Arcnive of SID

اثر کود فسفر و ترکیب‌های هیدروکسید دوگانه لایه‌ای بر پایه بیوچار و هیدروچار بر ماده خشک و غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم گیاه ذرت

یاسر عظیم زاده [۱]، نصرت اله نجفی [۲*]، عادل ریحانی تبار [۳]، شاهین اوستان [۴] و علیرضا ختائی [۵]

۱. دانشجوی دکتری علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، ایران
۲. دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، ایران
۳. دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، ایران
۴. استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، ایران
۵. استاد گروه شیمی کاربردی، دانشکده شیمی، دانشگاه تبریز، ایران

تاریخچه مقاله

دریافت:۱۳۹۷/۰۵/۰۱

پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۰۹/۱۲

کلمات کلیدی:

بیوچار،

ذرت

فسفر،

کربنیزه‌شدن،

هیدروچار،

هیدروکسید دوگانه لایه‌ای

* عهده‌دار مکاتبات

Email: n-najafi@tabrizu.ac.ir

چکیده

بیوچار و هیدروچار مواد جامد کربنی هستند که از کربونیزه‌شدن زیست‌توده‌های آلی تولید می‌شوند. بیوچار با گرماکافت زیست‌توده‌های خشک اما هیدروچار با کربونیزه‌شدن گرمآبی زیست‌توده‌های خشک و یا مرطوب تولید می‌شود. در این پژوهش، بعد از تولید بیوچار و هیدروچار از چوب سیب، با ترسیب ذرات هیدروکسید دوگانه لایه‌ای (LDH) بر روی سطوح بیوچار و هیدروچار، به‌ترتیب ترکیب‌های LDH-بیوچار و LDH-هیدروچار ساخته شد و هر گرم از این ترکیب‌ها به‌ترتیب با ۵۱ و ٤٧ (میلی‌گرم فسفر بارگذاری شد (LDH-P-بیوچار و LDH-P-هیدروچار). سپس با استفاده از یک آزمایش گلخانه‌ای به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با ۳ تکرار، اثر بیوچار، هیدروچار، LDH، LDH-بیوچار، LDH-هیدروچار، LDH-P-بیوچار و LDH-P-هیدروچار در حضور و عدم حضور کود مونوکلسیم فسفات بر وزن شاخساره و ریشه خشک، غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم شاخساره و غلظت فسفر و پتاسیم ریشه ذرت بررسی شد. نتایج نشان داد که بیوچار نسبت به هیدروچار دارای درصد عملکرد و خاکستر، pH و EC بیشتری بود و غلظت عناصر مورد بررسی به‌جز نیتروژن در بیوچار بیشتر از هیدروچار بود. با مصرف کود فسفر در خاک، وزن شاخساره و ریشه خشک در تمام سطوح اصلاحگر به‌جز LDH-P-بیوچار و LDH-P-هیدروچار نسبت به تیمار بدون اصلاحگر افزایش یافت. بیشترین وزن شاخساره و ریشه خشک گیاه در تیمارهای LDH-P-بیوچار و LDH-P-هیدروچار و کم‌ترین وزن شاخساره و ریشه خشک در حضور LDH به‌دست آمد. مصرف کود فسفر در حضور LDH-بیوچار و LDH-هیدروچار باعث افزایش معنادار غلظت فسفر شاخساره و ریشه ذرت شد اما بر غلظت

www.SID.ir

Archive of SID

نیتروژن و پتاسیم شاخساره اثر معنادار نداشت و غلظت پتاسیم ریشه را در حضور بیوچار و LDH-بیوچار و در شاهد کاهش داد. بیشترین غلظت فسفر شاخساره و ریشه و بیشترین غلظت نیتروژن شاخساره در دو تیمار LDH-P-بیوچار و LDH-P-هیدروچار مشاهده شد. کود فسفر با بیوچار، هیدروچار، LDH-بیوچار و LDH-هیدروچار در افزایش وزن شاخساره و ریشه خشک و غلظت فسفر شاخساره و ریشه گیاه برهم‌کنش هم‌افزایی ولی با LDH، LDH-P-بیوچار و LDH-P-هیدروچار برهم‌کنش ناهمسازی داشت. بنابراین، مصرف بیوچار، هیدروچار، LDH-بیوچار و LDH-هیدروچار به‌همراه کود فسفر و ترکیب‌های LDH-P-بیوچار و LDH-P-هیدروچار بدون مصرف کود فسفر برای کشت ذرت در شرایط مشابه می‌تواند پیشنهاد شود.

مقدمه

منابع معدنی کودهای فسفری (سنگ فسفات) منابعی تجدیدناپذیر بوده و در جهان رو به اتمام است. از طرف دیگر، فسفر یک عنصر غذایی ضروری برای گیاهان محسوب می‌شود و با افزایش روزافزون جمعیت جهان و افزایش تقاضا برای تولید محصولات کشاورزی، نیاز به این عنصر غذایی در کشاورزی روزبه‌روز در حال افزایش است (۶). بنابراین، با اتمام منابع سنگ‌های فسفاتی جهان در سال‌های آینده، استفاده از منابع جایگزین برای تولید کودهای فسفر اهمیت ویژه‌ای خواهد داشت. هر سال مقدار بسیار زیادی فسفر از طریق پساب‌های کشاورزی، صنعتی و شهری وارد محیط زیست شده و منجر به آلودگی محیط زیست و مختل شدن بوم‌نظام‌های آبی می‌شود. فسفر موجود در این آب-های حاوی فسفر را می‌توان بازیابی و دوباره مورد استفاده قرار داد (۴۵). تاکنون روش‌های مختلفی برای بازیابی فسفر از آب‌های آلوده استفاده شده‌اند که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به روش جذب سطحی اشاره کرد. با این حال، بسیاری از جاذب‌های پیشنهاد شده به-علت‌های مختلف از جمله کارایی کم، گران بودن و دشواری بازیابی و استفاده مجدد، در عمل چندان مورد توجه قرار نگرفته‌اند (۶ و ۴۵). در سال‌های اخیر، بیوچار و هیدروچار[1] به‌عنوان جاذب‌های ارزان، دوست‌دار محیط زیست و با کارایی قابل‌قبول برای حذف انواع آلاینده‌ها از آب مورد توجه قرار گرفته‌اند (۳۹). بیوچار ماده جامد سیاه‌رنگ کربنی است که از حرارت دادن زیست‌توده خشک در شرایط اکسیژن کم و یا بدون اکسیژن در دمای ۴۰۰ تا ۷۰۰ درجه سلسیوس و طی فرآیندی به‌نام گرماکافت[2] تولید می‌شود (۳۸). هیدروچار، یک ماده جامد قهوه‌ای با ویژگی‌هایی مشابه لیگنایت[3] می‌باشد که از حرارت دادن زیست‌توده خشک و یا مرطوب در داخل یک سامانه بسته، در حضور یک مایع (عمدتاً آب)، در فشار ۱۰ تا ۳۰ بار و دمای ۱۸۰ تا ۲۳۰ درجه سلسیوس در طی فرآیندی به‌نام کربونیزه‌شدن گرمآبی (HTC[4]) تولید می‌شود (۸). تاکنون بیوچار و هیدروچار برای حذف آلاینده‌های آنیونی و کاتیونی از آب مورد استفاده قرار گرفته‌اند (۳۹) اما به‌علت غالب بودن بار منفی در سطوح آن‌ها، کارایی چندانی در جذب آنیون‌ها ازجمله فسفات ندارند (۴۵). با این حال، در چند سال اخیر پژوهشگران با استفاده از روش‌های مختلف و با ایجاد تغییراتی در سطوح بیوچار و هیدروچار توانسته-اند ظرفیت آن‌ها را برای جذب آنیون‌ها از جمله فسفات

1- Biochar and hydrochar
2- Pyrolysis
3- Lignite
4- Hydrothermal carbonization, HTC

www.SID.ir

Archive of SID

افزایش دهند. به‌عنوان مثال، ژانگ و همکاران[1] (۴۹)، لی و همکاران[2] (۲۲) و وان و همکاران[3] (۴۲) با تولید ذرات هیدروکسید دوگانه لایه‌ای (LDH[4]) بر روی سطوح کربنی بیوچار و هیدروچار، ترکیب‌های LDH-بیوچار و LDH-هیدروچار تولید کرده و نتایج موفقیت‌آمیزی از مصرف این ترکیب‌ها در حذف آنیون‌ها از جمله فسفات از آب گزارش کرده‌اند. LDHها ورقه‌های هشت‌وجهی شبه‌بروسیت با آنیون یا اکسی‌آنیون بین‌لایه‌ای می‌باشند که به‌علت داشتن بارهای مثبت زیاد، توانایی زیادی در جذب آنیون‌ها و اکسی‌آنیون‌ها دارند (۱۳). وان و همکاران (۴۲) گزارش کردند که ترکیب‌های LDH-بیوچار و LDH-هیدروچار بعد از جذب فسفر از آب، به‌علت داشتن مقدار نسبتاً زیاد فسفر می‌توانند به‌عنوان کود فسفر مورد استفاده قرار گیرند. بنابراین، با استفاده از LDH-بیوچار و LDH-هیدروچار می‌توان از یک طرف فسفر را از آب‌های آلوده جذب کرد و از طرف دیگر جاذب‌های بارگیری‌شده با فسفر را به‌عنوان کود فسفر به خاک اضافه کرد. با این کار علاوه بر بازیابی فسفر از آب و استفاده مجدد آن در خاک، بیوچار و هیدروچار به‌عنوان مواد کربنی با پایداری و اثر باقی‌مانده زیاد به خاک افزوده شده و کربن آلی خاک نیز افزایش می‌یابد. با توجه به نقش کربن آلی خاک در کیفیت خاک و تولید پایدار محصولات کشاورزی، توصیه شده است از بیوچار و هیدروچار برای افزایش ذخیره کربن آلی خاک و بهبود حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاهان استفاده شود (۱ و ۳۱). بیوچار و هیدروچار با بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک، نقش مؤثری در افزایش حاصلخیزی خاک و افزایش رشد گیاه دارند. به‌عنوان مثال، یوزوما و همکاران[5] (۴۱) افزایش حاصلخیزی خاک و رشد گیاه ذرت با مصرف بیوچار در خاک را گزارش کردند.

