سطوح بیوچار غلظت نیتروژن در اندام هوایی گیاه در مقایسه با شاهد (بدون کاربرد بیوچار) افزایش یافت. هرچند تنها افزایش‌های حاصل از کاربرد 5 درصد بیوچار (به‌میزان حدود 73، 25 و 19 درصد به‌ترتیب در سطوح رطوبتی 100، 70 و 55 درصد ظرفیت مزرعه) از لحاظ آماری معنی‌دار بود. به‌عبارت دیگر همان‌گونه که نتایج نشان می‌دهد تنها مقادیر زیاد کاربرد بیوچار (5 درصد وزنی) بر غلظت نیتروژن اندام هوایی اثر معنی‌دار داشت و همچنین اثر معنی‌دار مربوط به سطوح زیاد بیوچار با کاهش رطوبت خاک کاهش یافت (جداول 5 و 6). نتایج همچنین نشان داد تنها در شرایط ایده‌آل رطوبتی (نبود

Archive of SID

www.SID.ir

تنش رطوبتی)، کاربرد بیوچار در مقایسه با شاهد جذب نیتروژن اندام هوایی را به‌طور معنی‌داری افزایش داد.

درحالی که در شرایط تنش رطوبتی هرچند به دلیل افزودن بیوچار غلظت نیتروژن مقداری افزوده شده اما به‌دلیل کاهش تولید ماده خشک، میزان جذب نیتروژن به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر بیوچار قرار نگرفته یا حتی کاهش یافته است (جدول 6). به‌طور کلی نتایج مطالعات مختلف نیز نشان می‌دهد که کاربرد بیوچار سبب افزایش و بهبود کارایی کودهای نیتروژنی در خاک‌های مختلف و در نهایت جذب بیش‌تر نیتروژن در گیاه می‌شود (دینگ و همکاران، 2010؛ گاسکین و همکاران، 2008). لهمان و همکاران (2003) گزارش کردند که کاربرد بیوچار به‌دلیل افزایش جذب عناصر ازجمله نیتروژن سبب افزایش رشد گیاه می‌شود. نیگوسی و همکاران (2012) نیز بیان کردند که کاربرد بیوچار به مقدار قابل توجهی سبب افزایش جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم می‌شود. بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت نیتروژن به‌ترتیب با مقادیر 3/63 و 2/10 درصد در تیمارهای کاربرد 5 و 1/25 درصد بیوچار و در شرایط رطوبتی 100 درصد ظرفیت مزرعه مشاهده شد درحالی‌که بیش‌ترین و کم‌ترین جذب نیتروژن به‌ترتیب با مقادیر 354 و 163 میلی‌گرم در گلدان در تیمارهای کاربرد 5 درصد بیوچار و به‌ترتیب در شرایط رطوبتی 100 و 55 درصد ظرفیت مزرعه مشاهده شد (جداول 5 و 6).

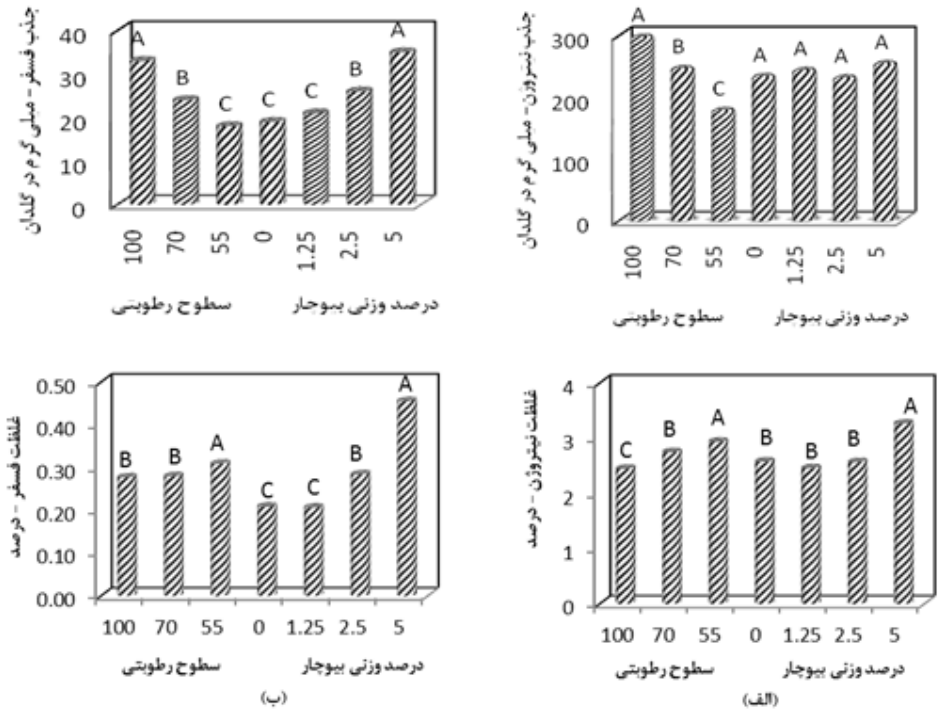
**فسفر**

نتایج نشان داد غلظت فسفر اندام هوایی اسفناج در شرایط رطوبتی 55 درصد ظرفیت مزرعه در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری به میزان 12 درصد افزایش یافت درحالی‌که میزان جذب فسفر در شرایط تنش رطوبتی (70 و 55 درصد ظرفیت مزرعه) در مقایسه با شرایط بدون تنش به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل 1) که ممکن است ناشی از کاهش عملکرد ماده خشک اسفناج تحت شرایط تنش خشکی باشد. بر خلاف نتایج این پژوهش، در پژوهشی که باقری و حیدری شریف آباد (1386) به منظور بررسی اثر تنش خشکی بر جو بدون پوشینه انجام دادند گزارش کردند با افزایش تنش خشکی غلظت فسفر در جو کاهش یافت. آنان بیان کردند که در شرایط تنش خشکی، به دلیل غیرمتحرک بودن فسفر در خاک، کاهش رشد و فعالیت ریشه در نواحی خشک خاک و کاهش دسترسی به فسفر، جذب فسفر توسط گیاه کاهش یافته است. نتایج همچنین نشان داد کاربرد 2/5 و 5 درصد بیوچار غلظت فسفر در اندام هوایی اسفناج را به‌طور معنی‌داری به‌ترتیب به‌میزان 36 و 118 درصد و جذب فسفر را به‌ترتیب به‌میزان 37 و 84 درصد در مقایسه با شاهد افزایش داد (شکل 1).

لهمان و همکاران (2003) نیز گزارش کردند کاربرد بیوچار سبب افزایش جذب فسفر، پتاسیم، کلسیم، روی، و مس و در نتیجه افزایش رشد گیاه می‌شود. مارچتی و کاستلی (2013) و واسیلو و همکاران (2013) بیوچار حاصل از فضولات دامی را منبع ارزشمندی از فسفر برای گیاهان زراعی و در نتیجه راه‌حلی پایدار برای مشکل کمبود فسفر در بسیاری از خاک‌های زراعی می‌دانند. براساس پژوهش‌های انجام شده افزایش فراهمی فسفر با افزایش بیوچار به خاک می‌تواند به دلایل زیر باشد: الف) افزایش واکنش خاک و در نتیجه تغییر فعالیت کاتیون‌هایی مانند آهن، آلومینیوم و کلسیم (ژو و همکاران، 2014)، ب) غنی بودن بیوچار از فسفر که به نوبه خود سبب افزایش فسفر قابل عصاره‌گیری خاک خواهد شد (مارچتی و کاستلی، 2013؛ واسیلو و همکاران، 2013) و ج) بهبود شرایط ریزاقلیمی در خاک که با سهولت تبدیل فسفر آلی به معدنی فعالیت این کاتیون را در خاک افزایش می‌دهد (نبل و همکاران، 2007). جین و همکاران (2016) نیز افزایش گونه‌های ارتوفسفات و پیروفسفات به‌عنوان گونه‌های اصلی فسفری تشکیل‌دهنده بیوچار حاصل از فضولات دامی و تجزیه برخی از انواع فسفرهای آلی مانند مونواسترها به‌وسیله افزایش فعالیت فسفومونواسترهای قلیایی را دلیل افزایش فراهمی فسفر در خاک می‌دانند. بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت فسفر به‌ترتیب با مقادیر 4912 و 1891 میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک در تیمارهای کاربرد 5 درصد بیوچار و بدون کاربرد بیوچار و در سطوح رطوبتی 55 و70 درصد ظرفیت مزرعه مشاهده شد درحالی‌که بیش‌ترین و کم‌ترین جذب فسفر به‌ترتیب با مقادیر 45 و 15 میلی‌گرم در گلدان در تیمارهای کاربرد 5 درصد بیوچار و بدون کاربرد بیوچار و به‌ترتیب در شرایط رطوبتی 100 و 55 درصد ظرفیت مزرعه مشاهده شد (جداول 5 و 6).

