Archive of SID

تأثیر زغال زیستی و قارچ میکوریز بر خصوصیات رشدی و تغذیه گیاه همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.)

احسان کریمی[۱]، مصطفی شیرمردی[*۲]، مریم دهستانی اردکانی[۳]، مجتبی کریمی[۴] و جلال غلام نژاد[۳]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۰۵)

چکیده

کاربرد قارچ میکوریز و زغال زیستی می‌تواند با افزایش جذب آب و عناصر از منطقه ریشه باعث بهبود تولید محصول شوند. به منظور بررسی اثر زغال زیستی بقایای هرس هلو (صفر، دو و چهار درصد وزنی-وزنی) و قارچ میکوریز (عدم تلقیح و تلقیح با قارچ میکوریز) بر خصوصیات مرفوفیزیولوژیک و غلظت عناصر در اندام‌هوایی همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه انجام شد. زغال زیستی تهیه شده از الک دو میلی‌متری عبور داده و با خاک مخلوط شد. کاربرد قارچ میکوریز به روش تماس مستقیم با ریشه گیاه انجام شد. پس از شش ماه، ویژگی‌های مرفوفیزیولوژیک و غلظت برخی عناصر ماکرو و میکرو در اندام هوایی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که با کاربرد همزمان چهار درصد زغال زیستی و قارچ میکوریز، کلروفیل، قطر گل، ارتفاع گیاه، سطح برگ، قطر ساقه، وزن خشک گیاه و غلظت عناصر فسفر، پتاسیم، کلسیم و آهن نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. تیمار چهار درصد زغال زیستی و کاربرد همزمان چهار درصد زغال زیستی و قارچ میکوریز توانست غلظت روی را در اندام هوایی گیاه نسبت به شاهد به ترتیب ۱۳/۷ و ۱۹/۵ درصد افزایش دهد. کاربرد چهار درصد زغال زیستی منجر به افزایش معنی‌دار Mn نسبت به شاهد شد (۹۱/۳ در مقابل۸۶/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای شاهد)، در حالی که کاربرد دو درصد زغال زیستی تفاوت معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد و چهار درصد زغال زیستی نشان نداد. نتایج تأثیر اضافه کردن زغال زیستی به خاک پس از دوره رشد گیاه نشان داد که با اضافه کردن چهار درصد زغال زیستی، پتاسیم قابل جذب، Ca، Mg و Mn نسبت به شاهد به ترتیب۳۱/۲، ۷۱/۴، ۲۵/۸ و ۲۷/۳ درصد افزایش یافت. به‌نظر می‌رسد کاربرد این مواد بتواند با بهبود فراهمی عناصر غذایی و شرایط رشد گیاه، باعث افزایش شاخص‌های رشدی گیاه شده و تولید محصول را تحت تأثیر قرار دهد.

واژه‌های کلیدی: اصلاح‌کننده‌های آلی، تغذیه گیاه، زغال زیستی، کود زیستی، عناصر پر مصرف

کریمی ا.، شیرمردی م.، دهستانی اردکانی م.، کریمی م.، جلال غلام نژاد ج. ۱۳۹۹. تأثیر زغال زیستی و قارچ میکوریز بر خصوصیات رشدی و تغذیه گیاه همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.). تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۸، شماره۲. صفحه: ۱۱۲-۱۲۸.

۱- دانش‌اموخته کارشناسی ارشد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان
۲- استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان (مکاتبه کننده)
۳- استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان
۴- استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
* پست الکترونیک: shirmardi@ardakan.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

گیاه همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) به عنوان یک گیاه دارویی در ایران و جهان از اهمیت بالایی برخوردار است. این گیاه یک‌ساله تا چندساله، متعلق به خانواده‌ی کاسنی بوده که بومی حوزه دریای مدیترانه، خاورمیانه و اروپای مرکزی می‌باشد. طول دوره رشد این گیاه ۲۰۰ تا ۲۱۰ روز می‌باشد. این گیاه دارای ماده موثره ارزشمند بوده که در صنایع دارویی، آرایشی و بهداشتی دارای اهمیت ویژه‌ای می‌باشد. از مواد موثره در این گیاه می‌توان فلاونوئیدها، گلوکوزیدها، کاروتنویدها، و روغن‌های اسانسی ترپنی را نام برد (Mojtabavi & Darzi, 2018).

ایران دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک می‌باشد و به دلیل عدم برخورداری از پوشش گیاهی کافی، از نظر محتوای ماده‌ی آلی خاک دچار فقر می‌باشد. ماده آلی خاک علاوه بر تأثیر مثبتی که بر خصوصیات فیزیکی خاک دارد می‌تواند در حاصلخیزی خاک نیز نقش به‌سزایی داشته باشد (Tate, 2000). کشاورزان غالبا هر سال با مصرف کودهای آلی و شیمیایی به دنبال افزایش رشد و عملکرد می‌باشند. سوزاندن بقایای گیاهی (در مدیریت سنتی) و همچنین تجزیه آنها با تولید گازهای گلخانه‌ای می‌تواند باعث تغییر اقلیم شوند (Forster *et al*., 2007). درکشاورزی پایدار توجه زیادی به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و بحث ترسیب کربن وجود دارد. اخیرا زغال زیستی بعنوان یک منبع کربنی و راهکاری برای کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن مورد توجه قرار گرفته است. زغال زیستی در اصل زغال تهیه شده از بقایای گیاهی می‌باشد که طی فرآیند پیرولیز[۱] درشرایط کمبود یا نبود اکسیژن تولید می‌شود (Glaser & Birk, 2012). ماندگاری زغال زیستی در خاک بسته به شرایط تولید آن، صدها و حتی هزاران سال برآورده شده است (Namgay *et al*., 2010). خصوصیات زغال زیستی تولیدی تحت تأثیر ویژگی‌های ساختاری و شیمیایی مواد اولیه بوده و همچنین شرایط پیرولیز یا گرماکافت می‌تواند بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی زغال زیستی تولیدی مؤثر باشد (Winsley, 2007). از فواید زغال زیستی می‌توان به تولید انرژی، کاهش حجم مواد زائد (Lehmann & Joseph, 2009)، افزایش ارزش غذایی بقایا (افزایش عناصر ضروری و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک) (Singh *et al*., 2010)، افزایش عملکرد گیاهان به ویژه در خاک‌های مناطق گرم (Vaccari *et al*., 2011; Van Zwieten *et al*., 2010) و بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و حفظ ماده‌ی آلی خاک (Van Zwieten *et al*., 2010) اشاره کرد. مواد آلی با تأثیری که بر جذب سطحی و واکنش‌های کمپلکس عناصر غذایی در خاک می‌گذارند قادرند بر فراهمی این عناصر نقش بسزایی داشته باشند (Bradl, 2004). این شرایط به خصوص در خاک‌های آهکی با pH بالا به دلیل پایین بودن قابلیت استفاده برخی از عناصر غذایی ازجمله فسفر، آهن، روی، منگنز و مس می‌تواند اهمیت بیشتری داشته باشد. افزایش فراهمی مس، فسفر و پتاسیم و کاهش فراهمی منگنز، روی و منیزیم در اثر کاربرد زغال زیستی پوست گردو گزارش شده است (Novak *et al*., 2009). در مناطق خشک و نیمه‌خشک برای بهره‌گیری از فواید مواد آلی ناچار به مصرف مقدار زیادی از کودهای آلی بوده که به دلیل تجزیه سریع این مواد، اثر بخشی آنها در مدت کوتاهی ازبین رفته و کشاورزان ناچار به مصرف سالانه و مداوم آنها می‌باشند. این امر علاوه بر ایجاد مشکلات زیست محیطی، هزینه تولید را افزایش می‌دهد. گزارشات متعددی وجود دارد که نشان می‌دهد ماندگاری زغال زیستی در خاک در مقایسه با مواد آلی پیرولیز نشده در شرایط یکسان اقلیمی بالاتر می‌باشد (Baldock & Smernik, 2002). میانگین زمان ماندگاری زغال زیستی را بیش از ۱۰۰۰سال ذکر کرده‌اند (Cheng *et al*., 2008; Lehmann *et al*., 2008). مطالعات زیادی در مورد تأثیر زغال زیستی بر محصولات صورت گرفته است. با این وجود تحقیقات مختلف گاه نتایج متناقضی را گزارش کرده‌اند. نتایج مثبت (Sinclair *et al*., 2008; Chan *et al*., 2007)، منفی (Gaskin *et al*., 2010; Asai *et al*., 2009) و عدم تأثیر (Van Zwieten *et al*., 2010; Asai *et al*., 2009) در اثر کاربرد زغال زیستی بر پارامترهای مختلف گیاهی گزارش شده است.