1- Zhang *et al.*
2- Li *et al.*
3- Wan *et al.*
4- Layered double hydroxide
5- Uzoma *et al.*

علاوه‌بر آن، تبدیل زیست‌توده به هیدروچار و به‌ویژه بیوچار باعث ترسیب کربن[6] اتمسفر می‌شود (۱۶). بیوچار و هیدروچار می‌توانند با افزایش پایداری خاکدانه‌های خاک، ظرفیت نگهداری رطوبت خاک را افزایش دهند (۱) و با افزایش تخلخل و تهویه خاک، مانع از تشکیل و انتشار گازهای گلخانه‌ای از جمله متان، اکسید نیتروژن و دی‌اکسید کربن شوند. همچنین، به‌علت سطح ویژه و ظرفیت تبادل کاتیونی نسبتاً زیاد، می‌توانند عناصر غذایی را در خاک نگهداری و از آبشویی و هدرروی آن‌ها جلوگیری کرده (۱۹) و پویایی آلاینده‌ها را در خاک کاهش دهند. بدین ترتیب، بیوچار و هیدروچار می‌توانند با بهبود ویژگی‌های خاک، کارایی مصرف عناصر غذایی و کودها را افزایش دهند (۱۶ و ۳۱). کمبود ماده آلی در اغلب خاک‌های زراعی کشور ایران موجب کاهش کارایی کودهای شیمیایی در خاک شده و کشاورزان برای جلوگیری از کاهش عملکرد محصول به ناچار میزان مصرف کودهای شیمیایی عناصر غذایی پرمصرف ازجمله نیتروژن، فسفر و پتاسیم را افزایش می‌دهند. نیتروژن، فسفر و پتاسیم به‌عنوان عناصر غذایی پرمصرف نقش اساسی در تغذیه و عملکرد گیاهان زراعی دارد (۱۴). با این حال، نتایج پژوهش‌های بلندمدت نشان می‌دهد که استفاده بیش از حد از کودهای شیمیایی باعث افزایش آلودگی خاک و آب، تخریب خاک و به‌هم خوردن تعادل ریزجانداران و گیاهان بومی خاک و تعادل عناصر غذایی قابل‌جذب گیاه در خاک شده و عملکرد گیاهان زراعی را کاهش می‌دهد (۱۲). بنابراین، با توجه به خطرهای زیست‌محیطی ناشی از مصرف زیاد کودهای شیمیایی و هزینه‌های زیاد آن‌ها، بهتر است بخشی از کودهای شیمیایی با کودهای آلی جایگزین شود. بر همین اساس، امروزه پژوهشگران مصرف تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی را توصیه می‌نمایند (۱۴ و ۳۰). برای مثال، احمدی‌نژاد و همکاران (۲) و جوانمرد و همکاران (۱۴) نشان دادند که مصرف توأم

6- Carbon sequestration

www.SID.ir

Archive of SID

کودهای آلی و شیمیایی بیشترین تأثیر را بر افزایش رشد و عملکرد به‌ترتیب گندم و ذرت داشت.

ذرت از لحاظ میزان تولید در جهان بعد از گندم رتبه دوم و از لحاظ سطح زیر کشت بعد از گندم و برنج جایگاه سوم را دارد. این محصول مهم‌ترین ماده غذایی دنیا بعد از گندم و برنج محسوب می‌شود. در کشور ایران به‌دلیل آهکی و قلیایی بودن بیشتر خاک‌ها و رایج بودن تنش کم‌آبی، فسفر در خاک با کلسیم واکنش داده و به شکل‌های کم‌محلول تبدیل شده و از دسترس گیاه خارج می‌شود (۴۸). با توجه به اینکه ذرت یک گیاه پرنیاز می‌باشد، با کمبود فسفر قابل‌جذب گیاه ذرت در خاک، عملکرد آن کاهش می‌یابد. بنابراین، کمبود فسفر یکی از عوامل مهم محدودکننده کشت ذرت در ایران است (۴۸). در حالی‌که بیوچار و هیدروچار می‌تواند با افزایش کربن آلی و بهبود ویژگی‌های خاک، به‌طور مستقیم و غیرمستقیم فراهمی عناصر غذایی از جمله نیتروژن، فسفر و پتاسیم را افزایش داده و رشد گیاه را بهبود دهد (۳۱). به‌عنوان مثال، گزارش شده است که با مصرف بیوچار تولید شده از کود دامی در خاک، جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم به‌وسیله گیاه ذرت افزایش یافت (۴۱).

ریشه گیاه به‌علت برهم‌کنش مستقیم با عناصر، ریزجانداران و انواع ترکیب‌های آلی و معدنی در خاک، نقش تعیین‌کننده‌ای در رشد و عملکرد گیاه دارد. عناصر غذایی مورد نیاز گیاه ابتدا به‌وسیله ریشه‌های آن از خاک جذب و سپس به شاخساره منتقل و در اندام‌های مختلف گیاه توزیع می‌شود (۲۴). بنابراین، با بررسی تغییرات غلظت عناصر غذایی در ریشه و شاخساره گیاه می‌توان اطلاعات مفیدی از وضعیت تغذیه گیاه به‌دست آورد. با این حال، تاکنون اثر ترکیب‌های LDH-بیوچار و LDH-هیدروچار و همچنین اثر بیوچار و هیدروچار بر غلظت عناصر غذایی در ریشه و شاخساره گیاه ذرت بررسی نشده است. بنابراین، هدف از این پژوهش بررسی اثر ترکیب‌های LDH-بیوچار بارگیری‌شده با فسفر (LDH-P-بیوچار)، LDH-هیدروچار بارگیری‌شده با فسفر (LDH-P-هیدروچار)، LDH-بیوچار، LDH-هیدروچار، بیوچار، هیدروچار و LDH بر وزن شاخساره و ریشه خشک، غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم شاخساره و غلظت پتاسیم و فسفر ریشه ذرت در حضور و عدم حضور کود فسفر بود.

مواد و روش‌ها

تولید مواد و ترکیب‌های مورد استفاده در این پژوهش

زیست‌توده مورد استفاده برای تولید بیوچار و هیدروچار شامل ضایعات چوب حاصل از هرس درختان سیب از یک باغ در شهرستان میاندوآب در استان آذربایجان غربی تهیه شد.

برای تولید بیوچار و هیدروچار، ابتدا زیست‌توده چوب سیب به ذرات حدود ۲ تا ۵ میلی‌متر خرد و هواخشک شد. سپس با آب مقطر و آب دیونیزه شسته شده و در داخل آون در دمای ۶۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۴۸ ساعت خشک شد. برای تولید بیوچار، زیست‌توده در حضور جریان گاز آرگون در دمای ۶۰۰ درجه سلسیوس، با متوسط سرعت افزایش دمای ۱۰ درجه سلسیوس بر دقیقه و به‌مدت یک ساعت گرماکافت آهسته شد (۴۳). برای تولید هیدروچار از رآکتور کربونیزه‌شدن گرمآبی استفاده شد (۳۶). برای این کار، ۲۰ گرم از زیست‌توده به‌همراه ۵۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر به درون مخزن رآکتور با قطر و ارتفاع به‌ترتیب ۱۰ و ۴۰ سانتی‌متر ریخته و درب آن محکم بسته شد. سپس مخلوط زیست‌توده و آب در دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس و در فشار ۱۱ اتمسفر به‌مدت ۱۲ ساعت حرارت داده شد (کربونیزه‌شدن گرمآبی). سرعت متوسط افزایش دمای درون مخزن تا رسیدن به دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس برابر با ۱۰ درجه سلسیوس بر دقیقه بود. بعد از اتمام واکنش با استفاده از کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ بخش جامد هیدروچار از بخش مایع آن جدا شد (۴۹).

www.SID.ir

Archive of SID

برای تولید ترکیب‌های LDH-بیوچار و LDH-هیدورچار، مقدار ۱۰ گرم بیوچار و یا هیدروچار به ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول حاوی ۰/۰۳ مول کلرید منیزیم و ۰/۰۱ مول کلرید آلومینیم افزوده شد و pH آن با استفاده از محلول ۱ مولار هیدروکسید سدیم به ۱۰ رسانده شد. سپس تعلیق‌های[1] به‌دست آمده در دمای ۸۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۳ روز مسن‌سازی[2] شدند و سپس نمک‌های اضافی با استفاده از آب مقطر شسته شدند (۴۲ و ۴۹). برای تولید LDH یک محلول حاوی کلرید منیزیم و کلرید آلومینیم با نسبت مولی Mg:Al برابر ۳:۱ زیر اتمسفر N_2 به یک محلول حاوی هیدروکسید سدیم افزوده شد و pH آن با استفاده از محلول ۱ مولار هیدروکسید سدیم به ۱۰ رسانده شد. سپس نمک‌های اضافی شسته شدند و تعلیق باقی‌مانده، در دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۲۴ ساعت در شرایط گرمآبی قرار داده شد (۲۶). ترکیب‌های LDH، LDH-بیوچار و LDH-هیدروچار تولید شده بعد از خشک شدن در دمای ۸۰ درجه سلسیوس در داخل آون، خرد شده و ازدو الک ۰/۵ و ۱ میلی‌متر عبور داده شد و از ذرات با اندازه ۰/۵ تا ۱/۰ میلی‌متر برای آزمایش استفاده شد (۵۰).

تعیین ویژگی‌های زیست‌توده، بیوچار و هیدروچار تولید شده

عملکرد بیوچار و هیدروچار از رابطه (۱) محاسبه شد (۸):

$$Y\ (\%)=(M_c/M_b)\times 100 \qquad (۱)$$

که در آن، Y، M_c و M_b به‌ترتیب درصد عملکرد، وزن آون‌خشک بیوچار یا هیدروچار بر حسب گرم و وزن آون‌خشک زیست‌توده بر حسب گرم می‌باشد. برای اندازه‌گیری درصد خاکستر، ۵ گرم از نمونه آون‌خشک زیست‌توده، بیوچار و یا هیدروچار در داخل کروزه چینی ریخته شد و در داخل کوره الکتریکی به‌مدت ۶ ساعت در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس حرارت داده شد. بعد از خنک شدن تا دمای اتاق، بوته دوباره به‌دقت توزین و درصد خاکستر زیست‌توده، بیوچار و هیدروچار از رابطه (۲) محاسبه شد(۸):

$$Ash\ (\%)=(M_a/M_c)\times 100 \qquad (۲)$$

که در آن، M_a و M_c به‌ترتیب وزن خاکستر و وزن آون‌خشک زیست‌توده، بیوچار و یا هیدروچار بر حسب گرم می‌باشد. برای تعیین pH و EC از نسبت ۱:۲۰ (آب مقطر):(ماده خشک زیست‌توده، بیوچار یا هیدروچار) (۸) و به‌ترتیب از pHسنج HANNA مدل pH209 و ECسنج RS232 مدل 8301 استفاده شد. برای تعیین غلظت عناصر فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، سدیم، آهن، منگنز، مس و روی در زیست‌توده، بیوچار و هیدروچار از روش هضم خشک استفاده شد (۸). نمونه‌های هضم‌شده از کاغذ صافی عبور داده شدند و غلظت سدیم و پتاسیم عصاره‌ها با دستگاه فلیم‌فتومتر مدل CORNING 410، فسفر با روش اسید آسکوربیک و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل SU6100 ساخت شرکت Philler Scientific آمریکا (۲۹) و غلظت کلسیم، منیزیم، آهن، منگنز، مس و روی با استفاده از دستگاه طیف‌سنج جذب اتمی مدل AA-6300Shimadzu, ژاپن اندازه‌گیری شد. غلظت نیتروژن زیست‌توده، بیوچار و هیدروچار با روش کجلدال (۱۵) تعیین شد.