Archive of SID

www.SID.ir




**شکل 1- اثر سطوح رطوبتی (درصد ظرفیت مزرعه) و بیوچار کود گاوی تهیه شده بر غلظت و جذب نیتروژن (الف) و فسفر (ب) اندام هوایی اسفناج**

**کلسیم**

نتایج نشان داد سطوح رطوبتی اثر معنی‌داری بر غلظت کلسیم در اندام هوایی اسفناج نداشت درحالی که میزان جذب کلسیم با تشدید شرایط تنش رطوبتی در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل 2). برخی محققان (حیدری و رضاپور، 1390؛ و ستایش‌مهر و گنجعلی، 1392) نیز بیان کردند با کاهش رطوبت خاک حرکت کلسیم از خاک به سطح ریشه کاهش می‌یابد. آنان همچنین بیان کردند جذب کلسیم توسط گیاه به مقدار زیادی به سرعت تعرق بستگی دارد و در شرایط تنش خشکی محدود شدن سرعت تعرق سبب کاهش جذب کلسیم می‌شود. براساس پژوهش‌های اخیر، منبع کلسیم خارجی می‌تواند سبب افزایش مقاومت گیاهان به تنش خشکی، جلوگیری از سنتز اکسیدهای فعال، محافظت از ساختار غشاء پلاسمایی و در نهایت با نگهداشتن فتوسنتز در حالت طبیعی و تنظیم سوخت و ساز هورمون‌های گیاهی و دیگر مواد شیمیایی، رشد گیاه را در حالت طبیعی نگه دارد. به‌علاوه، گزارش شده کلسیم سلولی در شرایط تنش خشکی با انتقال سیگنال‌های مربوطه می‌تواند تنظیم‌کننده (تعدیل‌کننده) پاسخ‌های فیزیولوژیکی حاصل از تنش خشکی باشد. لذا، گیاهان می‌توانند سطوح کمی از تنش خشکی را با افزایش غلظت کلسیم در اندام‌های خود تحمل کنند (سانگ و همکاران، 2008). علی‌رغم اینکه در این پژوهش تنش رطوبتی اثر معنی‌داری بر غلظت کلسیم نداشت ولی به دلیل وابستگی جذب کلسیم به تعرق گیاه و در نتیجه وابستگی آن به تنش رطوبتی اعمال شده، میزان جذب کلسیم اندام هوایی اسفناج در مقایسه با شرایط بدون تنش به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. نتایج همچنین نشان داد کاربرد 1/25، 2/5 و 5 درصد بیوچار غلظت کلسیم در اندام هوایی اسفناج را به‌طور معنی‌داری به‌ترتیب به میزان 27، 35 و 65 درصد و جذب کلسیم را به‌ترتیب به‌میزان 11، 37 و 32 درصد در مقایسه با شاهد کاهش داد. مشابه با نتایج این تحقیق اینال و همکاران (2015) نیز گزارش کردند که کاربرد بیوچار سبب کاهش غلظت کلسیم، منیزیم در اندام هوایی ذرت شد. در خاک‌های آهکی برخلاف خاک‌های اسیدی، افزایش غلظت کاتیون‌های بازی همانند کلسیم در محلول خاک سبب افزایش کمپلکس‌های نامحلول فسفر-کلسیم و در نتیجه کاهش جذب آنها به‌وسیله گیاه خواهد شد (اینال و همکاران، 2015). در ارتباط با مقایسه میزان حلالیت عناصر غذایی، پاراواج و همکاران (2013) گزارش کردند حلالیت ترکیب‌های کلسیمی بسیار کم‌تر از فسفر خواهد بود.

Archive of SID

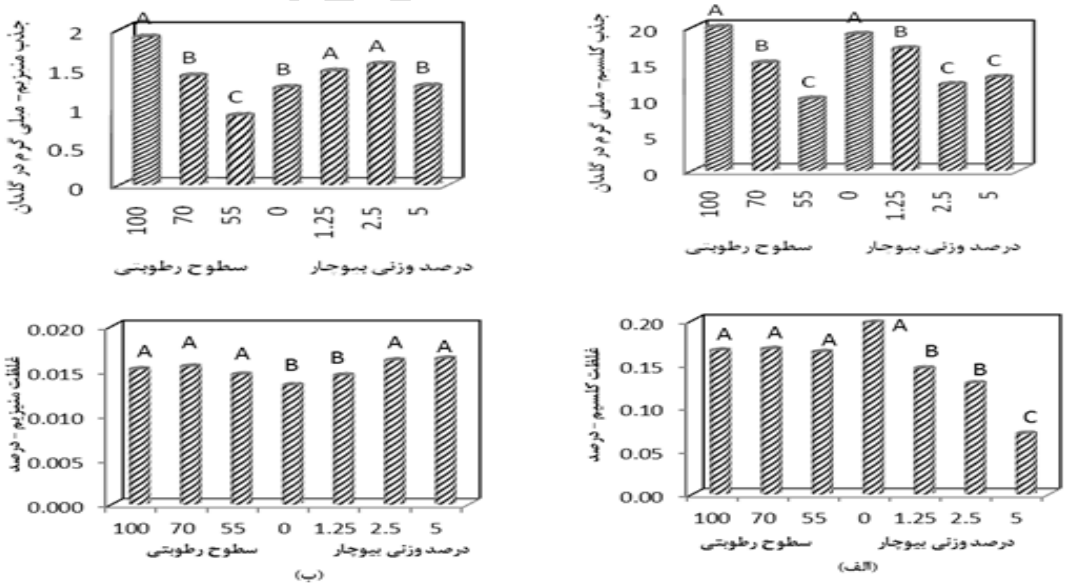
www.SID.ir

به علاوه، کاتیون کلسیم در خاک در تعادل با سایر یون‌های دارای بار مثبت مانند منیزیم، سدیم و پتاسیم است و در نتیجه افزایش فعالیت یون‌های گفته شده در محلول خاک به نوبه خود سبب کاهش جذب کلسیم توسط گیاه می‌شوند (اسپوزیتو، 2013). در تحقیق حاضر نیز کاربرد بیوچار سبب افزایش یون‌های مذکور در خاک و در نتیجه کاهش جذب کلسیم به‌وسیله گیاه شده است. بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت کلسیم به‌ترتیب با مقادیر 2165 و 634 میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک در تیمارهای بدون کاربرد بیوچار وکاربرد 5 درصد بیوچار و در سطح رطوبتی 70 درصد ظرفیت مزرعه مشاهده شد درحالی‌که بیش‌ترین و کم‌ترین جذب کلسیم به‌ترتیب با مقادیر 26 و 8 میلی‌گرم در گلدان در تیمارهای بدون کاربرد بیوچار و کاربرد 2/5 درصد بیوچار و به‌ترتیب در شرایط رطوبتی 100 و 55 درصد ظرفیت مزرعه مشاهده شد (جداول 5 و 6).

**منیزیم**

نتایج نشان داد که سطوح رطوبتی اثر معنی‌داری بر غلظت منیزیم در گیاه اسفناج نداشت درحالی که میزان جذب منیزیم با تشدید شرایط تنش رطوبتی در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل 2). کاربرد1/25، 2/5 و 5 درصد بیوچار در مقایسه با شاهد غلظت منیزیم اندام هوایی اسفناج را به‌ترتیب به‌میزان 12، 21 و 22 درصد و جذب منیزیم را به‌ترتیب به‌میزان 17، 24 و 2 درصد افزایش داد (هرچند افزایش‌های 12 درصدی غلظت و 2 درصدی جذب از نظر آماری معنی‌دار نبوند). یافته‌ها همچنین نشان داد در همه سطوح رطوبتی مورد مطالعه کاربرد مقادیر زیاد بیوچار (2/5 و 5 درصد وزنی) غلظت منیزیم در اندام هوایی اسفناج را در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری به میزان حدود 100 درصد افزایش داد در حالی که میزان جذب منیزیم تنها در شرایط بدون تنش در اثر کاربرد بیوچار افزایش یافت و در شرایط تنش رطوبتی به‌دلیل کاهش ماده خشک گیاه، افزایش غلظت منیزیم حاصل از کاربرد بیوچار نتوانست سبب افزایش جذب منیزم گیاه شود (جداول 5 و 6).

اینال و همکاران (2015) نیز گزارش کردند که کاربرد بیوچار سبب افزایش غلظت کلسیم، منیزیم در گیاه لوبیا شد. چنین افزایشی می‌تواند به رهاسازی عناصر غذایی از جمله منیزیم توسط بیوچار اضافه شده به خاک و در نتیجه بهبود حاصلخیزی خاک مرتبط باشد. اینال و همکاران (2015) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. افزایش فراهمی عناصر غذایی و درنتیجه بهبود سطح حاصلخیزی خاک در اثر افزودن بیوچار به‌وسیله سایر محققان (عباسی و انور، 2015؛ گاسکین و همکاران، 2010؛ لهمان و همکاران، 2013) نیز گزارش شده است. بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت منیزیم به‌ترتیب با مقادیر 183 و 131 میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک در تیمارهای کاربرد 2/5 درصد بیوچار و بدون کاربرد بیوچار و در سطح رطوبتی 70 درصد ظرفیت مزرعه مشاهده شد در-حالی‌که بیش‌ترین و کم‌ترین جذب منیزیم به‌ترتیب با مقادیر 2/17 و 0/80 میلی‌گرم در گلدان در تیمارهای کاربرد 2/5 و 5 درصد بیوچار و به‌ترتیب در شرایط رطوبتی 100 و 55 درصد ظرفیت مزرعه مشاهده شد (جداول 5 و 6).




**شکل 2- اثر سطوح رطوبتی (درصد ظرفیت مزرعه) و بیوچار کود گاوی تهیه شده بر غلظت و جذب کلسیم (الف) و منیزیم (ب) اندام هوایی اسفناج**

Archive of SID

www.SID.ir

**پتاسیم**

سطوح رطوبتی 70 و 55 درصد ظرفیت مزرعه به‌طور معنی‌داری غلظت پتاسیم در اندام هوایی اسفناج را به‌ترتیب به‌میزان 1 و 18 درصد در مقایسه با شاهد افزایش داد درحالی که جذب پتاسیم در سطوح رطوبتی گفته شده به‌طور معنی‌داری به‌ترتیب به‌میزان 27 و 48 درصد کاهش یافت (شکل 3). افزایش غلظت و کاهش جذب پتاسیم می‌تواند به‌دلیل کاهش ماده خشک تولیدی گیاه در شرایط تنش رطوبتی باشد (گویلی و همکاران، 1395). بر خلاف نتایج این پژوهش، لوگان و همکاران (1997) بیان کردند جذب پتاسیم توسط گیاه در شرایط تنش خشکی به‌دلیل تر و خشک شدن متوالی و طولانی در خاک و رها شدن پتاسیم از بین لایه‌های رسی و افزایش غلظت یون پتاسیم در خاک افزایش می‌یابد. گونزالس و سالاس (1995) دلیل افزایش جذب پتاسیم در هنگام تنش خشکی در گیاه ذرت را جذب فعال این یون دانسته‌اند و بیان نمودند که در هنگام تنش خشکی گیاه برای افزایش مقاومت به خشکی بر خلاف پدیده انتشار با مصرف انرژی غلظت یون پتاسیم را در ریشه و اندام هوایی افزایش می‌دهد.