در سال‌های اخیر به دلیل آنکه تولید محصول اغلب متکی به استفاده از کودهای شیمیایی بوده، مسایل زیست محیطی مختلفی بروز کرده است که از آن جمله

۱. Pyrolysis

www.SID.ir

Archive of SID

می‌توان به تخریب ساختمان خاک و برهم خوردن تعادل بین عناصر غذایی در خاک اشاره کرد (Guarda *et al.*, 2004). در نتیجه تامین عناصر غذایی از طریق کودهای زیستی کمک شایانی به کشاورزی پایدار خواهد کرد. کودهای زیستی مثل کودهای میکوریز، ضمن برتری قابل توجه نسبت به کودهای شیمیایی، باعث اصلاح ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک (Stark *et al.*, 2007) و افزایش قابلیت جذب برخی از عناصر (Vessey, 2003) می‌شوند. استفاده از قارچ میکوریز می‌تواند حلالیت و کارایی جذب فسفر را به طور چشم‌گیری افزایش دهد (Douds & Millner, 1999). دات و همکاران (Dutt *et al.*, 2013) گزارش کردند که با تلقیح گیاهان با قارچ میکوریز، غلظت عناصر Fe، Zn، Ca و Mn در گیاهچه‌های تلقیح شده افزایش یافت. آن‌ها این امر را به دلیل افزایش سطح جذب عناصر غذایی در ریزوسفر دانستند. این در حالی است که کاهش در غلظت Mn در گیاهان تلقیح شده با قارچ نیز گزارش شده است (Kotharie et al., 1991). نتایج تحقیقات حاکی از آن است که همزیستی میکوریزی اثرات متفاوتی در جذب عناصر میکرو در گیاهان دارد. در تحقیقی قارچ میکوریز باعث بهبود جذب آب، افزایش فتوسنتز و عملکرد آفتابگردان شد (Akbari *et al.*, 2009). همچنین بهبود رشد سبزینگی ریحان و افزایش وزن خشک آن با کاربرد قارچ میکوریز گزارش شده است (Sharifi *et al.*, 2010). البته باید توجه داشت که اثر بخشی کود میکوریز مصرفی بستگی به ایجاد همزیستی بین گیاه مورد نظر و میکوریزای مصرفی، فراهمی مواد آلی در خاک و توسعه این همزیستی دارد (Douds & Millner, 1999).

با توجه به اینکه قسمت عمده کشور ایران دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک می‌باشد، کمبود مواد آلی در این خاک‌ها بسیار شایع است. با این وجود بسیاری از کشاورزان و باغداران برای از بین بردن ضایعات حاصل از فعالیت‌های کشاورزی (از قبیل مواد حاصل از هرس درختان)، اقدام به آتش زدن این مواد می‌کنند که ضمن ایجاد مسائل زیست محیطی باعث از دست رفتن منبع ارزشمندی از مواد آلی می‌شود. علاوه بر این در سال‌های اخیر کاربرد میکروارگانیسم‌های مفید خاکزی از قبیل قارچ‌های میکوریز آربسکولار به عنوان جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی مورد توجه قرار گرفته است. هدف از این مطالعه بررسی اثرات زغال زیستی به دست آمده از مواد حاصل از هرس درختان هلو بر برخی ویژگی‌های خاک و همچنین تأثیر زغال زیستی، قارچ میکوریز و برهمکنش آن‌ها بر پارامترهای رشدی و تغذیه‌ای گیاه همیشه بهار بود.

مواد و روش‌ها

تهیه زغال زیستی، قارچ میکوریز و بذر همیشه بهار

برای تهیه زغال زیستی به مقدار نیاز نمونه خشک شده بقایای حاصل از هرس درختان هلو از باغی در شهرستان سامان استان چهار محال و بختیاری جمع آوری و در آزمایشگاه خاکشناسی دانشگاه شهرکرد، زغال زیستی مورد نیاز تهیه شد. برای تهیه زغال زیستی، نمونه‌ها در شرایط فاقد اکسیژن درون کوره الکتریکی با دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس قرار داده شد. برای این کار نمونه‌ها را ابتدا در داخل ظروف درب‌دار ریخته، سپس برای ایجاد شرایط بدون اکسیژن، چندین شمع در داخل کوره روشن شد تا اکسیژن باقیمانده در کوره و همچنین ظروف حاوی مواد اولیه مصرف شود و یا مقدار آن به حداقل رسیده و شرایط برای انجام فرآیند پیرولیز فراهم شود. درب کوره با گریس نسوز کاملاً درزگیری شد. قارچ میکوریز از شرکت زیست‌فناور پیشتاز واریان اصفهان تهیه شد. در هر گرم از قارچ میکوریز حداقل ۱۰۰ اندام فعال از سه گونه *Glomus mosseae*، *Glomus intraradices* و *Glomus etunicatum* وجود داشت. بذر همیشه بهار از شرکت نوین سبز پرور شهر ری در فرم پر پر، رنگ مخلوط زرد و نارنجی، ارتفاع متوسط و تعداد بذر در هر گرم ۱۴۰ عدد تهیه شد.

اندازه‌گیری برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک و زغال زیستی

برای آنالیز خاک مورد استفاده در این تحقیق، مقداری از آن را از الک دو میلی‌متری عبور داده و سپس برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک اندازه‌گیری شد. بافت خاک به روش هیدرومتری (Bouyoucos, 1962)، EC و pHدر عصاره اشباع (Haluschak, 2006)، کربن آلی به روش والکلی و بلک (Walkley & Black, 1934)، کاتیون‌های محلول از قبیل Ca و Mg در عصاره اشباع

www.SID.ir

Archive of SID

(Richards, 1954)، پتاسیم قابل جذب با روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم یک نرمال (Johnson & Goulding, 1990) و فسفر قابل جذب به روش اولسن (Watanabe & Olsen, 1965) اندازه‌گیری شد. در مورد زغال زیستی استفاده شده، EC و pH در عصاره ۱:۱۰ اندازه‌گیری شد (Zhang *et al.*, 2013). نتایج آنالیز خاک و زغال زیستی در جدول۱ آورده شده است. عملکرد زغال زیستی بر حسب وزن زغال زیستی تولیدشده در واحد وزن خشک ماده اولیه با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد (Song & Guo, 2012).

$$\text{عملکرد زغال زیستی (\%)} = \frac{\text{وزن زغال زیستی (g)}}{\text{وزن خشک بقایا (g)}} \times 100 \qquad (۱)$$

برای تعیین محتوای خاکستر زغال زیستی از روش استاندارد ASTM D-2866 استفاده شد. به این صورت که ابتدا پنج گرم نمونه زغال زیستی خشک شده در آون را در بوته چینی ریخته و به مدت هشت ساعت در دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس در شرایط حضور اکسیژن قرار داده شد. پس از سرد شدن نمونه در دسیکاتور، وزن خاکستر اندازه‌گیری و با استفاده از رابطه ۲ محتوای خاکستر بر حسب درصد تعیین شد (Song & Guo, 2012).

$$\text{محتوای خاکستر (\%)} = \frac{\text{وزن خاکستر}(g)}{\text{وزن زغال زیستی}(g)} \times 100 \qquad (۲)$$

کشت گیاه و اعمال تیمارها

این تحقیق به صورت آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی در سال ۱۳۹۶ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد انجام شد. تیمارها شامل سه سطح زغال زیستی (صفر، دو و چهار درصد وزنی-وزنی) و دو سطح قارچ میکوریز (عدم تلقیح و تلقیح با قارچ میکوریز) با سه تکرار در شرایط گلخانه انجام شد. مقدار کود میکوریز مصرفی بر اساس توصیه شرکت تولید کننده (شرکت زیست‌فناور پیشتاز واریان) به میزان ۳۵ گرم در کیلوگرم خاک انجام شد. زغال زیستی تهیه شده ابتدا از الک دو میلی‌متر عبور داده شد و با خاک به خوبی مخلوط و در گلدان ریخته شد. گلدان‌هایی با ارتفاع ۱۶ سانتی‌متر و قطر دهانه ۱۸ سانتی‌متر مورد استفاده قرار گرفت. پس از اختلاط زغال زیستی با خاک بر اساس تیمارهای مورد نظر، نمونه‌ها به میزان سه کیلوگرم در گلدان‌ها ریخته شدند و انکوباسیون آن‌ها به مدت دو ماه در دمای ۲۵ درجه سلسیوس انجام شد. در ادامه پس از مناسب شدن رطوبت خاک، در هر گلدان سه بذر جوانه‌دار شده همیشه بهار کشت شد. پس از چهار برگی شدن تعداد گیاهان به دو عدد در هر گلدان کاهش یافت. قارچ میکوریز برای هرگلدان به صورت تماس مستقیم با ریشه گیاهچه‌ها به کار برده شد. آبیاری گلدان ها به صورت وزنی و پس از رسیدن رطوبت به ۸۰ درصد ظرفیت مزرعه (FC) انجام شد. آبیاری به گونه‌ای بود که رطوبت خاک را مجددا به ۱۰۰ درصد FC رسانده و زه‌آب از گلدان خارج نمی‌شد. گیاهان پس از شش ماه برداشت شدند و خصوصیات رشدی و غلظت برخی عناصر در آنها اندازه‌گیری شد.

اندازه گیری پارامترهای رشدی

میزان کلروفیل برگ توسط دستگاه کلروفیل‌متر مدل SPAD-502 در اواخر دوره رشد اندازه‌گیری شد. سطح برگ با استفاده از Leaf Area Meter (مدل WinArea_UT_11 ساخت ایران)، اندازه‌گیری شد. پس از اتمام دورهٔ رشد، ارتفاع گیاه، وزن خشک گل، قطر گل و وزن خشک اندام هوایی اندازه‌گیری شد. وزن خشک گل و اندام هوایی گزارش شده مربوط به تمام گیاهان هر گلدان می‌باشد.