بارگذاری فسفر بر روی ترکیب‌های LDH-بیوچار و LDH-هیدروچار

برای بارگذاری فسفر بر روی ترکیب‌های LDH-بیوچار و LDH-هیدروچار، ۰/۱ گرم از هر ترکیب در داخل یک ارلن‌مایر ۱۰۰ میلی‌لیتری به ۵۰ میلی‌لیتر محلول ۰/۰۳ مولار کلرید پتاسیم حاوی ۲۰۰ میلی‌گرم فسفر بر لیتر افزوده شد و pH اولیه محلول با استفاده از محلول‌های ۰/۱ مولار هیدروکسید سدیم و اسیدکلریدریک در ۳ تنظیم شد. سپس تعلیق‌ها به‌مدت ۲ ساعت با ۱۷۰ دور در دقیقه تکان داده شدند و با استفاده

1- Suspension
2- Aging

www.SID.ir

Archive of SID

از فیلترهای سرسرنگی با منافذ ۰/۲ میکرون صاف و غلظت فسفر در محلول به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر مدل SU6100 ساخت شرکت Philler Scientific آمریکا، به‌روش اسید آسکوربیک تعیین شد (۲۲). هریک از ترکیب‌های LDH-P-بیوچار و LDH-P-هیدروچار به‌اندازه بیشترین ظرفیت جذب با فسفر بارگذاری شدند؛ به‌طوری‌که یک گرم از ترکیب‌های LDH-P-بیوچار و LDH-P-هیدروچار به‌ترتیب با ۵۱ و ۴۷ میلی‌گرم فسفر بارگذاری شدند.

آزمایش گلخانه‌ای

اثر بیوچار، هیدروچار، LDH، LDH-بیوچار، LDH-هیدروچار، LDH-P-بیوچار و LDH-P-هیدروچار بر وزن شاخساره و ریشه خشک ، غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم شاخساره و غلظت فسفر و پتاسیم ریشه ذرت با استفاده از یک آزمایش گلخانه‌ای به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با ۳ تکرار بررسی شد. فاکتورهای آزمایش شامل هشت نوع ماده اصلاحگر افزوده شده به خاک شامل (بیوچار، هیدروچار، LDH، LDH-بیوچار، LDH-هیدروچار، LDH-P-بیوچار و LDH-P-هیدروچار و شاهد) و کود فسفر در ۲ سطح (صفر و ۸۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک) بود. خاک مورد مطالعه از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری یک مزرعه در ایستگاه تحقیقات کشاورزی خلعت‌پوشان دانشگاه تبریز (N″15.1′01°38 و E″18.8′25°46) نمونه‌برداری شد و برخی از ویژگی‌های آن با استفاده از روش‌های استاندارد متداول (۵ و ۳۲) تعیین شد (جدول ۱). این خاک آهکی بود و کمبود فسفر و مواد آلی داشت. دو کیلوگرم از خاک مذکور با ۲۰ گرم از بیوچار، هیدروچار، LDH، LDH-بیوچار، LDH-هیدروچار، LDH-P-بیوچار و LDH-P-هیدروچار مخلوط و به داخل گلدان‌های ۵ کیلوگرمی ریخته شد. سپس با استفاده از آب مقطر، رطوبت خاک به ظرفیت مزرعه‌ای رسانده و به‌مدت ۱۵ روزنگه‌داری شد. سپس کودهای نیتروژن، پتاسیم، آهن، منگنز، روی و مس به‌ترتیب به‌مقدار ۲۰۰، ۱۰۰، ۱۵، ۱۰، ۱۵ و ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌ترتیب از منابع اوره، سولفات پتاسیم، سولفات آهن، سولفات منگنز، سولفات روی و سولفات مس در داخل آب مقطر حل و به خاک هر گلدان افزوده و خوب مخلوط شد. کود فسفر از منبع مونوکلسیم فسفات ($Ca(H_2PO_4)_2.H_2O$) تهیه شده از شرکت مرک آلمان به‌صورت محلول در آب مقطر به تیمارهای دارای فسفر افزوده شد.

سپس ۸ عدد بذر جوانه‌دارشده ذرت (*Zea mays* L.) رقم سینگل کراس ۷۰۴ در هر گلدان کشت و بعد از ۱۰ روز به ۴ گیاه تنک شد. خاک همه گلدان‌ها با استفاده از آب مقطر، به‌روش وزنی آبیاری و در رطوبت ظرفیت مزرعه نگه داشته شد. ۱۰۰ روز پس از کاشت، گیاهان از محل طوقه قطع و ریشه‌ها به‌دقت از خاک هرگلدان جداسازی شد. سپس ریشه‌ها و شاخساره‌ها با استفاده از آب مقطر شسته و برای تعیین وزن ریشه و شاخساره خشک، در ۶۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۷۲ ساعت در آون تهویه‌دار خشک و سپس توزین شد. ریشه‌ها و شاخساره‌های خشک‌شده خرد و الک شد. برای تعیین غلظت فسفر و پتاسیم از روش خشک‌سوزانی و حل‌کردن خاکستر در اسید استفاده شد (۴۴).

غلظت فسفر و پتاسیم در عصاره‌های گیاهی با همان روش‌های مورد استفاده برای تعیین غلظت عناصر در زیست‌توده، بیوچار و هیدروچار تعیین شد. برای تعیین غلظت نیتروژن شاخساره گیاه از روش کجلدال (۱۵) استفاده شد. فاکتور انتقال به‌عنوان شاخصی از توانایی گیاه در انتقال عناصر از ریشه به شاخساره، از تقسیم غلظت عنصر در شاخساره به غلظت عنصر در ریشه گیاه تعیین شد (۲۱).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول (۱) برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه قبل از کاشت ذرت

Table (1) Some physical and chemical properties of the studied soil before the corn cultivation

ویژگی Property	مقدار Value	ویژگی Property	مقدار Value
بافت Soil texture	لوم شنی Sandy loam	فسفر قابل‌جذب Available-P (mg/kg)	4.8
طبقه‌بندی با Soil Taxonomy 2014	Fine, mixed, active, mesic TypicCalcixerepts	پتاسیم قابل‌جذب Available-K (mg/kg)	188
pH گل اشباع pH_e	7.59	آهن قابل‌جذب Available-Fe (mg/kg)	2.13
قابلیت هدایت الکتریکی ECe (dS/m)	2.57	روی قابل‌جذب Available-Zn (mg/kg)	0.65
کربنات کلسیم معادل Calcium carbonate equivalent (%)	30.7	مس قابل‌جذب Available-Cu (mg/kg)	0.56
کربن آلی Organic carbon (%)	0.79	منگنز قابل‌جذب Available-Mn (mg/kg)	7.3
نیتروژن کل Total N (%)	0.05		

مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. برای تحلیل آماری داده‌ها از نرم‌افزار SPSS و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

ترکیب شیمیایی زیست‌توده، بیوچار و هیدروچار مورد مطالعه

وزن خشک (عملکرد)، درصد خاکستر، pH و EC زیست‌توده، بیوچار و هیدروچار مورد بررسی در جدول ۲ ارائه شده است. بیوچار نسبت به هیدروچار دارای درصد عملکرد کمتر ولی درصد خاکستر بیشتری بود. گرماکافت و کربونیزه‌شدن گرمآبی با آبکافت و تجزیه سلولز، همی‌سلولز و بخشی از لیگنین، بخش زیادی از هیدروژن و اکسیژن را از ساختار زیست‌توده خارج می‌سازد. در نتیجه، ویژگی آروماتیکی کربن و پایداری ماده کربنی تولیدشده (بیوچار و هیدروچار) افزایش می‌یابد. علاوه‌بر آن، خروج بخش زیادی از اکسیژن و هیدروژن از ساختار زیست‌توده منجر به کاهش درصد عملکرد بیوچار و هیدروچار شده و با غلیظ شدن عناصر معدنی در بیوچار و هیدروچار، درصد خاکستر، pH و EC آن افزایش می‌یابد (۸). با توجه به اینکه در فرآیند گرماکافت نسبت به کربونیزه‌شدن گرمآبی از دمای بیشتری استفاده شد، احتمال دارد شدت فرآیندهای کربونیزه‌شدن در بیوچار بیشتر از هیدروچار بوده (۳۸) و منجر به خروج درصد بیشتری از هیدروژن و اکسیژن از ساختار زیست‌توده شده است. در نتیجه، درصد عملکرد بیوچار کمتر ولی درصد خاکستر، pH و EC آن بیشتر از هیدروچار شده است.

pH و EC بیشتر بیوچار نسبت به زیست‌توده و هیدروچار به غلظت بیشتر عناصر قلیایی در بیوچار مربوط می‌باشد در حالی‌که هیدروچار به‌علت غلظت کمتر عناصر قلیایی و وجود برخی ترکیب‌های اسیدی در ساختار خود غالباً دارای pH اسیدی می‌باشد و به‌علت غلظت کم یون‌ها، EC آن کمتر از بیوچار می‌باشد. کمتر بودن عملکرد و بیشتر بودن pH و درصد خاکستر در بیوچار نسبت به هیدروچار را پژوهشگران دیگر نیز قبلاً گزارش کرده‌اند (۳۱ و ۳۸).

غلظت عناصر مورد بررسی در زیست‌توده، بیوچار و هیدروچار مورد بررسی در جدول ۳ نشان داده شده است. غلظت همه عناصر مورد مطالعه به‌جز نیتروژن، در بیوچار بیشتر از زیست‌توده و هیدروچار بود.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول (۲) عملکرد، درصد خاکستر، pH و EC در زیست‌توده، بیوچار و هیدروچار مورد بررسی

Table (2) The yield, ash percentage, pH, and EC of the studied biomass, biochar, and hydrochar

EC (dS/m)	pH	Ash (%) خاکستر	Yield (g) عملکرد	
0.11^{b}	6.57^{b}	1.22^{c}	-	زیست‌تودهBiomass
0.19^{a}	9.52^{a}	7.53^{a}	23.1	بیوچارBiochar
0.08^{c}	5.84^{c}	1.45^{b}	55.1	هیدروچارHydrochar

اعداد با حروف لاتین مشابه در هر ستون با آزمون چنددامنه‌ای دانکن تفاوت معنادار ندارند ($p<0.05$).