علاوه بر آن چه که لوگان و همکاران (1997) و گونزالس و سالاس (1995) بیان کردند، پتاسیم به عنوان کاتیونی مهم در تحمل گیاهان به تنش خشکی شناخته شده است لذا، افزایش میزان آن در چنین شرایطی قابل توجیه است (اسپوزیتو، 2013). کاربرد 1/25و 2/5 درصد بیوچار در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری غلظت پتاسیم در اندام هوایی اسفناج را به‌ترتیب به میزان 7 و 21 درصد و جذب پتاسیم را به‌ترتیب به‌میزان 25 و 22 درصد افزایش داد در حالی‌که کاربرد 5 درصد بیوچار در مقایسه با شاهد غلظت پتاسیم را به‌طور معنی‌داری به میزان 19 درصد و جذب پتاسیم را به میزان 32 درصد کاهش داد. بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت پتاسیم به‌ترتیب با مقادیر 45317 و 26485 میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک گیاه در تیمارهای کاربرد 2/5 و 5 درصد بیوچار و در سطوح رطوبتی 55 و 100 درصد ظرفیت مزرعه مشاهده شد درحالی‌که بیش‌ترین و کم‌ترین جذب پتاسیم به‌ترتیب با مقادیر 652 و 158 میلی‌گرم در گلدان در تیمارهای کاربرد 1/25 و 5 درصد بیوچار و به‌ترتیب در شرایط رطوبتی 100 و 55 درصد ظرفیت مزرعه مشاهده شد (جداول 5 و 6). نتایج همچنین نشان داد در همه سطوح رطوبتی مورد مطالعه کاربرد 2/5 درصد بیوچار غلظت پتاسیم اندام هوایی را به‌طور معنی‌داری افزایش داد در حالی که کاربرد مقادیر بیشتر بیوچار (5 درصد وزنی) در همه سطوح رطوبتی مورد مطالعه غلظت پتاسیم را به‌طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد کاهش داد که دلیل این موضوع بر نویسندگان پوشیده است. به نظر می‌رسد بایستی با انجام پژوهش‌های تکمیلی مطالعات بیشتری در این زمینه انجام شود و با تحلیل نتایج، دلایل مشخص شوند. روند تغییرات جذب پتاسیم در پاسخ به کاربرد بیوچار نیز به‌جز در شرایط رطوبتی 55 درصد ظرفیت مزرعه مشابه تغییرات غلظت پتاسیم بود. کاربرد مقادیر کم بیوچار (1/25 درصد وزنی) نیز در شرایط رطوبتی ایده‌آل (100 درصد ظرفیت مزرعه) و تنش رطوبتی کم (75 درصد ظرفیت مزرعه) غلظت و جذب پتاسیم را در مقایسه با شاهد (بدون کاربرد بیوچار) افزایش داد درحالی که کاربرد بیوچار به مقدار ذکر شده در شرایط تنش رطوبتی شدید (55 درصد ظرفیت مزرعه) غلظت و جذب پتاسیم اندام هوایی را در مقایسه با شاهد کاهش داد (جداول 5 و 6). لیو و همکاران (2014)، لهمان و همکاران (2013)، نیگوسی و همکاران (2012) و اینال و همکاران (2015) بهبود شرایط حاصلخیزی و افزایش سطح پتاسیم قابل استفاده در خاک در اثر افزودن بیوچار را دلیل افزایش غلظت پتاسیم در گیاهان رشد یافته در خاک‌های تیمار شده با بیوچار عنوان نمودند.

**سدیم**

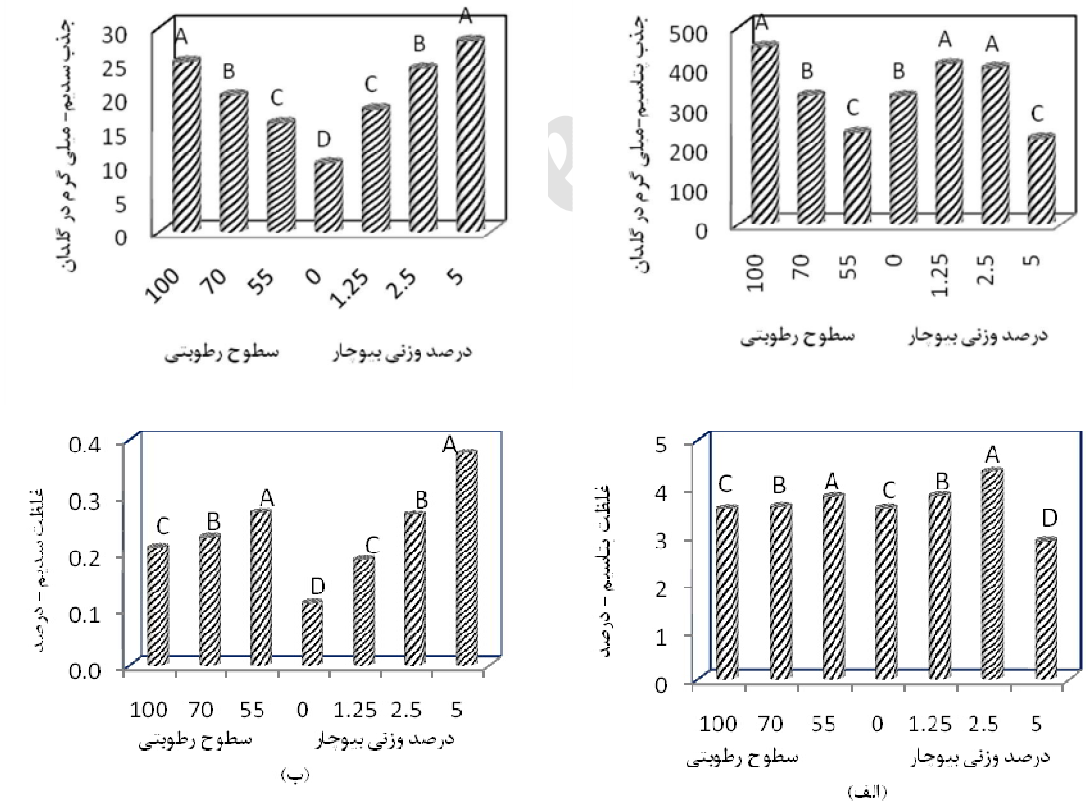
در سطوح رطوبتی70 و 55 درصد ظرفیت مزرعه غلظت سدیم اندام هوایی اسفناج به‌طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد به‌ترتیب به‌میزان 9 و 30 درصد افزایش یافت درحالی که جذب سدیم در شرایط رطوبتی گفته شده به‌طور معنی‌داری به‌ترتیب به‌میزان 20 و 36 درصد در مقایسه با شاهد کاهش یافت (شکل 3). مانز و جیمز (2003) نیز گزارش کردند که تجمع سدیم در بافت گندم تحت شرایط تنش خشکی به‌طور عمده به دلیل جذب بیش‌تر توسط ریشه و تخلیه آوند چوبی به برگ است و در واقع گیاه با جذب سدیم بیش‌تر تعادل اسمزی را انجام داده و با این روش آب بیش‌تری جذب می‌کند. همچنین باقری (1388) نیز گزارش کرد که افزایش تنش رطوبتی سبب افزایش تجمع سدیم در برگ گندم می‌شود. کاربرد 2/5 و 5 درصد بیوچار غلظت سدیم در اندام هوایی اسفناج را به‌طور معنی‌داری به‌ترتیب به‌میزان 141 و 239 درصد در مقایسه با شاهد افزایش داد در حالی‌که کاربرد 1/25 درصد بیوچار در مقایسه با شاهد غلظت سدیم را به‌طور معنی‌داری به میزان 68 درصد کاهش داد. نتایج همچنین نشان داد کاربرد 1/25، 2/5 و 5 درصد بیوچار جذب سدیم در اندام هوایی اسفناج را به‌طور

Archive of SID

www.SID.ir

معنی‌داری به‌ترتیب به‌میزان 80، 140 و 180 درصد در مقایسه با شاهد افزایش داد (جدول 6) که ممکن است به‌دلیل مقدار زیاد سدیم در بیوچار مورد استفاده باشد. بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت سدیم به‌ترتیب با مقادیر 4386 و 979 میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک گیاه در تیمارهای کاربرد 5 درصد بیوچار و بدون کاربرد بیوچار و در سطوح رطوبتی 55 و 100 درصد ظرفیت مزرعه مشاهده شد.