اندازه گیری غلظت عناصر در گیاه

برای اندازه‌گیری غلظت عناصر در اندام هوایی، گیاهان هر گلدان از روی خاک بریده شده و پس از شستشو با آب مقطر، ابتدا بر روی روزنامه قرار داده شدند تا هوا خشک شوند. سپس نمونه‌های گیاهی در پاکت‌های کاغذی در آون در دمای ۶۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند تا کاملاً خشک شوند. کل اندام هوایی به منظور آنالیز عناصر آسیاب شدند. سپس نمونه‌های گیاهی با استفاده از اسید کلریدریک غلیظ به روش هضم خشک، هضم شدند (Cottenie, 1980). در نمونه‌های هضم شده غلظت فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم اندازه‌گیری شد. غلظت فسفر در نمونه‌ها به روش نیترو وانادومولیبدات با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل JENUS-UV- 1200) در طول موج ۴۳۰ نانومتر، اندازه‌گیری شد (Murphy & Riley, 1962). غلظت پتاسیم نمونه‌های گیاهی با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر (مدل JENWAY- PFP7) اندازه-گیری شد. کلسیم و منیزیم به روش کمپلکسومتری و

www.SID.ir

Archive of SID

تیتراسیون با EDTA اندازه‌گیری شد (Ehyaei & Behbahanizade, 1991). از معرف اریوکروم‌بلک‌تی برای اندازه‌گیری مجموع کلسیم و منیزیم و برای اندازه‌گیری کلسیم از مورکسید به عنوان معرف استفاده شد. غلظت عناصر Fe، Zn و Mn در عصاره حاصل از هضم خشک با استفاده از دستگاه جذب اتمی (Perkin Elmer, USA make Analyst 400) اندازه‌گیری شد.

تأثیر زغال زیستی بر برخی خصوصیات خاک

به منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف زغال زیستی بقایای حاصل از هرس هلو (صفر، دو و چهار درصد وزنی-وزنی) بر برخی خصوصیات خاک، پس از اتمام رشد گیاه (دوره شش ماهه)، خاک گلدان‌ها خشک شده و از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. ویژگی‌هایی از قبیل EC و pH عصاره اشباع، پتاسیم قابل جذب با روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم یک نرمال (Johnson & Goulding, 1990)، فسفر به روش اولسن (Watanabe & Olsen, 1965)، کلسیم و منیزیم عصاره اشباع (Gupta, 1999)، کربن آلی به روش والکلی و بلک (Walkley & Black, 1934) و غلظت آهن، روی و منگنز قابل استخراج با DTPA (Lindsay & Schwab, 1982) اندازه‌گیری شد.

آنالیز آماری

داده‌های آزمایش با استفاده از نرم افزار SAS 9.2 مورد آنالیز قرار گرفت و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD، در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

از آنجا که برای این مطالعه، خاک غیر شور که محتوای کربن آلی آن بالا نباشد مورد نیاز بود از باغی در شهرکرد نمونه‌برداری صورت گرفت. آنالیز اولیه در ارتباط با شوری، pH، بافت و غلظت برخی از عناصر غذایی بر روی خاک صورت گرفت. در ارتباط با زغال زیستی نیز شاخص‌های مورد توجه شوری، درصد کربن آلی، درصد عملکرد و غلظت عناصر بود. نتایج آنالیز خاک و زغال زیستی مورد استفاده در جدول۱ آورده شده است.

جدول۱- برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک و زغال زیستی استفاده شده در مطالعه

Table 1. Some physicochemical properties of soil and biochar used in study

Sample	EC	pH	Organic Carbon	Available K	Available P	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Sand	Silt	Clay	Texture	Ash content	Biochar yield
	$dS\ m^{-1}$		%	$mg\ kg^{-1}$		$meq\ l^{-1}$		%				(%)	
Soil	0.226	8.00	0.640	221	5.4	1.60	1.10	18.4	49.0	32.6	Silty Clay Loam	-	-
Biochar	0.245	7.83	54.8	483	30.6	1.20	0.700	-	-	-	-	45.2	31.3

تأثیر زغال زیستی بر برخی ویژگی‌های خاک مورد مطالعه

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که کاربرد زغال زیستی تأثیر معنی‌داری بر EC، OC، پتاسیم قابل جذب، کلسیم، منیزیم و Mn در سطح یک درصد داشت. این در حالی است که کاربرد زغال زیستی اثر معنی‌داری بر pH خاک، فسفر قابل جذب، Fe و Zn نشان نداد (جدول ۲).

جدول ۲- آنالیز واریانس پارامترهای اندازه‌گیری شده در خاک تحت تأثیر زغال زیستی

Table 2. Variance analysis of evaluated parameters in soil under the influence of biochar

		Mean Square									
Source of Variation	Df	EC	pH	OC	K	P	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn
Biochar rate (B)	2	0.06^{**}	0.026^{ns}	0.08^{**}	6219^{**}	1.23^{ns}	0.49^{**}	5.8^{**}	0.12^{ns}	0.0007^{ns}	0.28^{**}
Error	6	0.005	0.006	0.005	65.3	0.47	0.005	0.05	0.09	0.008	0.02
Coefficient of Variation(CV) %		6.2	3.2	3.8	7.2	6.3	2.3	10.2	6.8	7.9	3.1

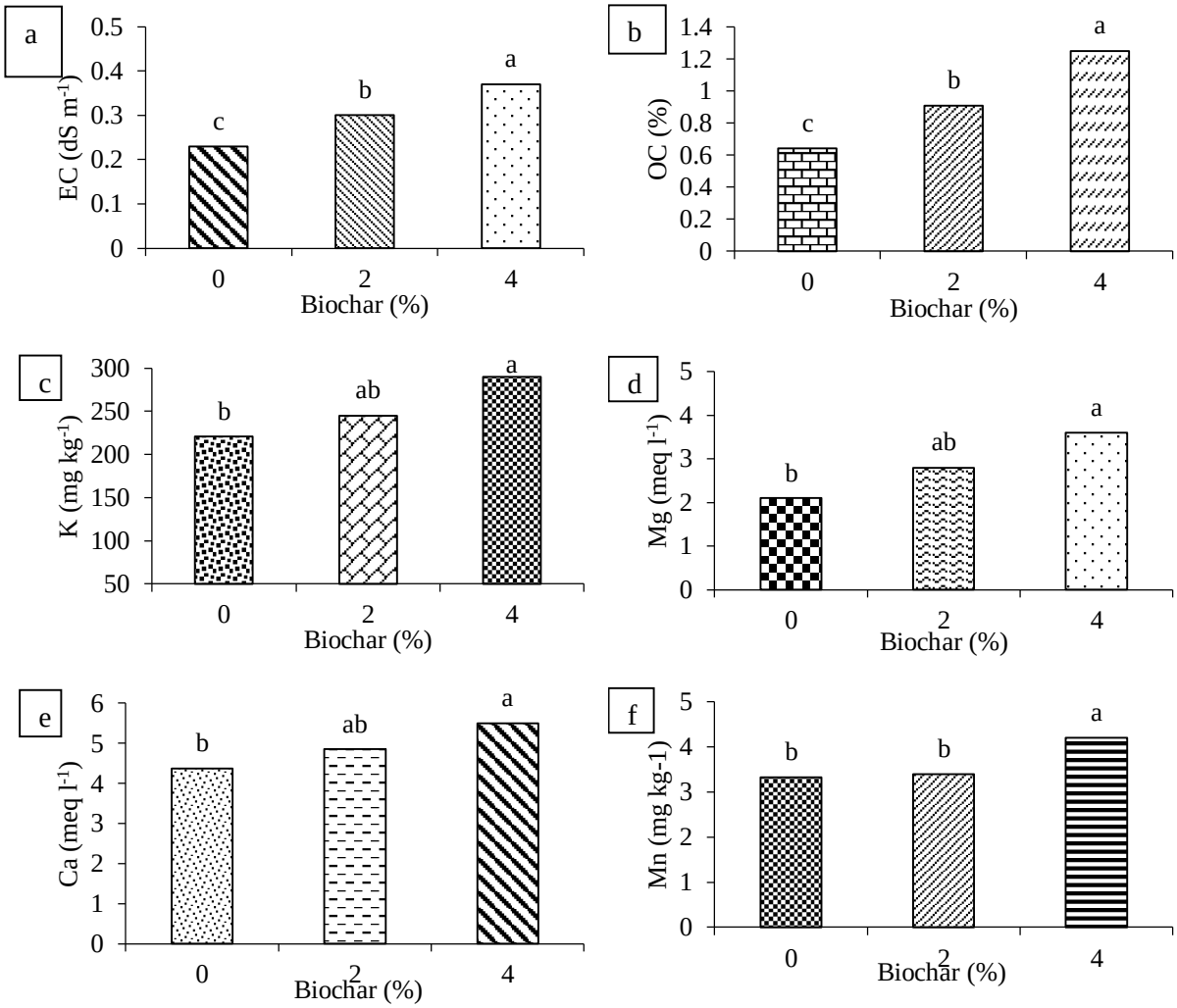
** ، * و ns به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح یک، پنج درصد و غیر معنی‌دار

**, *, ns: Significantly difference at 1, 5% probability levels and non-significant, respectively.

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج مقایسه میانگین به روش دانکن در سطح پنج درصد نشان داد که کاربرد دو و چهار درصد زغال زیستی در خاک، EC خاک را نسبت به تیمار شاهد افزایش داد (به ترتیب۲۹/۲ و ۵۸/۶ درصد افزایش نسبت به شاهد) (شکل ۱a). درصد OC خاک با اضافه کردن دو و چهار درصد زغال زیستی به طور معنی‌داری افزایش یافت و تیمار چهار درصد بالاترین درصد را دارا بود (شکل ۱b). اضافه کردن چهار درصد زغال زیستی توانست پتاسیم قابل جذب، Ca، Mg و Mn نسبت به شاهد را به ترتیب۳۱/۲، ۲۵/۸، ۷۱/۴ و ۲۷/۳ درصد افزایش دهد. با این وجود تیمار دو درصد زغال زیستی تفاوت معنی‌داری در این پارامترها نسبت به شاهد ایجاد نکرد (شکل ۱c، ۱d، ۱e و ۱f).