Numbers followed by the same letters are not significantly different by Duncan multiple range test at $p<0.05$

جدول (۳) غلظت عناصر غذایی در زیست‌توده، بیوچار و هیدروچار تولید شده (mg/kg)

Table (3) Nutrient concentration in the biomass, biochar, and hydrochar (mg/kg)

Zn	Cu	Mn	Fe	Na	Mg	Ca	K	P	N	
132.0^{c}	75.4^{b}	3.99^{c}	333.3^{c}	328.7^{c}	461.0^{b}	1641.0^{b}	581.7^{c}	147.3^{c}	0.35^{a}	زیست‌تودهBiomass
275.2^{a}	421.7^{a}	23.0^{a}	906.8^{a}	1631.7^{a}	1008.6^{a}	5942.3^{a}	1777.3^{a}	395.0^{a}	0.16^{b}	بیوچارBiochar
235.2^{b}	88.3^{b}	9.74^{b}	454.1^{b}	393.3^{b}	463.1^{b}	1680.0^{b}	1140.0^{b}	178.7^{b}	0.36^{a}	هیدروچارHydrochar

اعداد با یک حرف لاتین مشابه در هر ستون با آزمون چنددامنه‌ای دانکن تفاوت معنادار ندارند ($p<0.05$).

Numbers followed by the same letters are not significantly different by Duncan multiple range test at $p<0.0$

افزایش غلظت عناصر در بیوچار نسبت به زیست‌توده به تغلیظ این عناصر در بیوچار در طی فرآیند گرماکافت مربوط می‌باشد که با خروج اکسیژن و هیدروژن از زیست‌توده و کاهش عملکرد در بیوچار تغلیظ شده‌اند (۳۸). کاهش غلظت نیتروژن در بیوچار نسبت به زیست‌توده و هیدروچار به‌علت خروج آن از ساختار زیست‌توده به‌صورت گاز در طی فرآیند گرماکافت می‌باشد. نیتروژن در دماهای بالا معمولاً به‌صورت گازهای اکسید نیتروژن و یا ترکیب‌های با وزن مولکولی کم از زیست‌توده خارج می‌شود. به‌عنوان مثال، گزارش شده است که در فرآیند تبدیل کود مرغی به بیوچار، با رسیدن دمای گرماکافت به ۴۰۰ درجه سلسیوس بیش از ۵۶ درصد نیتروژن کود مرغی به‌صورت گازهای N_2O، NO و NO_2 و یا به‌صورت ترکیب‌های آلی با وزن مولکولی کم از زیست‌توده خارج شد.

به‌همین علت پیشنهاد شده است که برای جلوگیری از هدرروی نیتروژن در بیوچار، از دماهای کمتری برای تولید بیوچار استفاده شود (۳۷).

یارگیکوغلو و همکاران[1] (۴۶) غلظت نیتروژن بیوچار تولید شده از چوب کاج در دمای ۶۰۰ درجه سلسیوس را برابر با ۰/۴ درصد گزارش کردند. بهشتی و علیخانی (۳) غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و سدیم در زیست‌توده کاه و کلش گندم را به‌ترتیب ۴/۷۳، ۱/۷۴، ۲/۴۳، ۱/۱۴، ۰/۷۶ و ۰/۵۲ گرم بر کیلوگرم گزارش کردند و نشان دادند که بعد از تبدیل زیست‌توده به بیوچار در دمای ۶۰۰ درجه سلسیوس، غلظت این عناصر در بیوچارهای تولید شده به‌ترتیب به ۴/۶۱، ۱/۹۸، ۲/۸۸، ۱/۹۳، ۱/۱۳ و ۰/۸۹ گرم بر کیلوگرم تغییر یافت.

اثر متقابل کود فسفر و نوع اصلاحگر افزوده شده به خاک بر وزن شاخساره و ریشه خشک ذرت

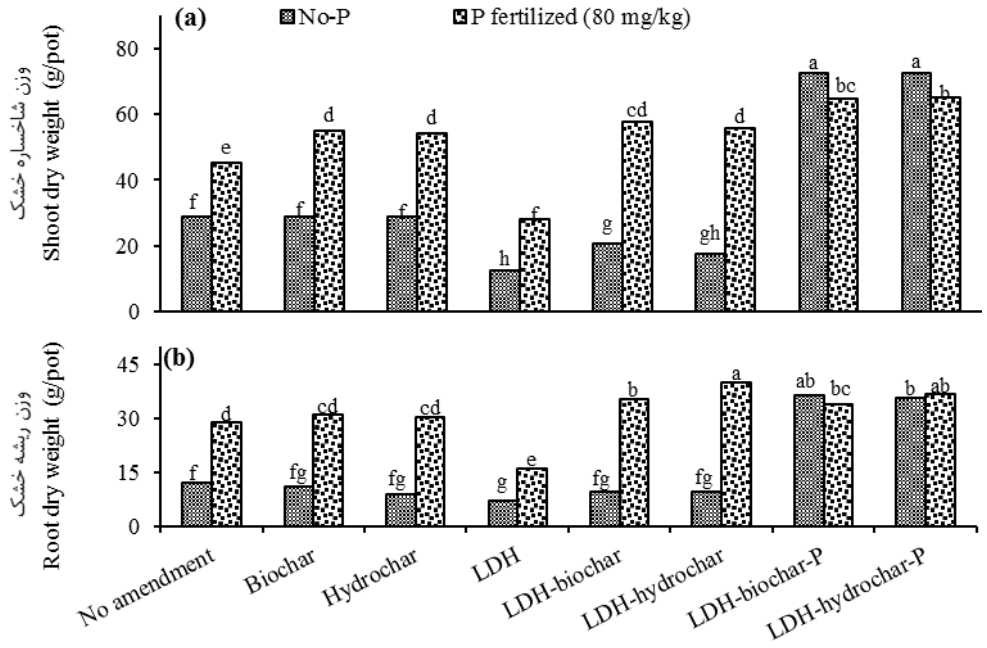
مقایسه میانگین‌های وزن شاخساره و ریشه خشک ذرت برای اثر متقابل کود فسفر و نوع اصلاحگر افزوده شده به خاک در شکل ۱ ارائه شده است.

نتایج نشان داد که با مصرف کود فسفر در خاک، وزن شاخساره و ریشه خشک در تمام سطوح اصلاحگر

1 -Yargicoglu *et al.*

www.SID.ir

Archive of SID



شکل (۱) مقایسه میانگین‌های ماده خشک شاخساره (a) و ریشه (b) ذرت برای اثر متقابل کود فسفر و نوع اصلاحگر افزوده شده به خاک

Figure (1) Means comparison of the shoot (a) and root dry matter (b) of corn for P-fertilizer × amendment interaction

به‌جز LDH-P–بیوچار و LDH-P–هیدروچار نسبت به تیمار بدون اصلاحگر افزایش یافت و وزن شاخساره و ریشه خشک در گلدان‌های حاوی LDH-P–بیوچار و LDH-P–هیدروچار نسبت به تیمار بدون اصلاحگر تفاوت معنادار نشان نداد و کود فسفر در حضور این دو اصلاحگر باعث کاهش وزن شاخساره خشک شد (شکل ۱). این نتایج نشان می‌دهد که درصورتی‌که به‌همراه بیوچار، هیدروچار، LDH، LDH–بیوچار و LDH–هیدروچار کود فسفر نیز به خاک افزوده شود می‌تواند رشد گیاه ذرت را افزایش داده و باعث افزایش ماده خشک آن شود اما در صورت مصرف LDH-P–بیوچار و LDH-P–هیدروچار نباید از کود فسفر استفاده شود زیرا بر رشد گیاه اثر منفی خواهد داشت.

این اثر منفی احتمالاً به‌علت زیادی فسفر و برهم خوردن تعادل عناصر غذایی در خاک و گیاه و اثرهای ناهمسازی[1] فسفر با برخی عناصر غذایی ازجمله عناصر غذایی کم‌مصرف می‌باشد. نعیم و همکاران[2] (۲۸) گزارش کردند که مصرف هم‌زمان کودهای NPK و بیوچار کلش گندم در افزایش رشد گیاه ذرت بسیار مؤثرتر از مصرف کودهای شیمیایی NPK و بیوچار به‌صورت تنها بود. شارما و همکاران[3] (۳۵) در یک آزمایش ۲ ساله در مزرعه نشان دادند که وزن شاخساره و ریشه خشک گندم با مصرف بیوچار چوب و کودهای شیمیایی NPK در خاک افزایش یافت؛ اما بیشترین مقدار با مصرف هم‌زمان بیوچار و NPK به‌دست آمد. برهم‌کنش‌های هم‌افزایی کود فسفر با بیوچار و هیدروچار به بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک به‌وسیله بیوچار و هیدروچار و برهم‌کنش هم‌افزایی کود فسفر با LDH، LDH–بیوچار و LDH–هیدروچار احتمالاً به نقش این ترکیب‌ها در جذب و نگهداری فسفر افزوده‌شده به خاک و جلوگیری از تثبیت آن در خاک مربوط می‌باشد (۲۰ و ۴۱). رونقی و همکاران (۳۴) گزارش

1-Antagonistic

2- Naeem *et al.*
3- Sarma *et al.*

www.SID.ir

Archive of SID

کردند که با مصرف ۸۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک، وزن شاخساره خشک ذرت به‌طور معنادار افزایش یافت.

در شرایط بدون مصرف کود فسفر، بیوچار و هیدروچار بر وزن شاخساره و ریشه خشک ذرت اثر معنادار نداشتند اما بعد از مصرف کود فسفر در خاک، بیوچار و هیدروچار وزن شاخساره خشک را نسبت به تیمار بدون اصلاحگر به‌طور معنادار افزایش دادند (شکل ۱) که احتمالاً به مقدار عناصر غذایی کم بیوچار و هیدروچار و همچنین به افزایش احتمالی نسبت C/N خاک مربوط می‌باشد. کلوس و همکاران[1] (۱۷) نشان دادند که بیوچار تولید شده از چوب به‌علت غلظت کم عناصر غذایی و افزایش نسبت C/N خاک، بر عملکرد خردل، جو و شبدر اثر معنادار نداشت. همچنین تامیورگ و همکاران[2] (۴۰) گزارش کردند که بیوچار چوبی به‌علت درصد عناصر فراهم کم در ساختار خود بر عملکرد گندم اثر معنادار نداشت.

بیشترین وزن شاخساره و ریشه خشک گیاه در تیمارهای LDH-P-بیوچار و LDH-P-هیدروچار مشاهده شد که به‌علت رها شدن فسفر از این ترکیب‌ها به خاک و پاسخ گیاه به افزایش فسفر فراهم خاک در حضور این دو ترکیب می‌باشد. همچنین، کم‌ترین وزن شاخساره و ریشه خشک در حضور LDH به‌دست آمد که احتمالاً به اثرهای بازدارنده ناشی از حل‌پذیری ذرات LDH در خاک (۱۰) و درنتیجه آسیب رساندن به اجزای مختلف یاخته‌های گیاه و در نهایت محدودیت در جذب آب و عناصر غذایی مربوط می‌باشد. بااین‌حال، بعد از مصرف کود فسفر در خاک، وزن شاخساره و ریشه تر و خشک گیاه در تیمار LDH به‌طور معنادار افزایش یافت. احتمالاً با مصرف کود فسفر در خاک و با تبادل آنیون‌های کلرید در بین لایه‌های ذرات LDH با آنیون‌های فسفات، پایداری ذرات LDH در خاک افزایش یافته (۱۷) و اثرهای بازدارنده آن بر رشد ریشه کاهش یافته است (۲۰).