بیش‌ترین و کم‌ترین جذب سدیم نیز به‌ترتیب با مقادیر 36 و 7 میلی‌گرم در گلدان در تیمارهای کاربرد 5 درصد بیوچار و بدون کاربرد بیوچار و به‌ترتیب در شرایط رطوبتی 100 و 55 درصد ظرفیت مزرعه مشاهده شد (جداول 5 و 6). نتایج همچنین نشان داد در همه سطوح رطوبتی با افزایش سطوح بیوچار غلظت و جذب سدیم در اندام هوایی گیاه در مقایسه با شاهد (بدون کاربرد بیوچار) به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. به‌طوری که کاربرد مقادیر 1/25، 2/5 و 5 درصد وزنی بیوچار در مقایسه با شاهد غلظت سدیم اندام هوایی را به‌ترتیب به‌میزان حدود 14، 23 و 33 برابر و جذب سدیم را به میزان 1/8، 2/5 و 3/0 برابر در شرایط رطوبتی 100 درصد ظرفیت مزرعه، غلظت سدیم را به‌میزان 0/59، 0/85 و 1/69برابر و جذب سدیم را به میزان 1/6، 1/8 و 2/3 برابر در شرایط رطوبتی 70 درصد ظرفیت مزرعه و غلظت سدیم را به‌میزان 0/91، 1/90 و 3 برابر و جذب سدیم را به میزان 1/0، 2/0 و 3/0 برابر در شرایط رطوبتی 55 درصد ظرفیت مزرعه در مقایسه با شاهد افزایش داد. همان‌گونه که نتایج نشان می‌دهد میزان افزایش غلظت و جذب سدیم در اثر کاربرد بیوچار در شرایط رطوبتی ایده‌آل بسیار بیشتر از میزان افزایش در شرایطی است که گیاه با تنش رطوبتی مواجه می‌باشد (جداول 5 و 6) که ممکن است به‌دلیل محتوای زیاد سدیم بیوچار و افزوده شدن آن به خاک و در نتیجه جذب بیشتر در شرایط رطوبتی ایده‌آل در مقایسه با شرایط تنش رطوبتی باشد.




**شکل 3- اثر سطوح رطوبتی (درصد ظرفیت مزرعه) و بیوچار کود گاوی تهیه شده بر غلظت و جذب پتاسیم (الف) و سدیم (ب) اندام هوایی اسفناج**

www.SID.ir

**آهن**

نتایج نشان داد سطوح رطوبتی اثر معنی‌داری بر غلظت آهن در گیاه اسفناج نداشت که می‌تواند به‌دلیل کاهش جذب آب و عناصر به‌وسیله ریشه و در نتیجه کاهش غلظت آهن یا سایر عناصر از جمله منگنز، روی و مس باشد و این کاهش غلظت نیز به نوعی توانسته افزایش غلظت عناصر در اثر کاهش ماده خشک تولیدی (Concentration effect) را خنثی کند. در نتیجه برایند دو اثر گفته شده منجر به عدم تغییر معنی‌دار در غلظت آهن و سایر عناصر گفته شده در پاسخ به تنش رطوبتی شده است. نتایج نشان داد جذب آهن در تیمارهای تنش رطوبتی به‌دلیل کاهش ماده خشک تولیدی (گویلی و همکاران، 1395)، در مقایسه با شاهد (شرایط بدون تنش) به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل 4). بر خلاف نتایج این پژوهش ساجدی و رجالی (1390) افزایش غلظت عناصر کم مصرف روی، مس، منگنز و آهن را در اثر افزایش تنش خشکی در گیاه ذرت گزارش کردند. همچنین نتایج نشان داد بیوچار علی‌رغم محتوی به‌نسبت زیاد آهن (جدول 2) اثر معنی‌داری بر غلظت آهن در اندام هوایی اسفناج نداشت و میزان جذب آهن نیز در تیمارهای کاربرد 1/25 و 2/5 درصد بیوچار در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار نگرفت که می‌تواند ناشی از این باشد که بیوچار اضافه شده به خاک به سهولت برای گیاه قابل استفاده نبوده و علی‌رغم افزایش ماده خشک (گویلی و همکاران، 1395)، نتوانسته غلظت یا جذب آهن را افزایش دهد. در حالی که کاربرد 5 درصد بیوچار جذب آهن را در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری به‌میزان 27 درصد کاهش داد که ممکن است به‌دلیل کاهش ماده خشک ناشی از افزایش شوری حاصل از کاربرد مقادیر زیاد بیوچار در خاک باشد (گویلی و همکاران، 1395). گونس و همکاران (2014) نیز گزارش کردند که افزودن 10 گرم در کیلوگرم بیوچار تولید شده از کود مرغی در دمای 300 درجه سانتی‌گراد سبب کاهش غلظت آهن، روی، منگنز و مس در گیاه کاهو شد.

درحالی‌که، اینال و همکاران (2015) بیان کردند که افزودن بیوچار سبب افزایش غلظت آهن، روی، منگنز و مس در گیاه لوبیا شد ولی در گیاه ذرت تنها غلظت آهن، روی و منگنز با افزودن بیوچار افزایش یافت که نشان‌دهنده پاسخ گونه گیاه به مواد آلی به کار رفته، مواد مترشحه از ریشه و مولکول‌های حل‌کننده عناصر و در نهایت میزان جذب مواد غذایی اضافه شده به خاک است. عباسی و انور (2015) نیز بیان کردند بیوچارهای حاصل از منابع گیاهی یا جانوری در افزایش حاصلخیزی خاک و بازدهی محصول نقش داشته لیکن، میزان تأثیر آنها وابسته به شرایط خاک، نوع بیوچار و گونه گیاه مورد بررسی است. هرناندز و همکاران (2010) نیز در آزمایشی افزایش غلظت آهن در برگ کاهو با کاربرد ورمی‌کمپوست کود گاوی را گزارش کردند. میلر و همکاران (1986) گزارش کردند که با مصرف لجن فاضلاب، کمپوست زباله و کود دامی کمبود روی و آهن در گیاه ذرت کشت شده در خاک‌های آهکی برطرف شد. نتایج نشان داد بیشترین و کمترین غلظت آهن به‌ترتیب با مقادیر 443 و 251 میلی-گرم در کیلوگرم ماده خشک در تیمارهای کاربرد 1/25 و 5 درصد بیوچار و در سطوح رطوبتی 55 و 100 درصد ظرفیت مزرعه مشاهده شد بیش‌ترین و کم‌ترین جذب آهن نیز به‌ترتیب با مقادیر 5787 و 1738 میکروگرم در گلدان در تیمارهای کاربرد 1/25 درصد بیوچار و بدون کاربرد بیوچار و به‌ترتیب در شرایط رطوبتی 100 و 55 درصد ظرفیت مزرعه مشاهده شد (جداول 5 و 6).

**منگنز**

نتایج نشان داد که سطوح رطوبتی اثر معنی‌داری بر غلظت منگنز در گیاه اسفناج نداشت (دلایل احتمالی در بخش قبل شرح داده شد) درحالی‌که به‌دلیل کاهش ماده خشک تولیدی (گویلی و همکاران، 1395)، جذب منگنز در تیمارهای تنش رطوبتی در مقایسه با شاهد (شرایط بدون تنش) به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل 4) در حالی‌که ناهار و گرتزماچر (2002) بیان کردند که با افزایش تنش خشکی غلظت منگنز در گیاه گوجه فرنگی افزایش یافت. همچنین نتایج نشان داد کاربرد 1/25 و 5 درصد بیوچار به‌طور معنی‌داری غلظت منگنز در اندام هوایی اسفناج را به‌ترتیب به میزان 11 و 10 درصد در مقایسه با شاهد افزایش داد که ممکن است به‌دلیل محتوی به‌نسبت زیاد منگنز در بیوچار مورد استفاده (جدول 2) باشد. آهن و منگنز از ریزمغذی‌هایی هستند که در هنگام تشکیل بیوچار طی عمل پیرولوسیس به شدت نگهداری می‌شوند (سیکا، 2012). لذا، بیوچار حاصله از آهن و منگنز غنی خواهد بود. در مطالعه انجام شده توسط گاسکین و همکاران (2008) بیوچار حاصل از فضولات حیوانی بیشترین میزان آهن و منگنز ( به ترتیب 3/91 و 377 میلی‌گرم آهن و منگنز در کیلوگرم بیوچار) را نسبت به سایر بیوچارهای حاصل از بقایای گیاهی داشتند و کم‌ترین میزان آهن و منگنز در بیوچار حاصل از بقایای درخت کاج به‌ترتیب به‌میزان 0/13 و 13/8 میلی‌گرم آهن و منگنز در کیلوگرم بیوچار بود. با این وجود، پژوهش انجام شده توسط نواک و همکاران (2009) نشان داد که بیوچار حاصل از بقایای درخت گردو، غلظت منگنز و

Archive of SID

www.SID.ir

روی خاک را افزایش داد در حالی که میزان منگنز و روی در زه‌آب خارج شده از این خاک در مقایسه با سایر عناصر مورد بررسی شامل کلسیم، منیزیم، پتاسیم، سدیم، فسفر و گوگرد بسیار کمتر بود.

این محققان بیان کردند که احتمالاً منگنز و روی با نیروی زیاد و به صورت انتخابی می‌توانند توسط مکان‌های قابل تبادل بیوچار طی عمل پیرولوسیس جذب و نگهداری شوند. گونس و همکاران (2014) گزارش کردند که افزودن 10 گرم در کیلوگرم بیوچار تولید شده از کود مرغی در دمای 300 درجه سانتی‌گراد سبب کاهش غلظت آهن، روی، منگنز و مس در گیاه کاهو شد. در حالی‌که اینال و همکاران (2015) بیان کردند که افزودن بیوچار سبب افزایش غلظت آهن، روی، منگنز و مس در گیاه لوبیا شده و در گیاه ذرت تنها غلظت آهن، روی و منگنز با افزودن بیوچار افزایش یافت. آنان بیان کردند که این اختلاف ممکن است به نوع گیاه، مواد ترشح شده از ریشه و مولکول‌های حل‌کننده عناصر بستگی داشته باشد. همچنین مارشنر (1995) بیان کرد عدم تطابق در نتایج می‌تواند به تفاوت بین رقم‌های گیاهان و نوع گیاهان در میزان تقاضای عناصر غذایی باشد. بیشترین و کمترین غلظت منگنز به‌ترتیب با مقادیر حدود 83 و 65 میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک در تیمارهای کاربرد 5 درصد بیوچار و بدون کاربرد بیوچار و در سطوح رطوبتی 55 و 100 درصد ظرفیت مزرعه و بیش‌ترین و کم‌ترین جذب منگنز نیز به‌ترتیب با مقادیر 1165 و 415 میکروگرم در گلدان در تیمارهای کاربرد 1/25 و 5 درصد بیوچار و به‌ترتیب در شرایط رطوبتی 100 و 55 درصد ظرفیت مزرعه مشاهده شد (جداول 5 و 6).