شکل ۱- تأثیر زغال زیستی بر EC (a)، OC (b)، K (c)، Mg (d)، Ca (e) و Mn (f) خاک

Figure1. Effect of biochar on EC (a), OC (b), K (c), Mg (d), Ca (e) and Mn (f) in soil

میانگین‌های با حرف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد هستند.

Means followed by the same letter are not significantly different at 5% level.

نتایج تحقیقات مختلف حاکی از آن است که کاربرد زغال زیستی در خاک، خصوصیات شیمیایی خاک از قبیل pH، EC و عناصر قابل جذب را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Farrell *et al.*, 2013; Karami *et al.*, 2011). مشابه با نتایج این تحقیق، نجفی قیری (Najafi ghiri, 2015) گزارش کرد که با مصرف زغال زیستی در خاک، کربن آلی خاک، EC، پتاسیم قابل جذب افزایش یافت اما فسفر و روی در خاک تحت تأثیر قرار نگرفت. با این وجود دیوبند هفشجانی و همکاران (Divband hafshejani *et al.*, 2016) بیان داشتند که با کاربرد زغال زیستی باگاس نیشکر، فسفر قابل جذب افزایش داشته است. نیگاسی و همکاران (Nigussie *et al.*, 2012) و مستو و همکاران (Masto *et al.*, 2013) گزارش کردند که کاربرد زغال زیستی در خاک باعث

www.SID.ir

Archive of SID

افزایش pH، EC، OC و فسفر قابل جذب شد. آن‌ها افزایش عناصر در خاک را به افزایش pH و افزوده شدن مستقیم عناصر توسط زغال زیستی نسبت دادند. بهشتی و همکاران (Beheshti *et al.*, 2014) بیان داشتند که احتمالا به دلیل اثر زغال زیستی بر pH خاک و رسوب فسفر به شکل فسفات‌های کلسیم در خاک، فسفر خاک با گذشت زمان کاهش یافته است. با این وجود الزوبیر و همکاران (Elzobair *et al.*, 2016) تغییر اندک در pH خاک‌های آهکی با اضافه کردن زغال زیستی را مربوط به خاصیت بافری شدید این خاک‌ها دانستند.

نتایج تأثیر تیمارها بر گیاه همیشه بهار

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر کاربرد زغال زیستی بر محتوای کلروفیل برگ، قطر گل، قطر ساقه و غلظت فسفر در گیاه در سطح یک درصد معنی‌دار بود. همچنین کاربرد زغال زیستی اثر معنی‌داری در سطح پنج درصد بر زمان گلدهی و غلظت کلسیم در گیاه داشت (جدول ۳). کاربرد قارچ میکوریز تأثیر معنی‌داری بر محتوای کلروفیل، قطر گل، سطح برگ، قطر ساقه و غلظت فسفر داشت. اثر متقابل سطح زغال زیستی و قارچ میکوریز بر تمام صفات ارزیابی شده به جز وزن خشک گل و غلظت منیزیم معنی‌دار بود (جدول ۳).

شاخص‌های مرفوفیزیولوژیک همیشه بهار

پارامترهای رویشی:

کلروفیل: نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد همزمان قارچ میکوریز و زغال زیستی توانست باعث افزایش معنی‌دار محتوای کلروفیل برگ نسبت به شاهد شود. کاربرد همزمان قارچ میکوریز و چهار درصد وزنی زغال زیستی دارای بالاترین محتوای کلروفیل بود (افزایش ۲۸/۱ درصدی و معنی‌دار نسبت به شاهد) و نسبت به کاربرد مجزای هر کدام از این تیمارها افزایش معنی‌دار نشان داد. هیچکدام از سطوح زغال زیستی بدون حضور قارچ میکوریز نتوانستند کلروفیل برگ را نسبت به شاهد به طور معنی‌دار افزایش دهند (جدول ۴).

قطر گل: نتایج مقایسه میانگین برهمکنش قارچ و زغال زیستی نشان داد که تیمار کاربرد توام چهار درصد زغال زیستی و قارچ میکوریز دارای بالاترین قطر گل بود و نسبت به کاربرد مجزای هر کدام از این تیمارها افزایش معنی‌داری نشان داد. تیمار زغال زیستی هم در حضور قارچ و هم در عدم حضور آن افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان می‌دهد (جدول ۴).

ارتفاع گیاه: نتایج مقایسات میانگین نشان داد که تنها کاربرد همزمان قارچ میکوریز و چهار درصد زغال زیستی توانست ارتفاع گیاه را نسبت به شاهد افزایش دهد (۱۸/۶ درصد افزایش نسبت به شاهد). این در حالی است که کاربرد همزمان این دو تیمار نسبت به کاربرد مجزای آنها تفاوت معنی‌داری نداشت. دیگر تیمارها چه به صورت مجزا و چه به صورت توام نتوانستند افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد منجر شوند (جدول ۴).

سطح برگ: نتایج جدول ۴ نشان داد که بالاترین سطح برگ در تیمار کاربرد همزمان قارچ و چهار درصد زغال زیستی وجود داشت که نسبت به شاهد، ۵/۴ درصد افزایش نشان داد. این تیمار نسبت به کاربرد چهار درصد زغال زیستی به تنهایی نیز افزایش معنی‌دار نشان داد.

قطر ساقه: نتایج مقایسه میانگین برهمکنش قارچ و زغال زیستی نشان داد که تنها کاربرد همزمان قارچ میکوریز و چهار درصد زغال زیستی توانست قطر ساقه را نسبت به شاهد و تیمار مجزای هر کدام از آن‌ها به طور معنی‌داری افزایش دهد (۳۷/۲ درصد افزایش در تیمار کاربرد همزمان قارچ میکوریز و چهار درصد زغال زیستی نسبت به شاهد) و سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری با شاهد از نظر قطر ساقه نداشتند (جدول ۴).

زمان لازم تا گلدهی: نتایج نشان داد که تمام تیمارها باعث کاهش معنی‌دار در تعداد روز تا گلدهی نسبت به شاهد شدند (جدول ۴).

وزن خشک گیاه: نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تیمارها نشان داد که تیمار کاربرد همزمان قارچ میکوریز و دو درصد زغال زیستی و همچنین تیمار کاربرد همزمان قارچ میکوریز و چهار درصد زغال زیستی باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک گیاه نسبت به شاهد (به ترتیب افزایش ۶/۸ و ۲۰/۷ درصدی نسبت به شاهد) و تیمارهای مجزای آنها شد. دیگر تیمارها نتوانستند افزایش معنی داری در وزن گیاه را موجب شوند (جدول ۴).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۳- آنالیز واریانس پارامترهای اندازه‌گیری شده در گیاه همیشه بهار تحت تأثیر زغال زیستی، قارچ میکوریز و برهمکنش آنها

Table 3. Variance analysis of evaluated parameters in calendula (*Calendula officinalis L.*), under the influence of biochar, mycorrhizal fungi and their interaction

Source of Variation	df	Mean Square											
		Chlorophyll Index (Spad Value)	Flower diameter	PlantHeight	Leaf Area	Flower Dry Weight	Stem Diameter	Time to Flowering	Plant Dry Weight	P	K	Ca	Mg
Biochar rate (B)	2	22.3**	1.17**	4.6^{ns}	111^{ns}	0.0003^{ns}	0.910**	1554*	0.290^{ns}	0.030**	0.340^{ns}	0.120*	0.040^{ns}
Mycorrhizal Fungi (MF)	1	230**	0.290**	16.0^{ns}	3574**	0.00005^{ns}	2.51**	296^{ns}	0.240^{ns}	0.016**	0.160^{ns}	0.110^{ns}	0.170^{ns}
B×MF	2	33.13**	0.260**	22.2*	2459**	0.00001^{ns}	1.08**	2724**	1.33*	0.008**	0.810*	0.110*	0.400^{ns}
Error	12	2.94	0.020	5.56	354	0.0002	0.130	384	0.250	0.001	0.140	0.020	0.106
Coefficient of Variation (CV) %		4.70	3.07	8.30	3.29	14.1	12.2	15.2	16.9	8.23	14.1	6.80	2.99

**, *, ^{ns}: Significantly difference at 1, 5% probability levels and non-significant, respectively.

**، * و ^{ns} به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح یک، پنج درصد و غیر معنی‌دار

www.SID.ir

Archive of SID

غلظت برخی عناصر ماکرو در گیاه

غلظت فسفر گیاه: نتایج جدول ۴ نشان داد که تنها تیمار دو درصد زغال زیستی نتوانست غلظت فسفر را در گیاه افزایش دهد و سایر تیمارها منجر به افزایش معنی-دار در غلظت فسفر نسبت به شاهد شدند. بیشترین غلظت فسفر در تیمار کاربرد همزمان قارچ و چهار درصد زغال زیستی مشاهده شد که نسبت به شاهد ۶۷/۸ درصد افزایش نشان می‌دهد که این افزایش معنی‌دار بود.

