شانزدهمین کنگره علوم خاک ایران

دانشگاه زنجان، ۵ تا ۷ شهریور ۱۳۹۸

محور مقاله: حاصلخیزی خاک، تغذیه گیاه و کشت گلخانه‌ای

اثر هیدروچار لجن فاضلاب و نیتروژن بر شاخص کلروفیل، تعداد برگ‌ها و درصد خاکستر گیاه برنج و pH و EC یک خاک آلوده به مس در شرایط گلخانه‌ای

الناز عبدالملکی[۱*]، نصرت‌اله نجفی[۲]، عادل ریحانی‌تبار[۳]

[۱] دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

[۲] دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

[۳] دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

چکیده

این پژوهش برای بررسی اثر هیدروچار لجن فاضلاب و نیتروژن بر شاخص کلروفیل، تعداد برگ‌ها و درصد خاکستر گیاه برنج (*Oryza sativa* L.) رقم گوهر و pH و EC یک خاک آهکی آلوده به مس در شرایط گلخانه‌ای انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار و ۳ فاکتور شامل ماده آلی (شاهد، ۱۰ گرم لجن فاضلاب و ۱۰ گرم هیدروچار لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک)، مس در سه سطح (صفر، ۱۰ و ۲۵۰ میلی‌گرم مس در کیلوگرم خاک) از منبع سولفات مس و نیتروژن در دو سطح (صفر و ۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) از منبع اوره انجام شد. نتایج نشان داد که بیش‌ترین شاخص کلروفیل برگ‌ها و درصد خاکستر در ترکیب تیماری ۱۰ g/kg لجن فاضلاب، ۲۵۰mg N/kg و سطح صفر Cu مشاهده شد. کمترین مقدار این صفات در شرایط بدون اصلاحگر، بدون نیتروژن و آلودگی Cu مشاهده گردید. با مصرف هیدروچار pH و EC خاک کاهش و شاخص کلروفیل، تعداد برگ‌ها و درصد خاکستر ریشه و شاخساره برنج افزایش یافت. بنابراین، با توجه به pH اسیدی و غلظت عناصر غذایی در هیدروچار، می‌توان از هیدروچار لجن فاضلاب به‌عنوان کود و اصلاحگر در خاک‌های آهکی استفاده کرد. مصرف ۱۰ گرم لجن فاضلاب یا هیدروچار آن و ۲۵۰ میلی‌گرم نیتروژن در هر کیلوگرم خاک آلوده به مس و غیرآلوده برای دستیابی به رشد مطلوب گیاه برنج در شرایط گلخانه‌ای می‌تواند توصیه شود.

کلمات کلیدی: اوره، برنج، لجن فاضلاب، مس، هیدروچار

مقدمه

به عقیده بسیاری از پژوهشگران، تغییر اقلیم و پدیده گرمایش جهانی ناشی از افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای مانند دی‌اکسید کربن در اتمسفر است. ترسیب کربن[۱] (کربن‌اندوزی) در خاک یعنی حذف گاز دی‌اکسید کربن اتمسفر به‌وسیله گیاهان و ریزجانداران خاک‌زی و ذخیره کربن تثبیت شده به شکل مواد آلی در خاک. برای کاهش سرعت تجزیه مواد آلی خاک پیشنهاد شده است این مواد به‌صورت هیدروچار به خاک افزوده شود. هیدروچار، یک ماده جامد قهوه‌ای با ویژگی‌هایی مشابه زغال سنگ است که از حرارت دادن زیست‌توده در داخل یک سامانه بسته و در فشار ۳۰-۲۰ اتمسفر و دمای ۲۳۰-۱۸۰ درجه سلسیوس تولید می‌شود (Novak و همکاران ۲۰۱۴). فرایند تولید هیدروچار را کربونیزه‌شدن گرمآبی[۲] می‌نامند. با کربونیزه کردن زیست‌توده‌های آلی و سپس افزودن آن‌ها به خاک، سرعت تجزیه زیست‌توده کاهش یافته و منجر به افزایش کربن‌اندوزی در خاک و افزایش اثر باقی‌مانده آن می‌شود. هیدروچار علاوه‌بر بهبود ویژگی‌های خاک و افزایش حاصلخیزی آن (Novak و همکاران ۲۰۱۴)، به‌علت pH اسیدی می‌تواند نقش مفیدی در افزایش فراهمی برخی عناصر غذایی در خاک‌های قلیایی ایران داشته باشد. درصد خاکستر هیدروچار به عملکرد آن و میزان حل‌پذیری و خارج‌شدن عناصر از زیست‌توده بستگی دارد. در یک پژوهش، هیدروچارهای لجن فاضلاب و تفاله چغندر قند و کاه و کلش گندم در مقایسه با زیست‌توده آن‌ها، درصد خاکستر کمتری داشتند و دلیل آن حل‌شدن و شسته‌شدن عناصر و ورود آنها به بخش مایع هیدروچار گزارش شد (عظیم‌زاده و همکاران، ۲۰۱۹). گیاه برنج (*Oryza sativa* L.) از تیره گندمیان است که کشت آن از نظر انرژی تولیدی در میان غلات، مقام اول را به خود اختصاص داده است. نیتروژن مهم‌ترین عنصر غذایی در تولید گیاهان زراعی و اولین عنصر محدود کننده عملکرد برنج است و در مراحل رشد