**روی**

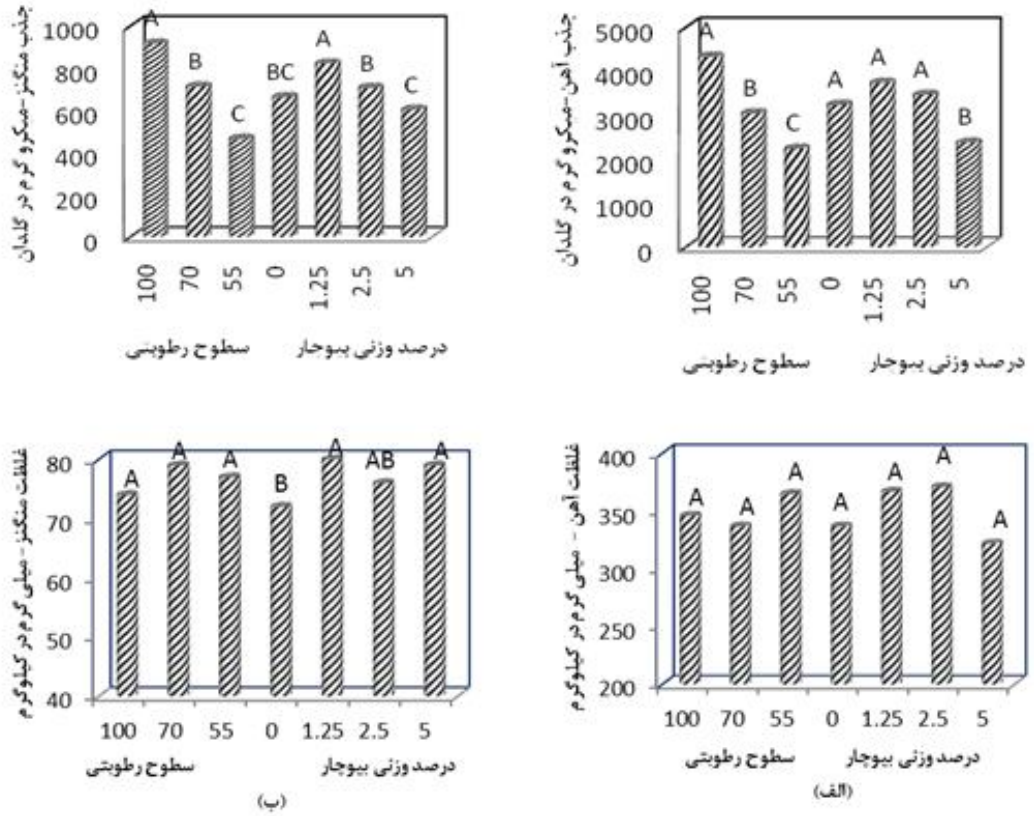
سطوح رطوبتی در مقایسه با شاهد اثر معنی‌داری بر غلظت روی در اندام هوایی اسفناج نداشت (دلایل احتمالی در بخش قبل شرح داده شد) ولی به‌دلیل کاهش ماده خشک تولیدی (گویلی و همکاران، 1395)، جذب روی در مقایسه با شاهد (شرایط بدون تنش) به‌طور معنی‌داری در تیمارهای تنش رطوبتی 70 و 55 درصد ظرفیت مزرعه به‌ترتیب به‌میزان 31 و 55 درصد کاهش یافت (شکل 5). از بین تیمارهای بیوچار، تنها کاربرد 5 درصد بیوچار غلظت و جذب روی را به‌طور معنی‌داری به‌ترتیب به‌میزان 22 و 32 درصد در مقایسه با شاهد کاهش داد. بیشترین و کمترین غلظت روی به‌ترتیب با مقادیر حدود 81 و 52 میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک در تیمارهای بدون کاربرد بیوچار و کاربرد 5 درصد بیوچار در سطح رطوبتی 70 درصد ظرفیت مزرعه مشاهده شد و بیش‌ترین و کم‌ترین جذب روی نیز به‌ترتیب با مقادیر 1093 و 258 میکروگرم در گلدان در تیمارهای کاربرد 1/25 و 5 درصد بیوچار و به‌ترتیب در شرایط رطوبتی 100 و 55 درصد ظرفیت مزرعه مشاهده شد (جداول 5 و 6). نتایج همچنین نشان داد در شرایط تنش رطوبتی (70 و 55 درصد ظرفیت مزرعه)، کاربرد مقادیر زیاد بیوچار (2/5 و 5 درصد وزنی) غلظت و جذب روی در اندام هوایی اسفناج را به‌طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد کاهش داد. در حالی که کاربرد مقادیر کم بیوچار (1/25 درصد) اثر معنی‌داری نداشت.

اما در شرایط رطوبتی ایده‌آل تنها کاربرد 2/5 درصد وزنی بیوچار غلظت روی اندام هوایی را به‌طور معنی‌داری به‌میزان حدود 24 درصد افزایش داد و سایر سطوح اثر معنی‌داری نداشتند (جدول 5). و میزان جذب روی نیز با کاربرد مقادیر 1/25 و 2/5 درصد بیوچار در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول 6). گونس و همکاران (2014) نیز گزارش کردند که افزودن 10 گرم در کیلوگرم بیوچار کود مرغی سبب کاهش غلظت آهن، روی، منگنز و مس در گیاه کاهو شد. نتایج مشابهی نیز توسط سیکا (2012) در ارتباط با گیاه گندم و بیوچار کاربردی حاصل از بقایای درخت کاج به دست آمد. سیکا (2012) بیان کرد به‌دلیل اینکه کمبود روی و مس غالباً در خاک‌های شنی و با مقدار کربن آلی کم و پ‌هاش خنثی تا قلیایی رخ می‌دهد انتظار می‌رود که بیوچار با توجه به آنچه که "اثر آهک[3]" نامیده می‌شود و به‌علاوه محتوی فسفات زیاد خود سبب کاهش قابلیت جذب و فراهمی مس و روی خواهد شد. در حالی‌که اینال و همکاران (2015) بیان کردند که افزودن بیوچار سبب افزایش غلظت آهن، روی، منگنز و مس در گیاه لوبیا شده و در گیاه ذرت تنها غلظت آهن، روی و منگنز با افزودن بیوچار افزایش یافت.

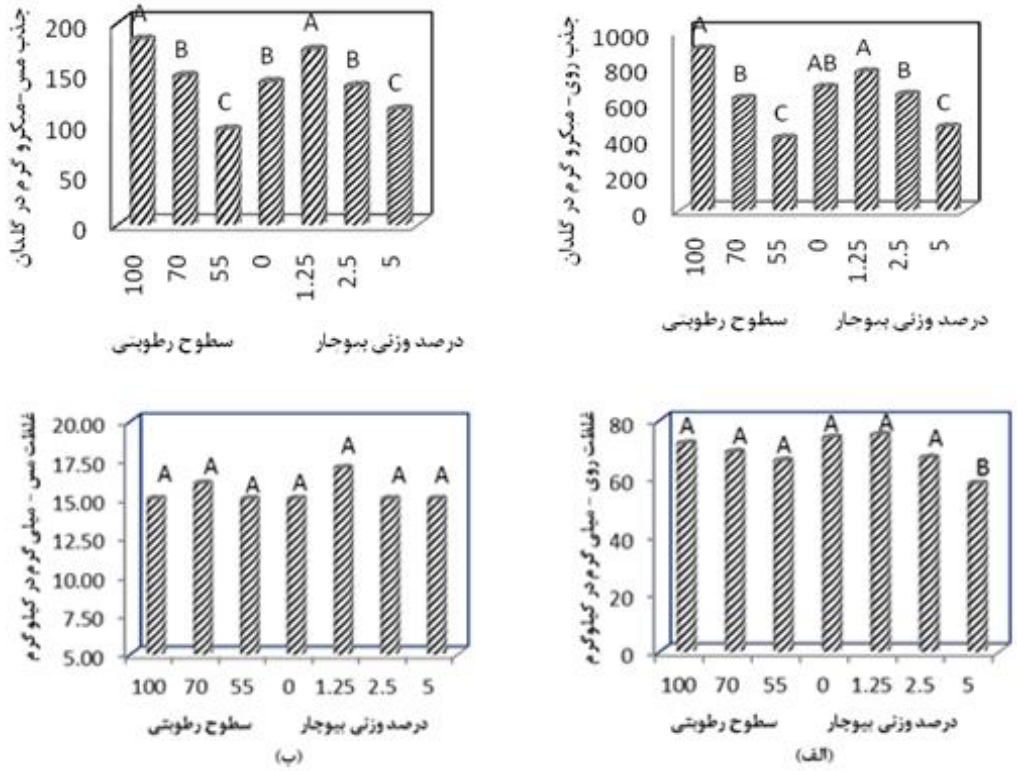
3. Liming effect

Archive of SID

www.SID.ir




**شکل 4- اثر سطوح رطوبتی (درصد ظرفیت مزرعه) و بیوچار کود گاوی تهیه شده بر غلظت و جذب آهن (الف) و منگنز (ب) اندام هوایی اسفناج**