غلظت پتاسیم: نتایج نشان داد که بیشترین غلظت پتاسیم با کاربرد قارچ میکوریز و چهار درصد زغال زیستی به دست آمد که افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد (۳۷ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد). سایر تیمارها اثر معنی‌داری بر غلظت پتاسیم گیاه نداشتند (جدول ۴).

غلظت کلسیم: تمام تیمارهای زغال زیستی و قارچ میکوریز، غلظت Ca را نسبت به شاهد افزایش دادند (جدول ۴). این در حالی است که با کاربرد توام قارچ و سطوح مختلف زغال زیستی نسبت به تیمار مجزای هر کدام از آن‌ها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.

جدول۴- مقایسه میانگین برهمکنش زغال زیستی و قارچ میکوریز بر صفات مورد ارزیابی در گل همیشه بهار

Table 4. Mean comparison of interaction of biochar and mycorrhizal fungi on evaluated traits of calendula (*Calendula officinalis L.*)

Fungi	Biochar (%)	Chlorophyll Index	Flower diameter	Plant Height	Leaf Area	Stem Diameter	Time to Flowering	Plant Dry Weight	P	K	Ca
		Spad Value	cm in plant		cm^2 in plant	mm	day	g	%	%	%
non-Mycorrhizal Fungi	0	34.2cd	4.27d	25.3b	562b	2.77b	159a	2.93b	0.280e	2.27b	1.97b
	2	32.3d	4.63c	28.7ab	557b	2.80b	124 b	2.67b	0.310de	2.76ab	2.34a
	4	31.6d	5.10b	27.7ab	561b	2.90b	114b	2.93b	0.460ab	2.71ab	2.45a
Mycorrhizal Fungi	0	37.1bc	4.46cd	29.0ab	579ab	2.90b	124b	2.73b	0.380bc	2.59ab	2.45a
	2	38.6b	4.90b	28.3ab	579ab	3.10b	131b	3.10a	0.340cd	2.61ab	2.35a
	4	43.8a	5.40a	30.0a	592a	3.80a	118b	3.50a	0.470a	3.11a	2.44a

میانگین‌های با حرف مشترک در هر ستون فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد می‌باشد.

Means with the same letter in each column were not significantly different at $p < 0.05$.

غلظت منیزیم: نتایج آنالیز واریانس و مقایسات میانگین نشان داد که هیچکدام از تیمارها چه به صورت جداگانه و چه به صورت کاربرد همزمان تأثیر معنی‌داری بر غلظت Mg گیاه نداشتند (جدول ۳).

غلظت برخی عناصر میکرو در گیاه

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثر برهمکنش زغال زیستی و قارچ میکوریز بر غلظت Fe در اندام هوایی در سطح پنج درصد و بر غلظت Zn در اندام هوایی گیاه همیشه بهار در سطح یک درصد معنی‌دار بود. این در حالی است که برهمکنش زغال زیستی و قارچ میکوریز اثر معنی‌داری بر غلظت Mn در اندام هوایی نداشت. همچنین نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثر زغال زیستی بر غلظت سه عنصر Fe، Zn و Mn در سطح یک درصد معنی‌دار بود اما قارچ میکوریز فاقد اثر معنی‌دار بر غلظت این عناصر بود (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین کاربرد همزمان زغال زیستی و قارچ میکوریز نشان داد که تنها کاربرد چهار درصد زغال زیستی به همراه قارچ میکوریز منجر به افزایش معنی‌دار غلظت آهن نسبت به شاهد شد (۱۸/۸ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد) و سایر تیمارها نتوانستند اثر معنی‌داری بر غلظت Fe داشته باشند (شکل ۲a). نتایج مقایسات میانگین حاکی از این بود که تیمارهای کاربرد چهاردرصد زغال زیستی به تنهایی و همچنین کاربرد همزمان چهار درصد زغال زیستی و قارچ میکوریز توانست غلظت روی را در اندام هوایی گیاه نسبت به شاهد به ترتیب ۱۳/۷ و ۱۹/۵ درصد افزایش دهد. این در حالی است که بین تیمار چهار درصد زغال زیستی و تیمار چهار درصد زغال زیستی+قارچ میکوریز تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری نسبت به شاهد از نظر غلظت روی نشان ندادند (شکل ۲b).

www.SID.ir

Archive of SID

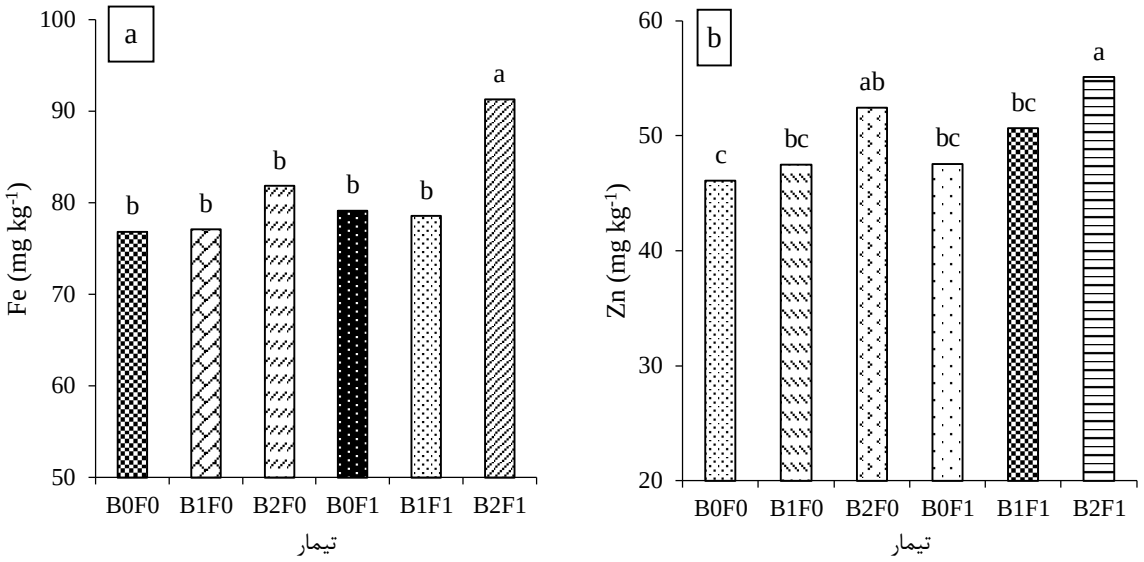
جدول۵- آنالیز واریانس غلظت عناصر میکرو در گیاه همیشه بهار تحت تأثیر زغال زیستی، قارچ میکوریز و برهمکنش آنها

Table 5. Variance analysis of concentration of microelements in calendula (*Calendula officinalis L.*), under the influence of biochar, mycorrhizal fungi and their interaction.

Source of Variation	Df	Mean Square		
		Fe	Zn	Mn
Biochar rate (B)	2	449.62**	199.4**	279.09**
Mycorrhizal Fungi (MF)	1	261.36ns	58.07ns	42.67ns
B×MF	2	278.29*	175.15**	6.22ns
Error	12	67.86	24.59	34.67
Coefficient of Variation(CV)		10.2	9.9	6.6

**، * و ns به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح یک، پنج درصد و غیر معنی‌دار

**, *, ns: Significantly difference at 1, 5% probability levels and non-significant, respectively.



شکل۲- تأثیر برهمکنش زغال زیستی و قارچ میکوریز بر غلظت آهن (a) و روی (b) در گیاه همیشه بهار

Figure 2. Effect of interaction of biochar and mycorrhizal fungi on Fe (a) and Zn concentration (b) of calendula (*Calendula officinalis L.*)

(B0، B1 و B2 به ترتیب کاربرد صفر، دو و چهار درصد زغال زیستی؛ F0 و F1 به ترتیب کاربرد و عدم کاربرد قارچ میکوریز)

(B0, B1 and B2: application of 0, 2 and 4% biochar; F0 and F1: non inoculation and inoculation with mycorrhizal fungi respectively)

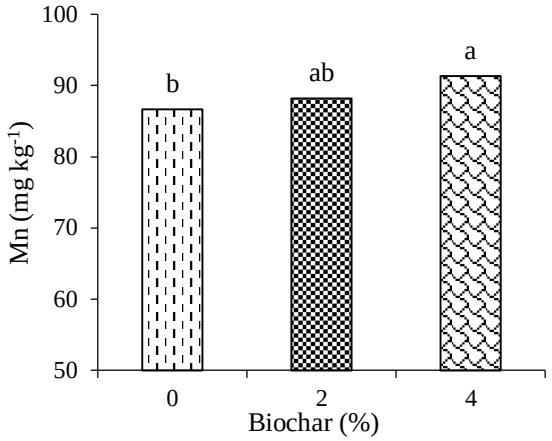
میانگین‌های با حرف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد هستند.