* ایمیل نویسنده مسئول: abdolmalekielnaz@gmail.com

[1] - Carbon sequestration

[2] - Hydrothermal carbonization, HTC

رویشی به‌ویژه پنجه‌زنی و زایشی از طریق تولید شیره پرورده بیش‌تر، افزایش شدت فتوسنتز، افزایش سطح برگ و حتی در مرحله پرشدن دانه نقش زیادی در افزایش عملکرد دارد. معدنی شدن نیتروژن در خاک‌های اصلاح شده با پسماندهای آلی یک فرایند پیچیده بوده و به ویژگی‌های خاک از قبیل نوع خاک، pH، دما، تهویه، رطوبت، نوع و مقدار پسماند آلی افزوده شده بستگی دارد. این عامل‌ها می‌توانند بر شاخص کلروفیل برگ‌های گیاه تأثیر داشته باشند (Hesu و همکاران ۲۰۰۵). مس در تشکیل دانه و میوه، فتوسنتز، تشکیل کلروفیل، تولید دانه گرده، افزایش مقاومت به بلاست برنج و تبدیل نیتریت به هیدروکسیل‌آمین نقش مهمی دارد. چنانچه میزان مس در خاک در گستره ۶۰ تا ۱۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم قرار گیرد، می‌توان خاک را آلوده به مس به شمار آورد (Alloway, 1995). با توجه به مطالب ذکر شده، هدف از این پژوهش بررسی تأثیر هیدروچار لجن فاضلاب و نیتروژن بر شاخص کلروفیل برگ‌ها و درصد خاکستر گیاه برنج در یک خاک آلوده به مس در شرایط گلخانه‌ای بود.