اثر متقابل کود فسفر و نوع اصلاحگر افزوده شده به خاک بر غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم شاخساره ذرت

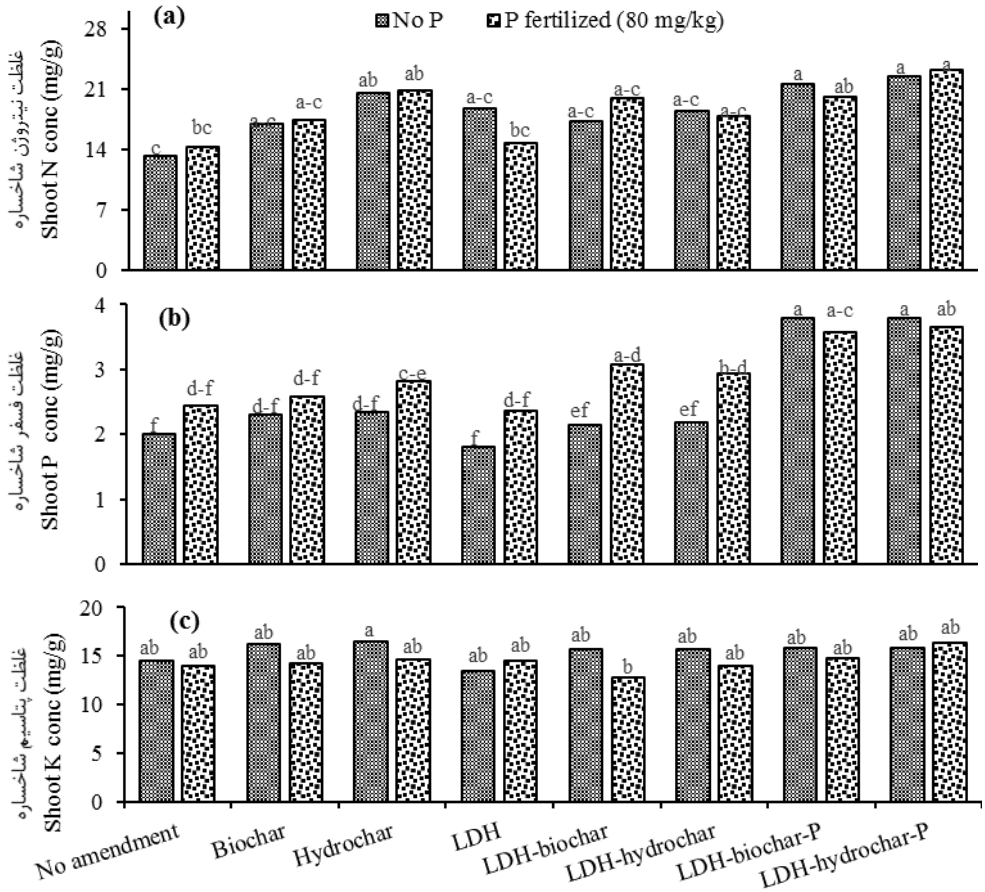
مقایسه میانگین‌های غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم شاخساره ذرت برای اثر متقابل کود فسفر و نوع اصلاحگر افزوده شده به خاک در شکل ۲ ارائه شده است. نتایج نشان داد که مصرف کود فسفر در خاک بر غلظت نیتروژن و پتاسیم در تمام سطوح اصلاحگر اثر معنادار نداشت و غلظت فسفر شاخساره را تنها در دو تیمار LDH-بیوچار و LDH-هیدروچار به‌طور معنادار افزایش داد. عدم تأثیر معنادار کود فسفر بر غلظت نیتروژن و پتاسیم شاخساره ذرت به این علت است که با افزایش فسفر فراهم خاک، رشد گیاه (شکل ۱) و جذب فسفر، نیتروژن و پتاسیم به‌وسیله گیاه افزایش یافته و سرعت جذب این عناصر متناسب با سرعت رشد گیاه افزایش یافته است. چان و همکاران[3] (۴) با بررسی اثر کود نیتروژن و بیوچار بر غلظت و جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم در گیاه تربچه مشاهده کردند که با مصرف کود نیتروژن و بیوچار در خاک، به‌علت افزایش متناسب سرعت جذب عناصر و سرعت رشد گیاه، غلظت برخی عناصر غذایی در گیاه کاهش یافت. مطلبی‌فرد و همکاران[4] (۲۷) گزارش دادند که با مصرف ۶۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم یک خاک آهکی غلظت نیتروژن غده‌های سیب‌زمینی کاهش یافت و غلظت پتاسیم تغییر معناداری نکرد. اثر مصرف کود فسفر بر افزایش معنادار غلظت فسفر شاخساره ذرت در حضور LDH-بیوچار و LDH-هیدروچار احتمالاً به نقش این دو ترکیب به‌عنوان تبادلگرهای آنیونی در خاک مربوط می‌شود.

تقریباً ۷۵ تا ۹۰ درصد از فسفر افزوده شده به خاک به‌وسیله آهن، آلومینیم (در خاک‌های اسیدی) و کلسیم (در خاک‌های قلیایی) تثبیت می‌شود و با وجود مقدار نسبتاً زیاد فسفر در بسیاری از خاک‌ها، به‌دلیل تثبیت زیاد فسفر در خاک، بسیاری از خاک‌ها با کمبود فسفر قابل‌جذب گیاه مواجه می‌باشند (۱۲).

1- Kloss *et al.*
2- Tammeorg *et al.*
3- Chan *et al.*
4- Motalebifard *et al.*

www.SID.ir

Archive of SID



شکل (۲) مقایسه میانگین‌های غلظت نیتروژن (a)، فسفر (b) و پتاسیم (c) در شاخساره ذرت برای اثر متقابل کود فسفر و نوع اصلاحگر افزوده شده به خاک

Figure (2) Means comparison of the concentrations of N (a), P (b) and K (c) in corn shoot for P-fertilizer × amendment interaction

با توجه به خالی بودن مکان‌های جذبی ترکیب‌های LDH-بیوچار و LDH-هیدروچار، احتمالاً این ترکیب‌ها در خاک به‌عنوان تبادلگرهای آنیونی، با جذب و نگهداری فسفر از تثبیت فسفر در خاک جلوگیری کرده و فسفر مورد نیاز گیاه را به‌تدریج در اختیار آن قرار داده‌اند و علاوه‌بر آن، با ممانعت از افزایش یک‌باره غلظت فسفر در خاک و گیاه، از به‌هم خوردن تعادل عناصر غذایی در خاک و گیاه و بروز برهم‌کنش‌های ناهمسازی بین فسفر و سایر عناصر کاسته‌اند. حلاج‌نیا و همکاران (۱۰) نشان دادند که Mg/Al-LDH با آنیون بین‌لایه‌ای کلرید می‌تواند به‌عنوان تبادلگر آنیونی با جذب و نگهداری نیترات، از آبشویی نیترات از خاک جلوگیری کند. عدم تأثیر معنادار مصرف کود فسفر بر غلظت فسفر شاخساره ذرت در حضور LDH-P-بیوچار و LDH-P-هیدروچار و همچنین بیشتر بودن غلظت فسفر شاخساره در دو تیمار LDH-P-بیوچار و LDH-P-هیدروچار نسبت به تیمار بدون اصلاحگر و به‌ویژه نسبت به دو تیمار LDH-بیوچار و LDH-هیدروچار در شرایط بدون مصرف کود فسفر در خاک نشان‌گر نقش کودی LDH-P-بیوچار و LDH-P-هیدروچار در خاک و رهاشدن فسفر موجود در این ترکیب‌ها به خاک می‌باشد.

حاتمی و همکاران[1] (۱۱) و اِورارت و همکاران[2] (۷) با بررسی امکان مصرف به‌ترتیب Zn/Al-LDH و

1- Hatami
2- Everaert *et al.*

www.SID.ir

Archive of SID

Mg/Al-LDH حاوی آنیون بین‌لایه‌ای فسفات به‌عنوان کود فسفری در خاک به این نتیجه رسیدند که این ترکیب‌ها بعد از افزودن به خاک می‌توانند فسفر خود را به خاک رها کرده و در اختیار گیاه قرار دهند. حبیبی و همکاران (۹) نشان دادند که غلظت فسفر و پتاسیم شاخساره گیاه تاج‌خروس بعد از مصرف ۲ درصد وزنی بیوچار حاصل از کمپوست پسماند شهری به خاک افزایش یافت که به‌علت رهایش مستقیم مقادیری از این عناصر از بیوچار به خاک و همچنین به‌علت بهبود ویژگی‌های خاک به‌وسیله بیوچار بود.

غلظت نیتروژن و فسفر شاخساره در حضور LDH-P-بیوچار و LDH-P-هیدروچار در مقایسه با تیمار بدون اصلاحگر به‌طور معنادار بیشتر بود که احتمالاً به رهاشدن فسفر موجود در این ترکیب‌ها به خاک و برهم‌کنش‌های هم‌افزایی بین فسفر و نیتروژن مربوط می‌باشد. کویلراج و همکاران[1] (۱۸) ترکیب Ni/Al-LDH را پس از بارگذاری با فسفر به‌عنوان منبع تأمین‌کننده فسفر در یک نوع جلبک سبز (کاهوی دریایی[2]) به کار بردند. نتایج آنان نشان داد که در مقادیر یکسان فسفر، میزان رشد جلبک سبز در حضور LDH-P بیشتر از KH_2PO_4 و فاضلاب بود. نتایج گزارش‌های مختلف نشان می‌دهد که فسفر دارای برهم‌کنش‌های هم‌افزایی با عناصر غذایی پرمصرف ازجمله نیتروژن می‌باشد (۲۴). به‌عنوان مثال، چان و همکاران (۴) با بررسی اثر کود نیتروژن و بیوچار بر غلظت و جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم در گیاه تربچه برهم‌کنش هم‌افزایی نیتروژن با فسفر را گزارش کردند.