Means followed by the same letter are not significantly different at 5% level.

نتایج مقایسه میانگین اثر زغال زیستی بر غلظت Mn به روش دانکن در سطح پنج درصد نشان داد که کاربرد چهار درصد زغال زیستی منجر به افزایش معنی‌دار Mn نسبت به شاهد شد (۵/۴ درصد افزایش نسبت به شاهد) در حالی که کاربرد دو درصد زغال زیستی تفاوت معنی-داری نسبت به تیمار شاهد و چهار درصد زغال زیستی نشان نداد (شکل۳).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۳- تأثیر سطوح مختلف زغال زیستی بر غلظت منگنز در همیشه بهار

Figure 3. Effect of different levels of biochar on Mn concentration of calendula (*Calendula officinalis L.*)

استفاده از اصلاح کننده‌های آلی می‌تواند با بهبود شرایط محیط رشد گیاه باعث افزایش رشد و عملکرد گیاه و همچنین افزایش جذب عناصر غذایی در شرایط کمبود شود. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که تلقیح همزمان قارچ میکوریز و زغال زیستی توانست پارامترهای رشدی از قبیل وزن خشک، سطح برگ، ارتفاع گیاه، قطر گل و محتوای کلروفیل را نسبت به شاهد به طور معنی‌دار افزایش دهد. در سال‌های اخیر برخی مطالعات نشان داده است که زغال زیستی به عنوان یک اصلاح کننده در خاک‌های فقیر از نظر مواد غذایی می‌تواند باعث تحریک رشد گیاه و دستیابی به عملکرد مناسب شود (Ahmad *et al*., 2015; Asai *et al*., 2009). اضافه کردن زغال زیستی در خاک‌های فقیر از نظر عناصر تغذیه‌ای باعث افزایش فتوسنتز و رشد گیاه (Koirala & Jha, 2013) و بیومس گیاهی (Gul *et al*., 2013) شده است. این در حالی است که زینال و همکاران (Zainul *et al*., 2017) گزارش کردند که با کاربرد یک و نیم درصد زغال زیستی هیچ تغییری در مقدار SPAD که بیانگر محتوای کلروفیل است نسبت به شاهد مشاهده نشد. مشابه با نتایج این تحقیق زینال و همکاران (Zainul *et al*., 2017) بیان کردند که وزن تر و خشک ساقه، ریشه و سطح برگ با اضافه کردن زغال زیستی افزایش معنی‌دار داشت. افزایش سطح برگ نسبت به ضخامت برگ و تعداد برگ می‌تواند موجب افزایش سطح فعال فتوسنتزی شود (Enrique *et al*., 2016). حیدر و همکاران (Haider *et al*., 2015) نیز گزارش کردند که با کاربرد زغال زیستی عملکرد ذرت در دو رژیم رطوبتی (تنش و عدم تنش) افزایش یافت. آنها بیان داشتند که کاربرد زغال زیستی باعث افزایش سرعت انتقال الکترون و فتوسیستمII و در نتیجه تحریک فتوسنتز شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که تیمار چهار درصد زغال زیستی و قارچ میکوریز به صورت مجزا به ترتیب باعث افزایش ۶۴/۳ و ۳۵/۷ درصدی در غلظت فسفر نسبت به شاهد شد. علاوه بر این کاربرد زغال زیستی به تنهایی غلظت کلسیم را در گیاه افزایش داد. به نظر می‌رسد زغال زیستی به کار رفته با توجه به نتایج آنالیز زغال زیستی، باعث اضافه شدن مقداری از عناصری غذایی از قبیل فسفر، پتاسیم و کلسیم به خاک شده است. علاوه بر این ممکن است بخشی از این عناصر از فاز آلی وارد فاز معدنی شده و در نتیجه برای گیاه قابل دسترس شده باشند. همچنین این احتمال وجود دارد که زغال زیستی به طور غیر مستقیم و از طریق ترکیباتی مانند اسیدهای آلی بر فراهمی عناصر تأثیر گذاشته باشد. برآیند کلی این مکانیسم‌ها در نهایت منجر به افزایش غلظت برخی عناصر و شاخص‌ها از قبیل محتوای کلروفیل شد (He *et al*., 2014). علاوه بر این کاربرد چهار درصد زغال زیستی منجر به افزایش غلظت Zn و Mn نسبت به شاهد شد که با نتایج Novak *et al*., 2009 همخوانی نداشت.

تیمار کاربرد همزمان قارچ میکوریز و چهار درصد زغال زیستی منجر به افزایش معنی‌دار غلظت پتاسیم در اندام هوایی گیاه شد. زینال و همکاران (Zainul *et al*., 2017)

www.SID.ir

Archive of SID

گزارش کردند کـه غلظـت پتاسـیم شاخسـاره در تیمـار زغال زیستی بالاترین مقـدار بـود. آنهـا همچنـین بیـان کردند که کاربرد زغال زیستی، محتوای کلسـیم بـرگ را افزایش داده ولی بر غلظت کلسیم شاخه و ریشه تـأثیری نداشـت. اشـمیت و همکـاران (Schmidt *et al*., 2014) بیان کردند که زغال زیستی با افـزایش محتـوای عناصـر در خاک به گیاهان این امکان را می‌دهد که نسبت طول ریشه به وزن ریشـه را کـاهش داده و در نتیجـه نسـبت ساقه به ریشه افزایش یابد و با این فعالیـت سـطح فعـال فتوسنتزی گیاه افزایش یابد. بنابراین گیاه قادر اسـت بـا بهبود فراهمی عناصر غذایی بیومس خود را افزایش دهد. در حالی که در گیاه شاهد کـه بـا زغـال زیسـتی تیمـار نشده به دلیل پایین‌تـر بـودن محتـوای عناصـر غـذایی، بیشتر بیومس گیاهی صرف تولید و توسعه ریشه شـده و تولید اندام هوایی کاهش یافت. تولید بیومس در گیاهان تابع جذب عناصر از محیط رشد و انتقال آنهـا بـه سـاقه مـی‌باشـد (Schmidt *et al*., 2014). در سـیکل خشـک شدن خاک، تغییر در سطح آب خاک می‌تواند بر جـذب پتاسـیم، کلسـیم و منیـزیم مـوثر باشـد (Nguyen & Marshner, 2005). زغال زیسـتی مـی‌توانـد بـه عنـوان محلی برای انجام تبادلات یونی ایفای نقش کند و مقـدار زیادی از کاتیون‌ها را باند کند (Chan *et al*., 2007) و از این طریق منبعی برای نگهـداری عناصـری از قبیـل K^{+}، Ca^{2+} و Mg^{2+} باشـد. کـاربرد دو و چهـار درصـد زغـال زیستی تأثیری بر غلظت Mg نداشت که مشابه این نتایج توسط زینال و همکاران (Zainul *et al*., 2017) گـزارش شده است که بیان کردند کاربرد زغال زیسـتی محتـوای Mg ریشه و ساقه را افزایش نداد. نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد قارچ میکـوریز بـه تنهـایی باعـث افـزایش محتوای کلروفیل، سطح برگ، قطر ساقه و غلظت فسـفر در گیاهان تیمار شده نسبت به شاهد شد. میرانصـاری و همکاران (Miransari *et al*. 2007) گـزارش کردنـد کـه قارچ‌های میکوریز از طریق افزایش سطح جذب ریشـه و نفوذ به درون منافذ ریز خاک که غیر قابل دسترس برای ریشه گیاه می‌باشد، رشد و عملکرد گیاهان را به واسـطه افزایش جذب آب و عناصر غـذایی ضـروری بـرای گیـاه افزایش می‌دهند. تعاملات پیچیده فسفر با خـاک بـه دو صورت جذب سطحی و رسوب فسفات‌های کلسیم، آهن و آلومینیم می‌باشد. در مورد خاک‌های ایـران کـه غالبـاً آهکی می‌باشند واکـنش فسـفات بـا خـاک تحـت تـأثیر وجود کربنات کلسیم می‌باشد که این واکنش در غلظت-های کم به صورت جذب سطحی مقادیر اندکی از یـون-های فسفات در مکان‌های ویژه جذبی در سطح کلسـیت می‌باشد. در غلظت‌های بالا ایـن واکـنش‌هـا بـه صـورت رسوب می‌باشد. برخی اثر مثبت قارچ میکوریز را ناشی از افزایش حلالیت فسفر توسط این میکروارگانیسم‌ها بیـان کرده‌اند (Rouphael *et a*l., 2015). افزایش جذب عناصر غذایی به ویژه فسفر می‌توانـد بـه دلیـل کـاهش غلظـت بحرانی عنصر غذایی مورد نظر (Nadeem *et al*., 2014)، افزایش حجم خاک در دسترس ریشه گیـاه و همچنـین افزایش سطح ویژه ریشه گیاه (Shirmardi *et al*., 2010) باشـد. محمـد و همکـاران (Mohammad *et al*. 2003) گـزارش کردنـد کـه تلقـیح گیاهـان بـا قـارچ میکـوریز آربسـکولار، وزن خشـک و ارتفـاع گیـاه را افـزایش داد. غلظت فسفر در گیاهان تلقـیح شـده بـا قـارچ میکـوریز نسبت به گیاهان تلقیح نشده بالاتر بود که با یافتـه‌هـای این تحقیق همخوانی دارد. همچنین آنها گزارش کردنـد غلظت پتاسیم گیاه با کاربرد تیمار قارچ میکوریزی دچار تغییر معنی‌داری نشد که با نتایج تحقیق حاضر مطابقـت داشت. تلقیح گیاهان با قارچ میکوریز نتوانست منجر بـه افزایش غلظت عناصـر Fe، Zn و Mn نسـبت بـه شـاهد شود که با نتایج شـیرمردی و همکـاران (Shirmardi *et al*., 2010) همخوانی داشت. کاربرد همزمان چهار درصد زغال زیستی و قارچ میکوریز منجر به افـزایش معنـی‌دار غلظت Fe و Zn نسبت به شاهد شـد و ایـن امـر بیـانگر برهمکنش مثبت بین قارچ میکوریز و زغال زیستی بـود. به نظر می‌رسد که کاربرد زغال زیستی و قـارچ میکـوریز بتواند باعث بهبود پارامترهـای رشـدی و تغذیـه‌ای گیـاه همیشه بهار شود.