**شکل 5- اثر سطوح رطوبتی (درصد ظرفیت مزرعه) و بیوچار کود گاوی تهیه شده بر غلظت و جذب روی (الف) و مس (ب) اندام هوایی اسفناج**

www.SID.ir

**جدول 3- نتایج تجزیه واریانس اثر بیوچار، سطوح رطوبتی و اثر متقابل آنها بر غلظت برخی عناصر در اندام هوایی اسفناج رشد یافته در خاک آهکی مورد مطالعه**

| | | میانگین مربعات | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| منابع تغییر | درجه آزادی | نیتروژن | فسفر | کلسیم | منیزیم | پتاسیم | سدیم | آهن | منگنز | روی | مس |
| | | درصد | | | | | | میلی گرم در کیلوگرم ماده خشک | | | |
| سطوح رطوبتی | 2 | 0/74$^{**}$ | 0/004$^{**}$ | 0/00004$^{ns}$ | 0/000003$^{ns}$ | 2/024$^{**}$ | 0/01238$^{**}$ | 2399$^{ns}$ | 90$^{ns}$ | 143$^{ns}$ | 7/72$^{ns}$ |
| بیوچار | 3 | 1/24$^{**}$ | 0/12$^{**}$ | 0/007$^{**}$ | 0/00002$^{**}$ | 32/896$^{**}$ | 1/1599$^{**}$ | 4962$^{ns}$ | 124 $^{*}$ | 554$^{**}$ | 7/46$^{ns}$ |
| اثر متقابل سطوح رطوبتی و بیوچار | 6 | 0/15 $^{**}$ | 0/0007$^{ns}$ | 0/001$^{ns}$ | 0/000009$^{**}$ | 7/224$^{**}$ | 0/00228$^{**}$ | 18356$^{**}$ | 44$^{ns}$ | 236$^{*}$ | 1/76$^{ns}$ |
| خطا | 24 | 0/04 | 0/0005 | 0/0005 | 0/000002 | 0/03488 | 0/00017 | 4939 | 40 | 81 | 4/30 |

$^{*}$ و $^{**}$ با استفاده از آزمون دانکن به‌ترتیب در سطوح 5 و 1 درصد معنی‌دار می‌باشد و ns از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد.

**جدول 4- نتایج تجزیه واریانس اثر بیوچار، سطوح رطوبتی و اثر متقابل آنها بر جذب برخی عناصر در اندام هوایی اسفناج رشد یافته در خاک آهکی مورد مطالعه**

| | | میانگین مربعات | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| منابع تغییر | درجه آزادی | نیتروژن | فسفر | کلسیم | منیزیم | پتاسیم | سدیم | آهن | منگنز | روی | مس |
| | | (میلی گرم در گلدان) | | | | | | (میکرو گرم در گلدان) | | | |
| سطوح رطوبتی | 2 | 43018$^{**}$ | 690$^{**}$ | 332$^{**}$ | 2/89$^{**}$ | 141471$^{**}$ | 244$^{**}$ | 13419454$^{**}$ | 612348$^{**}$ | 750962$^{**}$ | 24409$^{**}$ |
| بیوچار | 3 | 1013 $^{ns}$ | 437$^{**}$ | 97$^{**}$ | 0/19$^{**}$ | 66748$^{**}$ | 551$^{**}$ | 3114612$^{**}$ | 76341$^{**}$ | 150765$^{**}$ | 5266$^{**}$ |
| اثر متقابل سطوح رطوبتی و بیوچار | 6 | 2522$^{**}$ | 14 $^{ns}$ | 13$^{*}$ | 0/06$^{**}$ | 18564$^{**}$ | 20$^{**}$ | 2292906$^{**}$ | 20445$^{*}$ | 34042$^{*}$ | 829$^{ns}$ |
| خطا | 24 | 700 | 6 | 5/37 | 0/02 | 822 | 5/59 | 451063 | 5805 | 9680 | 488 |

$^{*}$ و $^{**}$ با استفاده از آزمون دانکن به‌ترتیب در سطوح 5 و 1 درصد معنی‌دار می‌باشد و ns از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

**جدول 5- اثر متقابل سطوح رطوبتی خاک و بیوچار کود گاوی بر غلظت برخی عناصر در اندام هوایی اسفناج رشد یافته در خاک آهکی مورد مطالعه**

| رطوبت خاک (درصد ظرفیت مزرعه) | بیوچار (درصد وزنی) | نیتروژن | فسفر | کلسیم | منیزیم | پتاسیم | سدیم | آهن | منگنز | روی | مس |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | درصد | | | | | | (میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک) | | | |
| 100 | 0 | 2/10 f | 0/21 de | 0/21 a | 0/013 d | 3/12 de | 0 /01 h | 337 bc | 65 b | 66 bc | 14 ab |
| | 1/25 | 2/26 ef | 0/21 de | 0/15 bc | 0/014 cd | 4/53 a | 0/15 f | 406 ab | 81 a | 76 ab | 17 ab |
| | 2/50 | 2/10 f | 0/27 c | 0/13 cd | 0/018 a | 3/96 b | 0/24 d | 389 ab | 75 ab | 82 a | 14 ab |
| | 5/00 | 3/63 a | 0/42 b | 0/07 f | 0/017 ab | 2/65 f | 0/34 bc | 251 c | 73 ab | 66 bc | 13 b |
| 70 | 0 | 2/54 de | 0/19 e | 0/22 a | 0/013 d | 3/49 c | 0/13 g | 399 ab | 76 ab | 81 a | 15 ab |
| | 1/25 | 2/57 ce | 0/19 e | 0/10 df | 0/015 bc | 3/53 c | 0/20 e | 252 c | 81 a | 76 ab | 18 a |
| | 2/50 | 2/72 cd | 0/29 c | 0/12 ce | 0/018 a | 4/53 a | 0/24 d | 373 ab | 80 a | 60 c | 16 ab |
| | 5/00 | 3/18 ab | 0/45 b | 0/07 f | 0/016 ab | 2/88 ef | 0/35 b | 326 bc | 80 a | 57 c | 16 ab |
| 55 | 0 | 2/73 cd | 0/23 d | 0/16 bc | 0/013 d | 4/14 b | 0/11 gh | 277 c | 74 ab | 80 ab | 16 ab |
| | 1/25 | 2/80 bd | 0/22 de | 0/18 ab | 0/014 cd | 3/42 cd | 0/21 e | 443 a | 78 a | 75 ab | 16 ab |
| | 2/50 | 2/92 bc | 0/29 c | 0/13 cd | 0/015 ab | 4/53 a | 0/23 c | 350 bc | 72 ab | 59 c | 15 ab |
| | 5/00 | 3/26 a | 0/49 a | 0/08 ef | 0/016 ab | 3/14 de | 0/44 a | 388 ab | 83 a | 52 c | 14 ab |

*. در مورد هر عنصر، اعدادی که حداقل در یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال 5 درصد اختلاف معنی‌دار آماری ندارند.

**جدول 6- اثر متقابل سطوح رطوبتی خاک و بیوچار کود گاوی بر جذب برخی عناصر در اندام هوایی اسفناج رشد یافته در خاک آهکی مورد مطالعه**

| رطوبت خاک (درصد ظرفیت مزرعه) | بیوچار (درصد وزنی) | نیتروژن | فسفر | کلسیم | منیزیم | پتاسیم | سدیم | آهن | منگنز | روی | مس |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | (میلی گرم در گلدان) | | | | | | (میکرو گرم در گلدان) | | | |
| 100 | 0 | 255 cd | 25 d | 26 a | 1/61 c | 379 cd | 12 d | 4094 bc | 791 c | 799 b | 175 b |
| | 1/25 | 302 b | 30 c | 22 b | 1/94 b | 652 a | 22 c | 5787 a | 1165 a | 1093 a | 242 a |
| | 2/50 | 281 bc | 34 b | 17 d | 2/17 a | 493 b | 30 b | 4812 ab | 939 b | 1026 a | 174 b |
| | 5/00 | 354 a | 45 a | 17 d | 1/76 bc | 278 ef | 36 a | 2634 de | 770 c | 691 bc | 142 bd |
| 70 | 0 | 263 cd | 18 e | 21 bc | 1/27 de | 338 d | 12 d | 3883 bc | 731 cd | 789 b | 150 bc |
| | 1/25 | 244 d | 19 e | 16 de | 1/39 d | 339 d | 19 c | 2403 de | 775 c | 726 b | 170 b |
| | 2/50 | 231 d | 26 cd | 11 f | 1/65 c | 408 c | 21 c | 3359 cd | 719 cd | 540 cd | 140 bd |
| | 5/00 | 248 cd | 35 b | 13 f | 1/26 de | 224 g | 27 b | 2535 de | 624 de | 448 d | 128 ce |
| 55 | 0 | 183 e | 15 e | 10 f | 0/86 fg | 259 eg | 7 e | 1738 e | 463 f | 477 d | 99 ef |
| | 1/25 | 185 e | 15 e | 12 f | 1/05 ef | 231 fg | 15 d | 3018 ce | 521 ef | 499 d | 106 df |
| | 2/50 | 183 e | 19 e | 8 d | 0/83 fg | 231 gf | 21 c | 2224 de | 461 f | 377 de | 96 ef |
| | 5/00 | 163 e | 25 d | 9 f | 0/80 g | 158 h | 22 c | 1959 e | 415 f | 258 e | 73 f |

*. در مورد هر عنصر، اعدادی که حداقل در یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال 5 درصد اختلاف معنی‌دار آماری ندارند.