مواد و روش‌ها

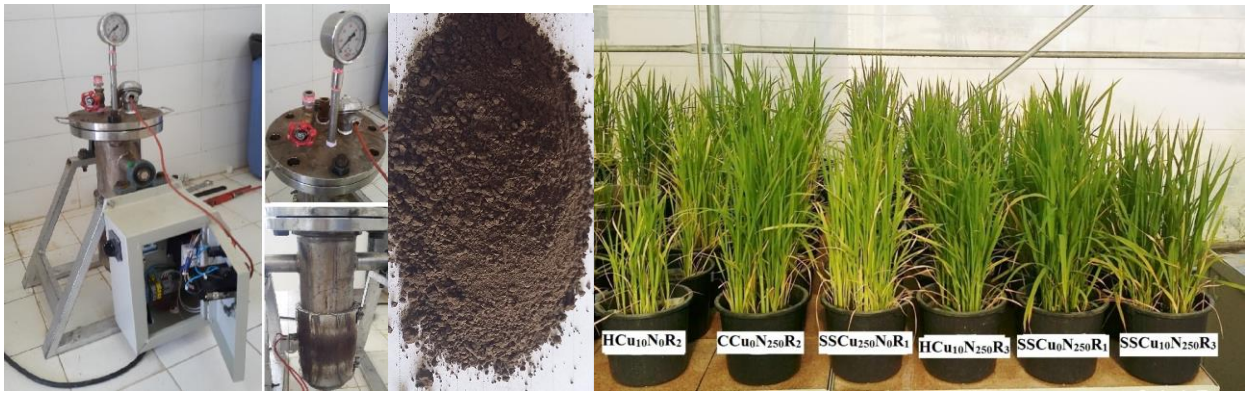
در این آزمایش خاکی با بافت لوم شنی از ایستگاه تحقیقات کشاورزی دانشگاه تبریز انتخاب گردید و از عمق صفر تا ۲۵ سانتی‌متری نمونه‌برداری شد. بعد از هوا خشک‌کردن و عبور از الک دو میلی‌متری، ویژگی‌های مهم خاک شامل کربنات کلسیم معادل، بافت خاک، درصد رطوبت اشباع، pH، EC، درصد کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر، سدیم، پتاسیم، کلسیم، آهن، منگنز، روی و مس قابل‌جذب اندازه‌گیری شدند و نتایج در جدول ۱ ارائه شد. زیست‌توده اولیه مورد استفاده شامل لجن فاضلاب شهری از تصفیه‌خانه فاضلاب شهر میانه، استان آذربایجان شرقی تهیه شد. برای تولید هیدروچار، مقدار مشخصی از زیست‌توده به‌همراه مقدار مشخصی آب مقطر به درون واکنش‌جا (رآکتور) دستگاه هیدروچار ریخته و درب آن محکم بسته شد. نمونه زیست‌توده در داخل دستگاه در دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس و فشار ۲۱ اتمسفر به‌مدت ۱۲ ساعت حرارت داده شد. سپس بخش مایع و جامد با استفاده از کاغذ صافی جداسازی شد. در بخش جامد هیدروچار تولید شده، برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مهم نظیر عملکرد، درصد خاکستر، pH، EC، N، P، K، Na، Ca، Mg، Fe، Mn، Cu و Zn اندازه‌گیری شد و نتایج در جدول ۲ ارائه شد. دو کیلوگرم خاک داخل گلدان‌ها ریخته شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار و ۳ فاکتور شامل ماده آلی (شاهد، ۱۰ گرم لجن فاضلاب و ۱۰ گرم هیدروچار لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک)، مس در سه سطح (صفر، ۱۰ و ۲۵۰ میلی‌گرم مس در کیلوگرم خاک) از منبع سولفات مس و نیتروژن در دو سطح (۰ و ۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) از منبع اوره انجام شد. خاک داخل گلدان‌ها به مدت دو هفته برای رسیدن به تعادل نسبی به حالت غرقاب با کمی آب (حدود یک سانتی‌متر) در سطح خاک نگه داشته شد و سپس ۸ عدد بذر جوانه‌دار شده برنج (*Oryza* sativa L.) رقم گوهر انتخاب و در هر گلدان با خاک اشباع کاشته شد. بعد از اطمینان از استقرار گیاهچه‌ها، گیاهان به چهار عدد در هر گلدان تنک شدند (شکل ۱). در طول دوره رشد، شاخص کلروفیل برگ‌ها و تعداد برگ‌های سالم در زمان‌های مختلف تعیین شد. میزان خاکستر هیدروچار و زیست‌توده با استفاده از کاهش وزن آنها بعد از قرار گرفتن در کوره در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۶ ساعت به دست آمد. تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTATC و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در پژوهش حاضر

کلاس بافت خاک	کربن آلی (٪)	CCE (٪)	pH (۱:۱)	EC (dS/m) (۱:۱)	غلظت عناصر (mg/kg)							
					N	P	K	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
لوم شنی	۰/۷۹	۳۰/۷	۷/۵۹	۲/۵۷	۰/۰۵	۴/۸۰	۱۸۸	۱۹	۲/۱۳	۷/۳	۰/۵۶	۰/۰۶

جدول ۲- ویژگی‌های لجن فاضلاب و هیدروچار آن

ماده آلی	عملکرد (٪)	خاکستر (٪)	pH	EC (dS/m)	غلظت عناصر (mg/g)									
					N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
لجن فاضلاب	-	۳۳/۶۰	۶/۶۵	۱/۷۲	۴۲/۷	۲۲/۸	۲/۴۳	۱۶/۵	۳۱/۸	۲/۷۹	۲/۸۰	۰/۱۴	۰/۱۳	۱/۳۳
هیدروچار	۴۳/۲	۴۱/۶	۶/۲۵	۱/۰۹	۳۳/۴	۱۴/۶	۱/۵۲	۲۱/۴	۱/۸۰	۰/۹۳	۳/۵۱	۰/۱۴	۰/۲۰	۰/۲۷