نتیجه‌گیری کلی

نتـایج مطالعـه حاضـر نشـان داد کـه اسـتفاده از قـارچ میکوریز و همچنین زغال زیسـتی تهیـه شـده از بقایـای حاصل از هرس درختان هلو، اثر مثبت و معنـی‌داری بـر شاخص‌های رشدی و تغذیه برخی از عناصر داشت. نتایج این مطالعه همچنین نشان داد که کاربرد همزمان چهـار درصد زغال زیستی بقایای هـرس درختـان هلـو و قـارچ میکـوریز، منجـر بـه افـزایش معنـی‌دار شـاخص‌هـای

www.SID.ir

Archive of SID

کلروفیل، قطر گل، قطر ساقه و وزن خشک اندام هوایی نسبت به کاربرد مجزای این تیمارها و همچنین شاهد شد. با این وجود کاربرد زغال زیستی و قارچ میکوریز به تنهایی نیز اثرات مثبت و معنی‌داری بر شاخص‌های رشدی مانند قطر ساقه و گل، کلروفیل و غلظت فسفر داشتند. نکته حائز اهمیت آن است که مقدار زغال زیستی مصرفی در اثربخشی آن تأثیر غیر قابل انکاری داشت و کاربرد چهاردرصد زغال زیستی توانست بسیاری از ویژگی‌های اندازه‌گیری شده را به طور معنی‌دار افزایش دهد در حالی که تیمار کاربرد دو درصد زغال زیستی اینگونه نبود. کاربرد چهاردرصد زغال زیستی توانست برخی از عناصر ضروری برای گیاه از قبیل K، Ca و Mg در خاک را افزایش دهد ولی تأثیری بر فسفر قابل جذب نداشت. به نظر می‌رسد که با توجه به پایین بودن محتوای کربن آلی در خاک‌های ایران به ویژه خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک، کاربرد مقدار مناسب زغال زیستی حاصل از ضایعات بخش کشاورزی، بتواند ضمن کاهش مسائل زیست محیطی ناشی از آتش زدن این ضایعات، اثرات مثبتی بر رشد و تغذیه گیاهان داشته باشد. در نهایت پیشنهاد می‌شود مقرون به صرفه بودن استفاده از زغال زیستی و امکان جایگزینی آن با کودهای آلی رایج، در مطالعات آتی مورد توجه قرار گیرد.

References

Ahmad N. 2015. Soil water management systems for a drier Caribbean. *CARDI Review*, 16: 34-53.

Akbari P., Ghalavand A., and Modarres Sanavi S.A.M. 2009. Effects of Different Nutrition Systems (Organic, Chemical and Integrated) and Biofertilizer on Yield and Other Growth Traits of Sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Agriculture Science*, 1: 83-93. (In Persian)

Asai H., Samson B.K., Stephan H.M., Songyikhangsuthor K., Homma K., Kiyono Y., Inoue Y., Shiraiwa T., and Horie T. 2009. Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos. 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. *Field Crops Research*, 111: 81–84.

Baldock J.A., and Smernik R.J. 2002. Chemical composition and bioavailability of thermally altered Pinus resinosa (red pine) wood. *Organic Geochemistry*, 33: 1093–1109.

Beheshti M., Alikhani H., and Motesharezadeh B. 2014. Study of the effect of biochar and vermicompost on soil available phosphorus. M.Sc. thesis. Soil science department. University of Tehran. Iran, 147p.

Bolan N.S., Robson A.D., and Barrow N.J. 1987. Effect of VAM on the availability of iron phosphates to plants. *Plant Soil*, 99: 401–410.

Bouyoucos C.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. *Agronomy Journal*, 54: 464-465.

Bradl H.B. 2004. Adsorption of heavy metal ions on soils and soils constituents. *Journal of Colloid and Interface Science*, 277: 1-18.

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

Cheng C.H., Lehmann J., Thies J.E., and Burton, S.D. 2008. Stability of black carbon in soils across a climatic gradient. *Journal of Geophysical Research,* 113: 1-10.

Cottenie, A. 1980. Soil and Plant Testing and Analysis as a Basis of Fertilizer Recommendations (4th Ed.). FAO Soils Bulletin. 127p.

Divband Hafshejani L., Naseri A.A., Hooshmand A., Abbasi F., and Soltani Mohammadi A. 2016. Effect of Sugarcane Bagasse Biochar Application on Chemical Properties a Sandy Loam Soil. *Irrigation science and engineering*, 40: 63-72. (In Persian)

Douds J.R., and Millner P.D. 1999. Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems. Agriculture, *Ecosystems and Environment*, 74: 77-93.

Dutt S., Sharma S.D., and Kumar P. 2013. Arbuscular mycorrhizas and Zn fertilization modify growth and physiological behavior of apricot (*Prunus armeniaca* L.). *Scientia Horticulturae,* 155: 97-104.

Ehyaei M., and Behbahanizade A.A. 1991. Methods of Soil Chemical Analysis. Soil and Water Research Institute. Tehran. Iran. 983p.

www.SID.ir

Archive of SID

Elzobair K.A., Stromberger M.E., Ippolito J.A., and Lentz R.D. 2016. Contrasting effects of biochar versus manure on soil microbial communities and enzyme activities in an Aridisol. *Chemosphere*, 142: 145-152.

Enrique G., Olmo M., Poorter H., Ubera J.L., and Villar R. 2016. Leaf mass per area (LMA) and its relationship with leaf structure and anatomy in 34 Mediterranean woody species along a water availability gradient. *Plos one*, 2: 1-18.

Farrell M., Kuhn T.K., Macdonald L.M., Maddern T.M., Murphy D.V., Hall P.A., Singh B.P., Baumann K., Krull E.S., and Baldock J.A. 2013. Microbial utilisation of biochar derived carbon. *Science of the Total Environment*, 465: 288–297.

Forster P., Ramaswamy V., Artaxo P., Berntsen T., Betts R., Fahey D.W., Haywood J., Lean J., Lowe D.C., and Myhre G. 2007. Changes in atmospheric constituents and in radioactive forcing. *In*: Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K. B., Tignor M., and Miller H. L. (Eds.), Climate Change. Cambridge University Press. pp. 129-234.

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

Glaser B., and Birk J.J. 2012. State of the scientific knowledge on properties and genesis of Anthropogenic Dark Earths in Central Amazonia (terra preta de indio). *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 82: 39-51.

Guarda G., Padovan S., and Delogu G. 2004. Grain yield, nitrogen-use efficiency and baking quality of old and modern Italian bread-wheat cultivars grown at different nitrogen levels. *European Journal of Agronomy*, 21: 181– 192.

Gul B., Abideen Z., Ansari R., and Khan M.A. 2013. Halophytic biofuels revisited. *Biofuels*, 4: 575-577.

Gupta P. 1999. Soil, plant, water and Fertilizer Analysis (2nd Ed.). AgroBotanica, Bikaner, 438p.

Haider G., Koyro H., Azam F., Steffens D., Müller C., and Kammann C. 2015. Biochar but not humic acid product amendment affected maize yields via improving plant-soil moisture relations. *Plant and Soil*, 395: 141–157.

Haluschak P. 2006. Laboratory Methods of Soil Analysis. Canada-Manitoba soil survey, 133p.

He Z., He C., Zhang Z., Zou Z., and Wang H. 2007. Changes of antioxidative enzymes and cell membrane osmosis in tomato colonized by arbuscular mycorrhizae under NaCl stress. *Colloids Surf B: Biointerfaces*, 59: 128–33.

Johnson A.E., and Goulding K.W. 1990. The use of plant and soil analysis to predict the potassium supplying capacity of soil. *In*: Development of K-Fertilizer Recommendation, 22nd Colloquium of international potassium institute, pp. 153-180

Karami N., Clemente R., Jimenez E.M., Lepp N.W., and Beesley L. 2011. Efficiency of green waste compost and biochar soil amendments for reducing lead and copper mobility and uptake to ryegrass. *Journal of Hazardous Materials*, 191: 41–48.

Koirala U., and Jha S. 2013. Macrophytes of the lowland wetlands in Morang district. *Nepalese Journal of Biosciences*, 1: 131-139.