Archive of SID

www.SID.ir

**مس**

نتایج نشان داد سطوح رطوبتی اثر معنی‌داری بر غلظت مس در گیاه اسفناج نداشت (دلایل احتمالی در ارتباط با عدم تاثیر معنی‌دار تنش رطوبتی بر غلظت مس در بخش قبلی و در مورد آهن شرح داده شد) درحالی که تیمارهای تنش رطوبتی در مقایسه با شرایط ایده‌آل رطوبتی جذب مس اندام هوایی گیاه را به‌دلیل کاهش ماده خشک تولیدی به‌طور معنی‌داری کاهش داد (شکل 5). با این وجود داسیلوا و همکاران (2011) عنوان کردند که تاکنون گزارشی در ارتباط با اثر تنش رطوبتی بر جذب مس ارایه نشده است. نتایج نشان داد کاربرد بیوچار اثر معنی‌داری بر غلظت مس در گیاه اسفناج نداشت درحالی که کاربرد مقادیر 1/25 و 5 درصد بیوچار به‌ترتیب به‌دلایل احتمالی افزایش و کاهش ماده خشک تولیدی سبب افزایش و کاهش معنی‌دار جذب مس به‌میزان 23 و 19 درصد در مقایسه با شاهد شدند. از جمله دلایل احتمالی دیگر کاهش جذب مس در پاسخ به کاربرد مقادیر زیاد بیوچار را می‌توان اثر آهک بیوچار و افزایش پ‌هاش و درنتیجه کاهش قابلیت دسترسی مس در خاک (سیکا، 2012) عنوان نمود. بارکر و پیلبیم (2007) نیز کاهش 99 درصدی قابلیت فراهمی مس را به ازای هر واحد افزایش در پ‌هاش گزارش کردند. بر خلاف یافته‌های این پژوهش، اینال و همکاران (2015) بیان کردند که افزودن بیوچار سبب افزایش غلظت آهن، روی، منگنز و مس در گیاه لوبیا شد.

در حالی‌که در گیاه ذرت تنها غلظت آهن، روی و منگنز با افزودن بیوچار افزایش یافت. نتایج نشان بیشترین و کمترین غلظت مس به‌ترتیب با مقادیر حدود 18 و 13 میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک در تیمارهای کاربرد 1/25 و 5 درصد بیوچار و در سطوح رطوبتی 70 و 100 درصد ظرفیت مزرعه مشاهده شد (جدول 5) و مشابه آنچه در مورد منگنز و روی مشاهده شد بیش‌ترین و کم‌ترین جذب مس نیز به‌ترتیب با مقادیر 242 و 73 میکروگرم در گلدان در تیمارهای کاربرد 1/25 و 5 درصد بیوچار و به‌ترتیب در شرایط رطوبتی 100 و 55 درصد ظرفیت مزرعه مشاهده شد (جدول 6).

## نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که اعمال سطوح تنش رطوبتی سبب افزایش غلظت عناصر سدیم، پتاسیم، فسفر و نیتروژن در اندام هوایی اسفناج شد. همچنین کاربرد بیوچار سبب افزایش منگنز، سدیم، پتاسیم (کاربرد 1/25 درصد بیوچار)، افزایش فسفر، منیزیم، سدیم، پتاسیم (کاربرد 2/5 درصد بیوچار) و نیز افزایش منگنز، نیتروژن، فسفر، منیزیم و سدیم (کاربرد 5 درصد بیوچار) در اندام هوایی اسفناج شد. به‌طورکلی یافته‌ها نشان داد کاربرد بیوچار سبب تغییر معنی‌دار ترکیب شیمیایی و غلظت عناصر (به‌ویژه عناصر پرمصرف) در اندام هوایی اسفناج رشد یافته در وضعیت‌های مختلف رطوبتی خاک شد. لازم به ذکر است که در تایید و تکمیل گزارش‌های سایر پژوهشگران مبنی بر افزایش نگهداری آب در خاک تیمار شده با بیوچار و هم‌چنین بهبود روابط آبی گیاه، بیوچار در همه سطوح به کار برده شده می‌تواند سبب کاهش شدید محتوی کلسیم گیاه و تنها در سطوح زیاد به کار برده شده (5 درصد در پژوهش حاضر) سبب کاهش پتاسیم، آهن و روی در شرایط تنش رطوبتی شود. بنابراین در مواردی که به‌منظور کاهش اثرات تنش رطوبتی بر گیاه از بیوچار یا ترکیبات آلی مشابه استفاده می‌شود بایستی موضوع تغییرات احتمالی در ترکیب شیمیایی گیاه و غلظت عناصر نیز در مدیریت حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه در مناطق خشک و نیمه-خشک مورد توجه قرار گیرد.

## فهرست منابع:


1. باقری، ع. ر. و ح. حیدری شریف‌آباد. 1386. بررسی اثر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد و محتوی یون‌ها در گیاه جو بدون پوشینه (*Hordeum sativum* L.). مجله دانش نوین کشاورزی، سال سوم، شماره 7، صفحات: 1 تا 15.
2. حیدری،، م. و رضاپور، ع. 1390. اثر تنش خشکی و کود گوگرد بر عملکرد دانه، کلروفیل و غلظت عناصر معدنی در گیاه دارویی سیاه دانه. مجله تولید و فراوری محصولات زراعی و باغی. سال اول. شماره اول. صفحات 81 تا 90.


Archive of SID

www.SID.ir

3. ساجدی، ن. ع. و ف. رجالی. 1390. تأثیر تنش خشکی، کاربرد روی و تلقیح میکوریز بر جذب عناصرکم مصرف در ذرت. مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب) الف، جلد 25، شماره 2، صفحات: 83 تا 92.
4. ستایش‌مهر، ز. و ع. گنجعلی. 1392. بررسی اثرات تنش خشکی بر رشد و خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه شوید. نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی). جلد 27 ، شماره 1، صفحات: 27 تا 35.
5. صالحی، م.، ع. ر. کوچکی و م. نصیری محلاتی. 1382. میزان نیتروژن و کلروفیل برگ به عنوان شاخصی از تنش خشکی در گندم. مجله پژوهش‌های زراعی ایران، جلد 1، شماره 3، صفحات: 199 تا 204.
6. گویلی، ا.، ع. ا. موسوی و ع. ا. کامگارحقیقی. 1395. اثر بیوچار کود گاوی و تنش رطوبتی بر ویژگی های رشد و کارایی مصرف آب اسفناج در شرایط گلخانه ای. پژوهش آب در کشاورزی، جلد 30، شماره 2، صفحات: 243 تا 259.
7. Abbasi, M. K., and A. A. Anwar. 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): e0131592.
8. 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. Agricultural Water Management, 158:61–68.
9. Barker, A.V. and D. V. Pilbeam. 2007. Handbook of Plant Nutrition (1st Ed.), CRC Press, NY, 636 P.
10. Batooll, A., S. Taj, A. Rashid, A. Khalid, S. Qadeer, A. R. Saleem and M. A. Ghufran. 2015. Potential of soil amendments (Biochar and Gypsum) in increasing water use efficiency of *Abelmoschus esculentus* L. Moench. Frontiers in Plant Science, 6: 1–13.
11. Blackwell, P., G. Riethmuller, and M. Collins. 2009. Biochar Application to Soil. In: J. Lehmann and S. Joseph (Eds.). Biochar for Environmental Management: Science and Technology. 3rd Ed, London, Earthscan, 405 p.
12. Bremner, J. 1996. Nitrogen total. Methods of Soil Analysis. In: D. L. Sparks et al. (Eds). Method of Soil Analysis. Part 3. pp. 1085-1121. Chemical Methods. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI, USA.
13. Cely, P., G. Gasco, J. Paz-Ferreiro and A. Mendez. 2015. Agronomic properties of biochars from different manure wastes. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 111: 173–182.
14. Cheng, C. H., J. Lehmann, and M. H. Engelhard. 2008. Natural oxidation of black carbon in soils: changes in molecular form and surface charge along a climosequence. Geochimica et Cosmochimica Acta, 72: 1598-1610.
15. Cheng, C. H., J. Lehmann, J. E. Thies, S. D. Burton, and M. H. Engelhard. 2006. Oxidation of black carbon by biotic and abiotic processes. Organic Geochemistry, 37: 1477-1488.
16. da Silva, L. C., R. J. M. Custodio Nogueira, M. A. da Silva, and M. B. de Albuquerque. 2011. Drought stress and plant nutrition. Plant Stress, 5: 32-41.
17. Ding, Y., Y. X. Liu, W. X. Wu, D. Z. Shi, M. Yang and Z. K. Zhong. 2010. Evaluation of biochar effects on nitrogen retention and leaching in multi-layered soil columns. Water, Air, and Soil Pollution, 213(1-4): 47-55.
18. Farrell, M., L. M. Macdonald, G. Butler, I. Chirino-Valle and L. M. Condron. 2014. Biochar and fertiliser applications influence phosphorus fractionation and wheat yield. Biology and Fertility of Soils, 50, 169–178.
19. Gartler, J., B. Robinson, K. Burton and L. Clucas. 2013. Carbonaceous soil amendments to biofortify crop plants with zinc. Science of the Total Environment, 465, 308–313.

Archive of SID

www.SID.ir

20. Gaskin, J. W., C. Steiner, K. Harris, K. C. Das and B. Bibens. 2008. Effect of low-temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. Transactions of the ASABE. 51(6): 2061-2069.
21. Gaskin, J. W., R. A. Speir, K. Harris, K. Das, R. D. Lee, L. A. Morris, and D. S. Fisher. 2010. Effect of peanut hull and pine chip biochar on soil nutrients, corn nutrient status, and yield. Agronomy Journal, 102: 623-633.
22. Glaser, B., L. Haumaier, G. Guggenberger and W. Zech. 2001. The 'Terra Preta phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. Naturwissenschaften, 88: 37–41.
23. Glaser, B., J. Lehmann and W. Zech. 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal a review. Biology and Fertility of Soils, 35(4): 219-230.
24. Gonzales, P. R., and M. L. Salas.1995. Improvement of the growth, grain yield, and nitrogen, phosphorus, and potassium nutrition of grain corn through weed control. Journal of Plant Nutrition, 18(11): 2313-2324.
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 and Management, 30: 182–188.
26. Lehmann, J., K. Hanley, A. Enders, C. Hyland and S. Riha. 2013. Nitrogen dynamics following field application of biochar in a temperate North American maize-based production system. Plant and Soil, 365:239–254.
27. Hernández, H., H. Castillo, D. Ojeda, A. Arras, J. López and E. Sánchez. 2010. Effect of vermicompost and compost on lettuce production. Chilean Journal of Agricultural Research, 70(4): 583-589.
28. 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 and Management, 31: 106–113
29. Jeffery, S., F. G. A. Verheijen, M. van der Velde and A. C. Bastos. 2011. A quantitative review of the effects of biochar applications to soils on crop productivity using meta-analysis. Agriculture, Ecosystems and Environment, 144, 175–187.
30. Jin, Y., X. Liang, M. He, Y. Liu, G. Tian and J. Shi. 2016. Manure biochar influence upon soil properties, phosphorus distribution and phosphatase activities: A microcosm incubation study. Chemosphere, 142: 128–135.
31. Laird, D. A., P. Fleming, D. D. Davis, R. Horton, B. Wang, and D. L. Karlen. 2010. Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil. Geoderma, 158: 443-449.
32. Lehmann, J. 2007. Bio-energy in the black carbon. Frontiers in Ecology and the Environment, 5(7): 381-387.
33. Liang, B. L., J. Solomon, D. Kinyangi, J. Grossman, J. Oneill and B. Skjemstad. 2006. Black carbon increases cation exchange capacity in soils. Soil Science Society of America Journal, 70: 1719-1730.
34. Lehmann, J. and S. Joseph. 2009. Biochar for environmental management. In: J. Lehmann and S. Joseph (Eds.). Biochar for Environmental Management: Science and Technology. 3 rd Ed, London, Earthscan, 405 p.