شکل ۱- نمایی از گیاهان برنج در تیمارهای مختلف ۱۰۰ روز پس از کشت در گلخانه (راست)، هیدروچار لجن فاضلاب (وسط) و دستگاه هیدروچار (چپ)

نتایج و بحث

تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی ماده آلی، نیتروژن، مس، اثر متقابل دوجانبه ماده آلی × مس و مس × نیتروژن در سطح احتمال یک درصد بر تعداد برگ سالم در بوته معنی‌دار بودند اما اثر متقابل دوجانبه ماده آلی × نیتروژن و اثر متقابل سه‌جانبه فاکتورهای مورد مطالعه غیرمعنی‌دار بودند (جدول ۳). مقایسه میانگین‌های تعداد برگ سالم در بوته نشان داد که استفاده از لجن فاضلاب تعداد برگ سالم را نسبت به شاهد افزایش داد. مصرف ۲۵۰mg N/kg، تعداد برگ سالم در بوته را نسبت به شاهد به‌طور معنی‌دار افزایش داد. بین سه سطح مس هم تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای از نظر اثر بر تعداد برگ سالم در بوته وجود داشت. با مصرف ۱۰mg Cu/kg تعداد برگ سالم در بوته تغییر معنی‌داری نسبت به شاهد نداشت اما با مصرف mg ۲۵۰Cu/kg تعداد برگ سالم در بوته نسبت به شاهد و سطح ۱۰mg Cu/kg به‌طور معنی‌دار کاهش یافت (جدول ۴). دلیل رشد بهتر گیاه با مصرف کود اوره، کاهش pH خاک است که سبب افزایش فراهمی عناصر غذایی مختلف، بهبود تغذیه و رشد گیاه می‌شود. کاربرد نیتروژن باعث افزایش غلظت کلروفیل برگ‌ها شده و رشد و گسترش آن‌ها را افزایش می‌دهد (Marschner, 2003). علت افزایش تعداد برگ سالم در حضور توأم نیتروژن و لجن فاضلاب فراهمی بیش‌تر و سریع‌تر بخشی از عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در طول دوره رشد آن می‌باشد.

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) شاخص کلروفیل، تعداد برگ‌ها و درصد خاکستر گیاه برنج و pH و EC خاک

منبع تغییر	df	تعداد برگ سالم	شاخص کلروفیل برگ	pH خاک	EC خاک	خاکستر شاخساره	خاکستر ریشه
ماده آلی (OM)	۲	۱۰۴۸/۴۴**	۳۷/۱۲**	۱۳/۱۲**	۱/۴۴**	۱۸۳/۷۴**	۸۸۸/۸۳**
مس (Cu)	۲	۶۹/۰۰**	۸/۸۶*	۱/۱۴^{ns}	۰/۶۴**	۵۰/۹۲**	۴۱/۰۰*
نیتروژن (N)	۱	۹۱۴/۷۲**	۵۸۵/۴۸**	۰/۲۲^{ns}	۰/۶۴**	۱۹۵/۲۰**	۶۵۸/۲۱**
OM × Cu	۴	۸۳/۶۵**	۷/۱۷^{ns}	۰/۹۸^{ns}	۱/۶۵**	۲/۶۱^{ns}	۱۹/۳۵^{ns}
OM × N	۲	۲/۶۷^{ns}	۱۰/۸۵**	۰/۲۴^{ns}	۰/۴۳**	۵۷/۸۶**	۵۶/۲۱**
Cu × N	۲	۷۶/۹۴**	۱/۵۳^{ns}	۰/۰۵^{ns}	۰/۲۱^{ns}	۳۷/۵۵**	۳/۲۱^{ns}
OM × Cu × N	۴	۳۸/۷۲^{ns}	۱/۱۳^{ns}	۴/۲۳^{ns}	۰/۲۰^{ns}	۱۰/۵۵^{ns}	۱۴/۸۴^{ns}
خطای آزمایش	۳۶	۱۸۳/۲۵	۴۲/۶۵	۱۳/۴۸	۱/۵۱	۶۳/۴۶	۱۸۰/۸۲
ضریب تغییرات (درصد)		۱۶/۴۳	۱۳/۷۴	۸/۴۵	۱۷/۸۸	۷/۸۸	۸/۸۳