غلظت فسفر و پتاسیم شاخساره در تیمارهای بیوچار و هیدروچار با تیمار بدون اصلاحگر تفاوت معنادار نشان نداد. با توجه به اینکه بیوچار و هیدروچار وزن شاخساره خشک گیاه را به‌طور معنادار افزایش دادند (شکل ۱)، عدم تأثیر معنادار بیوچار و هیدروچار بر غلظت فسفر و پتاسیم شاخساره گیاه ممکن است به این علت باشد که سرعت رشد شاخساره متناسب با سرعت جذب عناصر افزایش یافته است. علاوه‌بر آن، ممکن است بیوچار و هیدروچار بر غلظت این عناصر در بخشی از گیاه مانند ساقه، برگ و یا خوشه اثر معنادار داشته است اما با توجه به اینکه در این پژوهش کل شاخساره گیاه با هم برای تعیین غلظت عناصر استفاده شد، این اثر قابل‌تفکیک نبود. به‌عنوان مثال، منجیو و همکاران[3] (۲۵) گزارش کردند که مصرف بیوچار در خاک باعث افزایش معنادار غلظت نیتروژن ساقه، پوسته و مغز بادام‌زمینی شد اما بر غلظت فسفر ساقه، پوسته و مغز بادام‌زمینی اثر معنادار نداشت و با وجود اینکه بر غلظت پتاسیم پوسته و ساقه اثر معنادار نداشت اما باعث افزایش معنادار غلظت پتاسیم مغز بادام‌زمینی شد. شارما و همکاران[4] (۳۵) نیز عدم تأثیر معنادار بیوچار چوب بر غلظت نیتروژن شاخساره گندم را گزارش کردند.

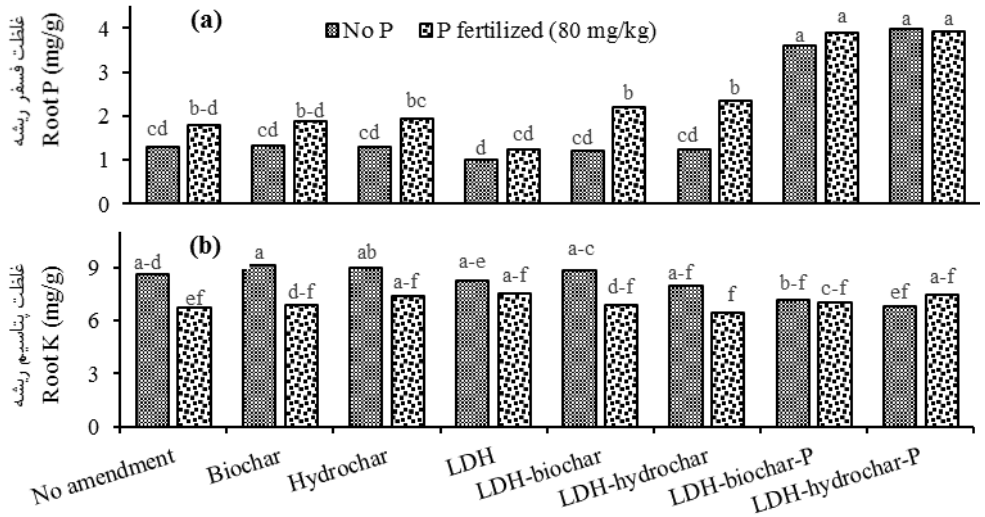
اثر متقابل کود فسفر و نوع اصلاحگر افزوده شده به خاک بر غلظت فسفر و پتاسیم ریشه ذرت

مقایسه میانگین‌های غلظت فسفر و پتاسیم ریشه ذرت برای اثر متقابل کود فسفر و نوع اصلاحگر افزوده شده به خاک در شکل ۳ ارائه شده است. مصرف کود فسفر در حضور LDH-بیوچار و LDH-هیدروچار باعث افزایش غلظت فسفر ریشه ذرت شد که احتمالاً به نقش این ترکیب‌ها به‌عنوان تبادلگرهای آنیونی در خاک مربوط می‌باشد. افزایش غلظت فسفر ریشه بعد از افزودن کود فسفر به خاک ممکن است به‌علت افزایش فسفر قابل‌جذب گیاه در خاک و جذب بیشتر فسفر به‌وسیله ریشه گیاه باشد. غلظت عناصر غذایی در گیاهان مختلف ممکن است بسته به مصرف یا عدم مصرف کودهای آلی و شیمیایی متفاوت باشد (۲۴). رفیعی و همکاران[5] (۳۳) نشان دادند که با افزودن کود فسفر به خاک غلظت و جذب فسفر در شاخساره ذرت افزایش یافت.

1- Koilraj *et al.*
2- *Ulva lactuca*
3- Mengyu *et al.*
4- Sarma
5- Rafiee

www.SID.ir

Archive of SID



شکل(۳) مقایسه میانگین‌های غلظت فسفر (a) و پتاسیم (b) در ریشه ذرت برای اثر متقابل کود فسفر و نوع اصلاحگر افزوده شده به خاک

Figure (3) Means comparison of the concentrations of P (a) and K (b) in corn root for P-fertilizer × amendment interaction

بیشترین غلظت فسفر ریشه ذرت در حضور LDH-P–بیوچار و LDH-P–هیدروچار به‌دست آمد و مصرف کود فسفر در حضور این دو ترکیب، تغییر معناداری در غلظت فسفر ریشه ایجاد نکرد که ممکن است به مقدار قابل‌توجه فسفر بارگذاری‌شده در این ترکیب‌ها مربوط باشد. نتایج پژوهش‌های مختلف نشان می‌دهد که فسفر بارگذاری‌شده بر روی ترکیب‌های LDH نه‌تنها قابلیت رهایش از این ترکیب‌ها را دارد بلکه رهایش فسفر از این ترکیب‌ها با الگوی رهایش کند انجام می‌شود. به‌عنوان مثال، حاتمی و همکاران (۱۱) با افزودن Zn/Al-LDH با آنیون بین‌لایه‌ای فسفات به یک خاک آهکی، آزادسازی فسفر از Zn/Al-LDH را با کود سوپرفسفات ساده مورد مقایسه قرار دادند و گزارش کردند که در ابتدا فسفر قابل‌جذب گیاه در خاک در تیمار سوپرفسفات ساده بیشتر از تیمار Zn/Al-LDH بود ولی با گذشت زمان، فسفر قابل‌جذب در تیمار Zn/Al-LDH بیشتر از سوپرفسفات ساده بود. آنان نتیجه گرفتند که Zn/Al-LDH برخلاف سوپرفسفات ساده فسفر را به‌یک‌باره و با الگوی انفجاری به خاک آزاد نمی‌کند بلکه رهایش فسفر از Zn/Al-LDH با گذشت زمان به‌طور آهسته و تدریجی انجام می‌گیرد. بر همین اساس، آنان بیان کردند که می‌توان از این ترکیب‌ها به‌عنوان کود کندرهای فسفری در خاک‌ها استفاده کرد.

رهایش کند فسفر از ترکیب‌های LDH-P–بیوچار و LDH-P–هیدروچار نه‌تنها از تثبیت و هدرروی فسفر در خاک جلوگیری می‌کند بلکه با جلوگیری از افزایش یک‌باره غلظت فسفر فراهم خاک، از برهم خوردن تعادل عناصر غذایی و برهم‌کنش‌های ناهمسازی بین فسفر و سایر عناصر غذایی در خاک جلوگیری می‌کند. به‌عنوان مثال، اِورارت و همکاران (۷) گزارش کردند که فسفر موجود در Mg/Al-LDH در یک خاک آهکی دچار کمبود فسفر به‌آهستگی آزاد شده و در اختیار گیاه جو قرار گرفت و به‌علت رهایش کند فسفر از این ترکیب، وزن خشک و غلظت فسفر در گیاه جو در تیمار Mg/Al-LDH-P نسبت به تیمار KH_2PO_4 بیشتر بود.

مصرف کود فسفر در تیمارهای بدون اصلاحگر، بیوچار و هیدروچار بر غلظت فسفر ریشه اثر معنادار نداشت. با افزودن کود فسفر به خاک، بر اثر افزایش فسفر قابل‌جذب گیاه در خاک، رشد ریشه و جذب فسفر

www.SID.ir

Archive of SID

به‌وسیله ریشه افزایش می‌یابد (۳۴) و علی‌رغم افزایش جذب فسفر به‌وسیله ریشه، ممکن است بر اثر متناسب بودن سرعت افزایش رشد ریشه و جذب فسفر، غلظت فسفر در ریشه تغییر معناداری نداشته باشد. ملکی نارگ-موسی و بلوچی (۲۳) نشان دادند که مصرف کود فسفر در خاک بر غلظت فسفر دانه ذرت شیرین اثر معنادار نداشت. مصرف کود فسفر باعث کاهش معنادار غلظت پتاسیم در سطوح بدون اصلاحگر، بیوچار و LDH-بیوچار شد (شکل ۲). کاهش غلظت پتاسیم ریشه بر اثر افزودن کود فسفر به خاک ممکن است به‌علت افزایش رشد ریشه بر اثر افزایش فسفر قابل‌جذب گیاه در خاک و اثر رقت ناشی از آن باشد. چان و همکاران (۴) گزارش کردند که با افزودن کود نیتروژن به خاک به-علت اثر رقت ناشی از افزایش وزن شاخساره گیاه جو، غلظت کلسیم و منیزیم شاخساره گیاه کاهش یافت.

به‌علت این‌که بین بیوچار و هیدروچار، LDH-بیوچار و LDH-هیدروچار و LDH-P-بیوچار و LDH-P-هیدروچار از نظر ساختاری شباهت‌های زیادی وجود داشت، وزن شاخساره و ریشه خشک و غلظت عناصر مورد بررسی در ریشه و شاخساره ذرت در تیمارهای بیوچار و هیدروچار، LDH-بیوچار و LDH-هیدروچار و LDH-P-بیوچار و LDH-P-هیدروچار به‌صورت دوبه‌دو تفاوت معنادار نداشت (شکل‌های ۱ تا ۳).