Kothari S.K., Marschner H., and Romheld V. 1991. Contribution of the VA mycorrhizal hyphae in acquisition of phosphorus and zinc by maize grown in a calcareous soil. *Plant and Soil*, 131: 177–185.

Lehmann J., and Joseph S. 2009. Biochar for environmental management: Science and Technology (3rd Ed.). Earthscan. 438p.

Lehmann J., Skjemstad J.O., Sohi S., Carter J., Barson M., Falloon P., Coleman K., Woodbury P., and Krull E. 2008. Australian climate-carbon cycle feedback reduced by soil black carbon. *Nature Geoscience*, 1: 832–835.

Lindsay W.L., and Norvell W.A. 1978. Development of a DTPA soil testor zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42: 421–428.

Masto R.E., Kumar S., Rout T.K., Sarkar P., George J., and Ram L.C. 2013. Biochar from water hyacinth (Eichornia crassipes) and its impact on soil biological activity. *Catena*, 111: 64–71.

www.SID.ir

Archive of SID

Miransari M., Bahrami H.A., Rejali F., Malakouti M.J., and Torabi H. 2007. Using arbuscular mycorrhiza to reduce the stressful effects of soil compaction on corn (*Zea mays* L.) growth. *Soil Biology and Biochemistry*, 39: 2014-2026.

Mohammad M.J., Malkawi H.I., and Shibli R. 2003. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus fertilization on growth and nutrient uptake of barley grown on soils with different levels of salts. *Journal of Plant Nutrition*, 26: 125–137.

Mojtabavi K., and Darzi M.T. 2018. Effects of vermicompost and nitroxin application on flower yield, yield components and essential oil quality of marigold (*Calendula officinalis* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 33: 1034-1036. (In Persian)

Murphy J., and Riley J.P. 1962. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*. 27: 31–36.

Nadeem S.M., Ahmad M., Zahir Z.A., Javaid A., and Ashraf M. The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop productivity under stressful environments. *Biotechnology Advances*, 32: 429-448.

Najafi ghiri M. 2015. Effect of different biochars on some soil characteristics and availability of some nutrient elements in a calcareous soil. *Journal of soil research*, 29: 351-358. (In Persian)

Namgay T., Singh B., and Singh B. P. 2010. Influence of biochar application to soil on the availability of As, Cd, Cu, Pb, and Zn to maize (*Zea mays*). *Australian Journal of Soil Research*, 48: 638-647.

Nguyen B.T., and Marschner P. 2005. Effect of drying and rewetting on phosphorus transformations in red brown soils with different soil organic matter content. *Soil Biology and Biochemistry*. 37: 1573-1576.

Nigussie A., Endalkachew K., Mastawesha M., and Gebermedihin A. 2012. Effect of biochar application on soil properties and nutrient uptake of Lettuces (*Lactuca sativa*) grown in chromium polluted soils. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science*, 12: 369–376.

Novak J.M., Busscher W.J., Laird D.L., Ahmedna M., Watts D.W., and Niando M.A.S. 2009. Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern coastal plain soil. *Soil Science*, 174: 105–112.

Rhodas L. H., and Gerdemann J. W. 1980. Nutrient translocation in VAM. In: C. B. Cooks, P. W. Pappas and E. D. Rudolp (Eds), Cellular Interactions in Symbiosis and Parasitism Ohio State University Press. pp.173-234.

Richards L.A. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. Agriculture Handbook 60, USDA, Washington DC. 154p.

Rouphael Y., Franken P., Schneider C., Schwarz D., Giovannetti M., Agnolucci M., De Pascale S., Bonini P., and Colla G. 2015. Arbuscular mycorrhizal fungi act as biostimulants in horticultural crops. *Scientia Horticulturae*, 196: 91–108

Schmidt H.P., Kammann C., Niggli C., Evangelou M.W., Mackie K.A., and Abiven S. 2014. Biochar and biochar-compost as soil amendments to a vineyard soil: Influences on plant growth, nutrient uptake, plant health and grape quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 191: 117-123.

Sharifi M., Mohtashamian M., Riyahi H., Aghaiy A., and Alavii S.M. 2010. The Effects of the Vesicular-Arbascular Mychorrizal (VAM) Fungus Glumos etunicatum on growth and some physiological parameters of Basil. *Journal of Medicinal Plants*, 38: 85-94. (In Persian)

Shirmardi M., Savaghebi G.R., Khavazi K., Akbarzadeh A., Farahbakhsh M., Rejali F., Sadat A. 2010. Effect of microbial inoculants on uptake of nutrient elements in two cultivars of sunflower (*Helianthus annuus* L.) in saline soils. *Notulae Scientia Biologicae*, 2: 57–66.

Sinclair K., Slavich P., van Zwieten L., and Downie A. 2008. Productivity and nutrient availability on a Ferrosol: biochar, lime and fertiliser. In: Proceedings of 14th Australian Agronomy Conference, 21-25 Sep., Adelaide, South Australia, pp. 119-122.

Singh B., Singh B.P., and Cowie A.L. 2010. Characterisation and evaluation of biochars for their application as a soil amendment. *Soil Research*, 48: 516-525.

Smith S.E., and Gianinazzi P. 1988. Physiological interaction between symbionts in VA-mycorrhizal plants. *Annual Review of Plant Biology*, 39: 221–224.

www.SID.ir

Archive of SID

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

Stark C., Condron L.M., Stewart A., Di H.J., and Ocallaghan M. 2007. Influence of organic and mineralamendments on microbial soil properties and processes. *Applied Soil Ecology*, 35: 79-93.

Tate R.L. 2000. Soil Microbiology. John Wily and Sons. New York, USA. 508p.

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

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

Vessey J.K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant Soil*, 255: 571–586.

Walkley A., and Black I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37: 29-38.

Watanabe F.S., and Olsen S.R. 1965. Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO3 extracts from soil. *Soil Science Society of America, Proceedings*, 29: 677-678.

Winsley P. 2007. Biochar and bioenergy production for climate change mitigation. *New Zealand Science Review*, 64: 5-10.

Zainul A., Hans-Werner K., Bernhard H., Bilquees G., and Ajmal K.M. 2017. Impact of a Biochar or a Compost-Biochar Mixture on Water relation, Nutrient uptake and Photosynthesis of Phragmites karka. *Pedosphere*, from https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60362-X.

Zhang L., Sun X.Y., Tian Y., and Gong X.Q. 2013. Effects of brown sugar and calcium superphosphate on the secondary fermentation of green waste. *Bioresource Technology*, 131: 68–75.

www.SID.ir

Archive of SID

Effect of Biochar and Mycorrhizal Fungi on the Growth Characteristics and Nutrition of Calendula *(Calendula Officinalis* L.*)*

Ehsan Karimi[1], Mostafa Shirmardi[2*], Maryam Dehestani Ardakani[3], Mojtaba Karimi[4], Jalal Gholamnezhad[3]

(Received: December 2018 Accepted: Jun 2019)

Abstract

Application of Mycorrhizal Fungi (MF) and biochar can increase water and nutrient uptake in the rooting zone and thus improve crop production. A factorial experiment with completely randomized design with three replications was conducted to investigate the effects of biochar (0, 2 and 4% w/w) and MF (non-inoculation and inoculation with MF) on the morphophysiological characteristics and concentration of elements in calendula (*Calendula officinalis* L.) in greenhouse condition. The biochar was passed through a sieve of 2 mm and mixed with soil. The application of mycorrhizal fungi was done by direct contact with the root of plant. After six months, the morphophysiological characteristics and the concentration of some macro and micro elements in shoot were measured. The results showed that with simultaneous application of 4% biochar and mycorrhizal fungi increased chlorophyll, flower diameter, plant height, leaf area, stem diameter, plant dry weight and concentration of P, K, Ca and Fe compared to control, significantly. Zn concentration increased in 4% biochar treatment and simultaneous use of 4% biochar and mycorrhizal fungui compared to the control significantly (13.7 and 19.5% respectively). The application of 4% biochar caused a significant increase in Mn concentration compared to the control (91.3 against 86.6 $mg.kg^{-1}$), while the application of 2% biochar has not a significant difference with control and 4% biochar treatments. The results of the effect of adding biohar to soil after plant growth period showed that available K, Ca, Mg and Mn increased with addition of 4% biochar by 22.2, 18.2, 43.6 and 15.2%, respectively. However, 2% biochar treatment had no significant effect on these soil parameters compared to control. It seems that application of these materials can improve availability of nutrients and plant growth parameters by improving plant growth conditions and affect crop production.

Keywords: Biochar, Biofertilizer, Organic amendments, Plant nutrition, Macro elements

Karimi E., Shirmardi M., Dehestani Ardakani M., Karimi M., Gholamnezhad J. 2020. Effect of biochar and mycorrhizal fungi on the growth characteristics and nutrition of calendula *(Calendula Officinalis* L.*). Applied Soil Research*. 8(2):112-128.

1. Former MSc Student, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Ardakan University
2. Assistant Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Ardakan University (Corresponding Author)
3. Assistant Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Ardakan University
4. Assistant Professor, Department of Agronomy, Agriculture Faculty, Shahrekord University
* Corresponding Author Email: shirmardi@ardakan.ac.ir

www.SID.ir