Archive of SID

www.SID.ir

35. Lehmann, J., J. P. da Silva Jr, C. Steiner, T. Nehls, W. Zech, and B. Glaser. 2003. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. Plant and Soil, 249: 343-357.
36. Liang, B., J. Lehmann, D. Solomon, J. Kinyangi, J. Grossman, B. O'neill, J. Skjemstad, J. Thies, F. Luizao, and J. Petersen. 2006. Black carbon increases cation exchange capacity in soils. Soil Science Society of America Journal, 70: 1719-1730.
37. Lindsay, W. L. and W. A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Science Society of America Journal, 42: 421-428.
38. Liu, T., B. Liu and W. Zhang. 2014. Nutrients and heavy metals in biochar produced by sewage sludge pyrolysis: its application in soil amendment. Polish Journal of Environmental Studies, 23(1): 271-275.
39. Logan. T. J., L. E. Goins, and B. Jlindsay. 1997. Field assessment of trace element uptake by six vegetables from N-viro soil. Water Environment Research, 69: 28-33.
40. Luo, Y., Y. Jiao, X. Zhao, G. Li, L. Zhao and H. Meng. 2014. Improvement to maize growth caused by biochars derived from six feedstocks prepared at three different temperatures. Journal of Integrative Agriculture, 13, 533–540.
41. Marchetti, R. and F. Castelli. 2013. Biochar from swine solids and digestate influence nutrient dynamics and carbon dioxide release in soil. Journal of Environmental Quality, 42: 893-901.
42. McCormack, S.A., N. Ostle, R. D. Bardgett, D. W. Hopkins and A. J. Vanbergen. 2013. Biochar in bioenergy cropping systems: impacts on soil faunal communities and linked ecosystem processes. GCB Bioenergy, 5, 81–95.
43. McHenry, M. P. 2009. Agricultural bio-char production, renewable energy generation and farm carbon sequestration in Western Australia: Certainty, uncertainty and risk. Agriculture, Ecosystems & Environment, 129: 1–7.
44. Miller, W. P., D. C. Martens and L. W. Zelazny. 1986. Effect of sequence in extraction of trace metals from soils. Soil Science Society of America Journal, 50(3): 598-601.
45. Munns, R., and R. James. 2003. Screening methods for salinity tolerance: A case study with tetraploid wheat. Plant and Soil, 253: 201-218.
46. Murphy, J. and J. Riley. 1952. A modified single solution method for determination of phosphate uptake by rye. Soil Science Society of America Journal, 48: 31-36.
47. Nahar, K. and R. Gretzmacher. 2002. Effect of water stress on nutrient uptake, yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under subtropical conditions. Die Bodenkultur, 53 (1): 45-51.
48. Neble, S., V. Calvert, J. Le Petit and S. Criquet. 2007. Dynamics of phosphatase activities in a cork oak litter (Quercus suber L.) following sewage sludge application. Soil Biology and Biochemistry, 39: 2735 -2742.
49. Nigussie, A., E. Kissi, M. Misganaw and G. Ambaw. 2012. Effect of biochar application on soil properties and nutrient uptake of lettuces (*Lactuca sativa*) grown in chromium polluted soils. American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science, 12: 369-376.
50. Novak, J. M., W. J. Busscher, D. L. Laird, M. Ahmedna, D. W. Watts, M. A. S. Niando. 2009. Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern coastal plain soil. Soil Science, 174, 105–112.
51. 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.

Archive of SID

www.SID.ir

52. Parvage, M. M., B. Ulen, J. Eriksson, J. Strock, and H. Kirchmann. 2013. Phosphorus availability in soils amended with wheat residue char. Biology and Fertility of Soils, 49: 245–250.
53. Sika, M. P. 2012. Effect of biochar on chemistry, nutrient uptake and fertilizer mobility in sandy soil. Thesis presented in agriculture at the University of Stellenbosch. 123 P.
54. Solomon, D., J. Lehmann, J. Thies, T. Schafer, B. Liang, J. Kinyangi, E. Neves, J. Petersen, F. Luizo and J. Skjemstad. 2007. Molecular signature and sources of biochemical recalcitrance of organic C in Amazonian dark earths. Geochimica et Cosmochimica Acta, 71: 2285-2298.
55. Song, W. Y., Z. B. Zhang, H. B. Shao, X. L. Guo, H. X. Cao, H. B. Zhao, Z. Y. Fu and X. J. Hu. 2008. Relationship between calcium decoding elements and plant abiotic-stress resistance. International Journal of Biological Science, 4: 116-125.
56. Sposito, N. C. 2013. Soil nutrient availability properties of biochar. A Thesis presented to the Faculty of Cal Poly State University, San Luis Obispo.
57. 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 and Management, 27: 205-212.
58. Van Zwieten, L., S. Kimber, A. Downie, K. Chan, A. Cowie, R. Wainberg, and S. Morris. 2007. Papermill char: benefits to soil health and plant production, Proceedings of the Conference of the International Agrichar Initiative. 30 April-2 May 2007, Terrigal, NSW, Australia.
59. Vassilev, N., E. Martos, G. Mendes, V. Martos and M. Vassileva. 2013. Biochar of animal origin: a sustainable solution to the global problem of high-grade rock phosphate scarcity? Journal of the Science of Food and Agriculture, 93: 1799-1804.
60. Verheijen, F. G. A., S. Jeffery, A. C. Bastos, M. van der Velde and I. Diafas. 2010. Biochar application to soils-A critical scientific review of effects on soil properties, processes and functions. Office for the Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
61. Xu, G., J. Sun, H. Shao and S. X. Chang. 2014. Biochar had effects on phosphorus sorption and desorption in three soils with differing acidity. Ecological Engineering, 62: 54–60.
62. Zhao, X.R., D. Li, J. Kong, and Q.M. Lin. 2014. Does biochar addition influence the change points of soil phosphorus leaching? Journal of Integrative Agriculture, 13: 499–506.

Archive of SID

www.SID.ir

# Effect of Cattle Manure Biochar on the Chemical Composition of Spinach Grown at Different Water Conditions in a Calcareous Soil

**E. Gavili, A. A. Moosavi[1], and A. A. Kamgar Haghighi**

M.Sc. Graduate, Department of Soil Science, College of Agriculture, Shiraz University;
E-mail: edris_gavili@yahoo.com
Associate Professor., Department of Soil Science, College of Agriculture, Shiraz University;
E-mail: aamousavi@gmail.com
Professor., Department of Water Engineering, College of Agriculture, Shiraz University;
E-mail: aakamgar@shirazu.ac.ir

Received: November, 2016 and Accepted: May, 2017

**Abstract**

Suitable soil and availability of adequate nutrient elements are necessary for successful plant production. Nutrient elements not only should be in readily available form but also their balance is important. Organic matter and soil amendments that are used in soil reclamation or for prevailing the stress conditions can influence the concentration of nutrient elements. Therefore, this research aimed to evaluate the effect of cattle manure biochar on the chemical composition of spinach (Virofly var.) grown at different water conditions of a calcareous soil by conducting a factorial greenhouse experiment arranged in a completely randomized design with three replications. Treatments consisted of four biochar levels (0, 1.25%, 2.5%, and 5% w/w) and three levels of water status (field capacity, FC (no stress), 0.70 FC, and 0.55 FC). Results indicated that water stress resulted in a significant decrease in the uptake of all studied nutrient elements and significant increase in shoot concentration of Na, K, P and N of spinach. Furthermore, application of 1.25% biochar increased Mn, Na, and K; application of 2.5% biochar increased P, Mg, Na, and K and application of 5% biochar also increased Mn, N, P, Mg, and Na concentration in the shoot of spinach. In general, application of biochar and water conditions resulted in significant changes in chemical composition and nutrient concentration and uptake (especially for macro nutrients) of spinach shoot. Therefore, in the cases that biochar is used for mitigating the adverse effects of water stress, probable changes in chemical composition and nutrient concentration of plants should be considered, and this issue must be considered in plant nutrition and soil fertility management in arid regions. It should be noticed that the influence of biochar on the chemical composition and also soil attributes depends on the source material and preparation conditions of biochar, the type and variety of plant, and the studied soil conditions. Therefore, to obtain the wider and more accurate results, it is recommended to conduct these types of researches for other plant species by applying different sources and conditions for preparing biochar under field conditions.

**Keywords:** Macro nutrients, Micronutrients, Field capacity, Water stress, Nutritional status

[1] Corresponding author: Department of Soil Science and Engineering, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz.

Archive of SID

www.SID.ir