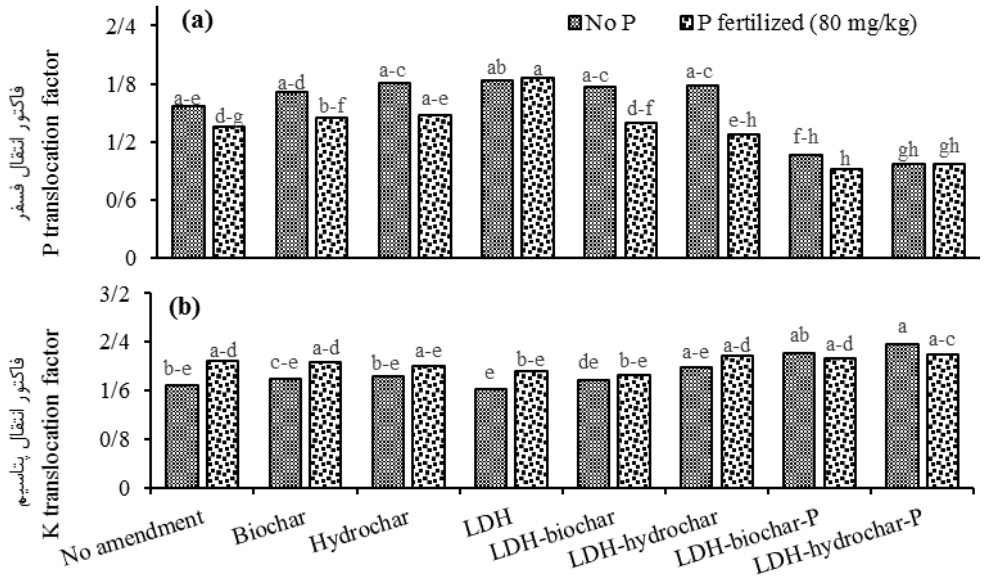
اثر متقابل کود فسفر و نوع اصلاحگر افزوده شده به خاک بر نسبت غلظت فسفر و پتاسیم شاخساره به ریشه ذرت

مقایسه میانگین‌های نسبت غلظت فسفر و پتاسیم شاخساره به ریشه (فاکتور انتقال) برای اثر متقابل کود فسفر و نوع اصلاحگر افزوده شده به خاک در شکل ۴ ارائه شده است. نتایج نشان داد که مصرف کود فسفر در خاک در حضور LDH-بیوچار و LDH-هیدروچار باعث کاهش معنادار فاکتور انتقال فسفر شد و بر فاکتور انتقال فسفر در سایر سطوح اصلاحگر اثر معنادار نداشت (شکل ۴). علاوه‌بر آن، در شرایط بدون مصرف کود فسفر در خاک، فاکتور انتقال فسفر در تیمارهای LDH-P-بیوچار و LDH-P-هیدروچار به‌طور معنادار کمتر از تیمار بدون اصلاحگر بود.

بنابراین، کاهش فاکتور انتقال فسفر در حضور LDH-بیوچار و LDH-هیدروچار بعد از مصرف کود فسفر و در حضور LDH-P-بیوچار و LDH-P-هیدروچار قبل از مصرف کود فسفر در خاک ممکن است به رهاسازی آهسته فسفر از این ترکیب‌ها به خاک مربوط باشد زیرا LDH-بیوچار و LDH-هیدروچار می‌توانند فسفر افزوده شده به خاک را جذب و مانند LDH-P-بیوچار و LDH-P-هیدروچار آن را به-تدریج به محلول خاک رها کنند. مصرف کود فسفر در خاک علاوه‌بر کاهش فاکتور انتقال فسفر، باعث کاهش فاکتور انتقال کلسیم، منیزیم، آهن و روی در ذرت شد (داده‌ها ارائه نشده است). بنابراین، یکی از علت‌های کاهش فاکتور انتقال فسفر تشکیل پیوند بین فسفات و این فلزها در ریشه و کاهش انتقال آن‌ها از ریشه به شاخساره می‌باشد. علاوه‌بر آن، ممکن است فسفر رها شده از این ترکیب‌ها به‌تدریج در سطوح ریشه و منافذ آن به‌صورت ترکیب با کلسیم، منیزیم، آهن و روی رسوب یافته و در طی فرایند شستشوی ریشه کاملاً از پوست ریشه جدا نشده و به همین علت غلظت فسفر در ریشه بیشتر از مقدار واقعی تعیین شده باشد. یزدانی مطلق و همکاران (۴۷) نشان دادند که مصرف کود فسفر در خاک باعث کاهش فاکتور انتقال فسفر در برنج شد و با افزایش مقدار فسفر افزوده شده به خاک، فاکتور انتقال فسفر به مقدار بیشتری کاهش یافت. اگر فاکتور انتقال یک عنصر بزرگتر از ۱ باشد نشان می‌دهد که غلظت آن عنصر در شاخساره گیاه بیشتر از ریشه بوده است (۲۱). فاکتور انتقال فسفر در همه سطوح اصلاحگر به‌جز LDH-P-بیوچار و LDH-P-هیدروچار و فاکتور انتقال پتاسیم در همه سطوح اصلاحگر بزرگتر از ۱ بود (شکل ۴) که نشان می‌دهد فسفر و پتاسیم جذب‌شده به-وسیله گیاه بیشتر به شاخساره گیاه منتقل شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل(٤) مقایسه میانگین‌های فاکتور انتقال فسفر (a) و پتاسیم (b) از ریشه به شاخساره ذرت برای اثر متقابل کود فسفر و نوع اصلاحگر افزوده شده به خاک

Figure (4) Means comparison of the translocation factor of P (a) and K (b) in corn for P-fertilizer × amendment interaction

همچنین فاکتور انتقال پتاسیم در همه سطوح اصلاحگر بیشتر از فسفر بود که ممکن است به نیاز گیاه به پتاسیم برای انجام فعالیت‌های آنزیمی، تنظیم روابط آبی، انجام فتوسنتز و فرآیندهای انتقال در شاخساره مربوط باشد. این نتایج با گزارش‌های سایر محققان مطابقت دارد (۴۷).

بعد از مصرف کود فسفر در خاک، فاکتور انتقال فسفر در تیمار LDH به‌طور معنادار بیشتر از تیمار بدون اصلاحگر و در تیمار LDH-P–بیوچار به‌طور معنادار کمتر از تیمار بدون اصلاحگر بود. مصرف کود فسفر در خاک بر فاکتور انتقال پتاسیم در تمام سطوح اصلاحگر اثر معنادار نداشت که نشان می‌دهد فسفر نقش چندانی در نگهداشت پتاسیم در ریشه گیاه و یا انتقال آن از ریشه به شاخساره نداشته است. با این حال، یزدانی مطلق و همکاران (۴۷) گزارش کردند که مصرف کود فسفر باعث کاهش فاکتور انتقال پتاسیم در برنج شد. فاکتور انتقال پتاسیم در تیمار LDH-P–هیدروچار به‌طور معنادار بیشتر از تیمار بدون اصلاحگر بود (شکل ۴).

نتیجه‌گیری

در این پژوهش بیوچار، هیدروچار،LDH و ترکیب‌های LDH–بیوچار و LDH–هیدروچار با موفقیت تولید و هر گرم از LDH–بیوچار و LDH–هیدروچار به‌ترتیب با ۵۱ و ۴۷ میلی‌گرم فسفر بارگذاری شد و با استفاده از یک آزمایش گلخانه‌ای، اثر هر یک از این ترکیب‌ها بر غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در شاخساره و غلظت فسفر و پتاسیم در ریشه و شاخساره ذرت مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیوچار نسبت به هیدروچار دارای درصد عملکرد و خاکستر، pH و EC بیشتری بود و غلظت عناصر مورد بررسی به‌جز نیتروژن در بیوچار بیشتر از هیدروچار بود. نتایج آزمایش گلخانه‌ای نشان داد که با مصرف کود فسفر در خاک، وزن شاخساره و ریشه خشک در تمام سطوح اصلاحگر به‌جز LDH-P–بیوچار و LDH-P–هیدروچار نسبت به تیمار بدون اصلاحگر افزایش یافت و کود فسفر در حضور این دو اصلاحگر باعث کاهش وزن شاخساره خشک شد. در شرایط بدون مصرف کود فسفر، بیوچار و

www.SID.ir

Archive of SID

هیدروچار بر وزن شاخساره و ریشه خشک ذرت اثر معنادار نداشتند اما بعد از مصرف کود فسفر در خاک، بیوچار و هیدروچار وزن شاخساره خشک را نسبت به تیمار بدون اصلاحگر به‌طور معنادار افزایش دادند. بیشترین وزن شاخساره و ریشه خشک گیاه، بیشترین غلظت فسفر شاخساره و ریشه و بیشترین غلظت نیتروژن در تیمارهای LDH-P–بیوچار و LDH-P–هیدروچار و کم‌ترین وزن شاخساره و ریشه خشک در حضور LDH به‌دست آمد. کود فسفر غلظت فسفر ریشه را در حضور LDH–بیوچار و LDH–هیدروچار افزایش ولی غلظت پتاسیم ریشه را در حضور بیوچار و LDH–بیوچار و در شاهد کاهش داد. همچنین، مصرف کود فسفر در خاک باعث افزایش معنادار غلظت فسفر شاخساره در دو تیمار LDH–بیوچار و LDH–هیدروچار شد و بر غلظت فسفر شاخساره در سایر سطوح اصلاحگر و بر غلظت نیتروژن و پتاسیم شاخساره در تمام سطوح اصلاحگر اثر معنادار نداشت. مصرف کود فسفر در خاک فاکتور انتقال فسفر را در حضور LDH–بیوچار و LDH–هیدروچار به‌طور معنادار کاهش داد اما در هیچ یک از سطوح اصلاحگر بر فاکتور انتقال پتاسیم اثر معنادار نداشت. همچنین، بیوچار، هیدروچار، LDH، LDH–بیوچار و LDH–هیدروچار بر فاکتور انتقال فسفر و پتاسیم اثر معنادار نداشتند. فاکتور انتقال فسفر در همه سطوح اصلاحگر به‌جز LDH-P–بیوچار و LDH-P–هیدروچار بزرگتر از ۱ و کوچک‌تر از فاکتور انتقال پتاسیم بود. کود فسفر با بیوچار، هیدروچار، LDH–بیوچار و LDH–هیدروچار در افزایش وزن شاخساره و ریشه خشک و غلظت فسفر ریشه و شاخساره برهم‌کنش هم‌افزایی ولی با LDH، LDH-P–بیوچار و LDH-P–هیدروچار برهم‌کنش ناهمسازی داشت. بنابراین، مصرف بیوچار، هیدروچار، LDH–بیوچار و LDH–هیدروچار به‌همراه کود فسفر برای کشت ذرت پیشنهاد می‌شود. با توجه به اینکه در حضور و عدم حضور کود فسفر، بیشترین غلظت فسفر ریشه و شاخساره ذرت در دو سطح LDH-P–بیوچار و LDH-P–هیدروچار به‌دست آمد، مصرف ترکیب‌های LDH–بیوچار و LDH–هیدروچار بارگیری‌شده با فسفر بدون مصرف کود فسفر برای کشت ذرت پیشنهاد می‌شود.

منابع

1. Abel, S., Peters, A., Trinks, S., Schonsky, H., Facklam, M., and Wessolek, G. 2013. Impact of biochar and hydrochar addition on water retention and water repellency of sandy soil. Geoderma, 202: 183-191.

2. Ahmadinejad, R., Najafi, N., Aliasgharzad, N., and Oustan, S. 2013. Effects of organic and nitrogen fertilizers on water use efficiency, yield and the growth characteristics of wheat. Water and Soil Science-University of Tabriz, 23(2): 177-197. (in Persian with English abstract)

3. Beheshti, M. and Alikhani, H. 2016. Quality variations of biochar generated from wheat straw during slow pyrolysis process at different temperatures. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 26(2): 189-201. (in Persian with English abstract)

4. Chan, K.Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., and Joseph, S. 2008. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. Soil Research, 45(8): 629-634.

www.SID.ir

Archive of SID

5. Dane, J.H., and Topp, G.C. 2002. Methods of soil analysis. Part 4. Physical methods. ASA-CSSA-SSSA Publisher, USA, pp: 1663.

6. Desmidt, E., Ghyselbrecht, K., Zhang, Y., Pinoy, L., Van der Bruggen, B., Verstraete, W., Rabaey, K., and Meesschaert, B. 2015. Global phosphorus scarcity and full-scale P-recovery techniques: a review. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 45: 336-384.

7. Everaert, M., Warrinnier, R., Baken, S., Gustafsson, J.P., De Vos, D., and Smolders, E. 2016. Phosphate-exchanged Mg–Al layered double hydroxides: A new slow release phosphate fertilizer. ACS Sustainable Chemistry and Engineering, 4: 4280-4287.

8. Fang, J., Gao, B., Chen, J., and Zimmerman, A.R. 2015. Hydrochars derived from plant biomass under various conditions: Characterization andpotential applications and impacts. Chemical Engineering Journal, 267: 253-259.

9. Habibi, H., Motesharezadeh, B., and Alikhani, H. 2017. Effect of biochar and biological treatments on nutrient elements content (P, K, Ca, Mg, Fe and Mn) of Amaranthus in oil polluted soil. Iranian Journal of Soil and Water Research, 48(2): 369-384. (in Persian with English abstract)

10. Halajnia, A., Oustan, S., Najafi, N., Khataee, A., and Lakzian, A. 2016. Effects of Mg-Al layered double hydroxide on nitrate leaching and nitrogen uptake by maize in a calcareoussoil. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 47: 1162-1175.

11. Hatami, H., Fotovat, A., and Halajnia, A. 2018. The effect of layered double hydroxide with phosphate as the interlayer anion on the availability of phosphorus in a calcareous soil. Journal of Water and Soil-Ferdowsi University of Mashhad, 32(1): 45-57. (in Persian with English abstract)

12. Havlin, J.L., Beaton, J.D., Tisdale, S.L., and Nelson, W.L. 2005. Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management. 7th Edition, Pearson Educational, Inc., Upper Saddle River, New Jersey.

13. Islam, M. and Patel, R. 2010. Synthesis and physicochemical characterization of Zn/Al chloride layered double hydroxide and evaluation of its nitrate removal efficiency. Desalination, 256: 120-128.

14. Javanmard, J., Mustafavi, S.H., and Khezri, A. 2014. Improvement of chemical fertilizers efficiency and the possibility of reduction of their application by using bio-fertilizers in the production of maize (*Zea mays* cv. SC704). Research in Crop Ecosystems, 1(4): 83-93. (in Persian with English abstract)

15. Jones Jr, J.B. 2001. Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. CRC press, Boca Raton, FL, USA, pp: 384.

16. Kibue, G.W. 2018. Use of biochar for increased crop yields and reduced climate change impacts from agricultural ecosystems: Chinese farmers perception and adoption strategy. African Journal of Agricultural Research, 13: 1063-1070.

www.SID.ir

Archive of SID

17. Kloss, S., Zehetner, F., Wimmer, B., Buecker, J., Rempt, F., and Soja, G. 2014. Biochar application to temperate soils: effects on soil fertility and crop growth under greenhouse conditions. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 177(1): 3-15.

18. Koilraj, P., Antonyraj, C.A., Gupta, V., Reddy, C.R.K., and Kannan, S. 2013. Novel approach for selective phosphate removal using colloidal layered double hydroxide nanosheets and use of residue as fertilizer. Applied Clay Science, 86: 111-118.

19. Laird, D. and Rogovska, N. 2015. Biochar effects on nutrient leaching. Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation, 2: 521-542.

20. Lehmann, J., Rillig, M.C., Thies, J., Masiello, C.A., Hockaday, W.C., and Crowley, D. 2011. Biochar effects on soil biota–a review. Soil Biology and Biochemistry, 43(9): 1812-1836.

21. Lentz, R. and Ippolito, J. 2012. Biochar and manure affect calcareous soil and corn silage nutrient concentrations and uptake. Journal of Environmental Quality, 41(4): 1033-1043.

22. Li, R., Wang, J.J., Zhou, B., Awasthi, M.K., Ali, A., Zhang, Z., Gaston, L.A., Lahori, A.H., and Mahar, A. 2016. Enhancing phosphate adsorption by Mg/Al layered double hydroxide functionalized biochar with different Mg/Al ratios. Science of the Total Environment, 559: 121-129.

23. Maleki Narg, M.M. and Balouchi, H.R. 2013. Effects of Nitrogen and Phosphorus chemical and biological fertilizers on yield and yield components of sweet corn (*Zea mays var saccharata*). Journal of Plant Production, 20(2): 37-57. (in Persian with English abstract)

24. Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Second Edition. Academic Press, USA, pp: 889.

25. Mengyu, G., Jinfeng, Y., Zhide, D., Jiahui, M., and Yahao, Z. 2017. Impact of application of biochar and biochar-based fertilizer on peanuts nutrient absorption and yield. Advances in Engineering, 126: 151-155.

26. Mohammadi, M., Bahmanyar, M., Sadeghzadeh, F., and Biparva, P. 2016. Synthesis of Mg/Al layered double hydroxide (LDH) nanoplates for efficient removalof nitarate from aqueous solutions. Journal of Fundamental and Applied Sciences, 8: 1058-1071.

27. Motalebifard, R., Najafi, N., and Oustan, S. 2016. Effects of zinc and phosphorus on nutrients, starch and reducing sugar concentrations of potato tubers under with or without water deficit stress. Journal of Water and Soil- Ferdowsi University of Mashhad, 30(2): 497-510. (in Persian with English abstract)

28. Naeem, M.A., Khalid, M., Aon, M., Abbas, G., Amjad, M., Murtaza, B., Khan, W.U.D., and Ahmad, N. 2018. Combined application of biochar with compost and fertilizer improves soil properties and grain yield of maize. Journal of Plant Nutrition, 41 (1): 112-122.

www.SID.ir

Archive of SID

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

30. Najafi, N. 2016. Management of nitrogen nutrition of hydroponics and greenhouse plants. Forth National Congress of Hydroponics and Greenhouse Products, 5-7 September, Vali-e-Asr Rafsanjan University, Iran. (in Persian with English abstract)

31. Novak, J.M., Spokas, K.A., Cantrell, K.B., Ro, K.S., Watts, D.W., Glaz, B., Busscher, W.J., and Hunt, P.G. 2014. Effects of biochars and hydrochars produced from lignocellulosic and animal manure on fertility of a Mollisol and Entisol. Soil Use and Management, 30: 175-181.

32. Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D.R. 1982. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. ASA-CSSA-SSSA Publisher, Madison, Wisconsin, USA, pp: 1143.

33. Rafiee, M., Nadian, H.A., Nour-mohammadi, G., and Karimi, M. 2004. Effects of drought stress, phosphorous and zinc application on concentration and total nutrient uptake by corn (*Zea mays* L.). Iranian Journal of Agricultural Science, 35(1): 235-243. (in Persian with English abstract)

34. Ronaghi, A., Chakerolhoseini, M.R., and Karimian, N. 2002. Growth and chemical composition of corn as affected by phosphorus and iron. Journal of Water and Soil Science (Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources), 6(2): 53-66. (in Persian with English abstract)

35. Sarma, B., Gogoi, N., Bharali, M., and Mali, P. 2017. Field evaluation of soil and wheat responses to combined application of hardwood biochar and inorganic fertilizers in acidic sandy loam soil. Explorations in Agriculture, (36): 1-13.

36. Schneider, D., Escala, M., Supawittayayothin, K., and Tippayawong, N. 2011. Characterization of biochar from hydrothermal carbonization of bamboo. International Journal of Energy and Environment, 2(4): 647-652.

37. 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.

38. Sun, Y., Gao, B., Yao, Y., Fang, J., Zhang, M., Zhou, Y., Chen, H., and Yang, L. 2014. Effects of feedstock type, production method, and pyrolysis temperature on biochar and hydrochar properties. Chemical Engineering Journal, 240: 574-578.

39. Takaya, C., Fletcher, L., Singh, S., Anyikude, K., and Ross, A. 2016. Phosphate andammonium sorption capacity of biochar and hydrochar from different wastes. Chemosphere, 145: 518-527.

40. Tammeorg, P., Simojoki, A., Mäkelä, P., Stoddard, F.L., Alakukku, L., and Helenius, J. 2014. Short-term effects of biochar on soil properties and wheat yield formation with meat bone meal and inorganic fertiliser on a boreal loamy sand. Agriculture, Ecosystems and Environment, 191: 108-116.

www.SID.ir

Archive of SID

41. Uzoma, K., Inoue, M., Andry, H., Fujimaki, H., Zahoor, A., and Nishihara, E. 2011. Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition. Soil Use and Management, 27(2): 205-212.

42. Wan, S., Wang, S., Li, Y., and Gao, B. 2017. Functionalizing biochar with Mg–Al and Mg–Fe layered double hydroxides for removal of phosphate from aqueous solutions. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 47:246-253.

43. Wang, S., Gao, B., Zimmerman, A.R., Li, Y., Ma, L., Harris, W.G., and Migliaccio, K.W. 2015. Physicochemical and sorptive properties of biochars derived from woody and herbaceous biomass. Chemosphere, 134: 257-262.

44. Westerman, R.L. 1990. Soil Testing and Plant Analysis. Soil Science Society of America, USA.

45. Xu, K., Lin, F., Dou, X., Zheng, M., Tan, W., and Wang, C. 2018. Recovery of ammonium and phosphate from urine as value-added fertilizer using wood waste biochar loaded with magnesium oxides. Journal of Cleaner Production, 187: 205-214.

46. Yargicoglu, E.N., Sadasivam, B.Y., Reddy, K.R., and Spokas, K. 2015. Physical and chemical characterization of waste wood derived biochars. Waste Management, 36: 256-268.

47. Yazdani Motlag, N., Reyhanitabar, A., and Najafi, N. 2014. Effects of combined application of Nitrogen and Phosphorus on their, and as well on Potassium uptake by rice plant under flooded vs. non-flooded conditions. Iranian Journal of Soil and Water Research, 44(2): 183-192.

48. Zarei, M., Saleh-Rastin, N., Alikhani, H.A., and Aliasgharzadeh, N. 2006. Responses of lentil to co-inoculation with phosphate-solubilizing rhizobial strains and arbuscular mycorrhizal fungi. Journal of Plant Nutrition, 29: 1509-1522.

49. Zhang, M., Gao, B., Fang, J., Creamer, A.E., and Ullman, J.L. 2014. Self-assembly of needle-like layered double hydroxide (LDH) nanocrystals on hydrochar: characterization and phosphate removal ability. RSC Advances, 4 (53): 28171-28175.

50. Zhang, M., Gao, B., Yao, Y., Xue, Y., and Inyang, M. 2012. Synthesis of porous MgO-biochar nanocomposites for removal of phosphate and nitrate from aqueous solutions. Chemical Engineering Journal, 210: 26-32.

www.SID.ir