^{ns}، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد؛ df: درجه آزادی

تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی ماده آلی، نیتروژن و اثر متقابل دوجانبه ماده آلی × نیتروژن در سطح احتمال یک درصد و اثر اصلی مس در سطح احتمال پنج درصد بر شاخص کلروفیل برگ‌ها معنی‌دار بودند؛ اما اثرهای متقابل دوجانبه ماده آلی × مس و مس × نیتروژن و اثر متقابل سه‌جانبه فاکتورهای مورد مطالعه غیرمعنی‌دار بودند (جدول ۳). مقایسه میانگین‌های شاخص کلروفیل نشان داد که استفاده از لجن فاضلاب، شاخص کلروفیل را نسبت به شاهد افزایش داد. مصرف ۲۵۰mg N/kg، شاخص کلروفیل را نسبت به شاهد به‌طور معنی‌دار افزایش داد. با مصرف ۱۰mg Cu/kg شاخص

کلروفیل تغییر معنی‌داری نسبت به شاهد نداشت اما با مصرف ۲۵۰mg Cu/kg شاخص کلروفیل نسبت به شاهد و سطح ۱۰mg Cu/kg به‌طور معنی‌دار افزایش یافت (جدول ۴). کاربرد لجن فاضلاب و هیدروچار آن به همراه نیتروژن، باعث افزایش شاخص کلروفیل برگ گیاه شد که می‌تواند ناشی از افزایش فراهمی عناصر غذایی در خاک و بهبود تغذیه گیاه باشد. معدنی شدن نیتروژن در خاک‌های اصلاح شده با پسماندهای آلی یک فرایند پیچیده بوده و به ویژگی‌های خاک از قبیل نوع خاک، pH، دما، تهویه، رطوبت، نوع و مقدار پسماند آلی افزوده شده بستگی دارد. از این‌رو شاخص کلروفیل برگ‌های گیاه می‌تواند تحت تأثیر این عامل‌ها قرار گیرد (Hesu و همکاران ۲۰۰۵). Abbasi و همکاران (۲۰۱۳) بیش‌ترین شاخص کلروفیل برگ را در تیمار ۲۰ گرم لجن فاضلاب بر کیلوگرم خاک و ۵۰٪ کودهای شیمیایی و کمترین مقدار آن را در تیمار شاهد مشاهده کردند. Fageria و Baligar (۲۰۰۲) گزارش کردند که مصرف مس باعث کاهش غلظت کلسیم، منیزیم و آهن در برنج شد. بنابراین، به‌دلیل شرکت آهن و نیتروژن در ساختار کلروفیل، کاهش شاخص کلروفیل در سطح بالای مس دور از انتظار نبود.

تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی ماده آلی در سطح احتمال یک درصد بر pH خاک معنی‌دار بود؛ اما اثر اصلی نیتروژن، مس و اثرهای متقابل دوجانبه و سه‌جانبه فاکتورهای مورد مطالعه غیرمعنی‌دار بودند (جدول ۳). مقایسه میانگین‌های pH نشان داد که استفاده از لجن فاضلاب، pH خاک را نسبت به شاهد افزایش داد. استفاده از هیدروچار لجن فاضلاب pH خاک را به‌طور معنی‌دار نسبت به شاهد و لجن فاضلاب کاهش داد؛ به‌طوری‌که pH خاک در حضور لجن فاضلاب ۷/۸۱ و در حضور هیدروچار لجن فاضلاب ۶/۶۱ بود؛ این تغییرات pH می‌تواند در جذب مس و تحمل گیاه برنج در برابر سمّیت مس مؤثر باشد. Najafi and Mardomi (۲۰۱۲) گزارش کردند کاربرد ۳۰ گرم بر کیلوگرم کود دامی، pH محلول خاک را نسبت به شاهد به‌طور معنی‌دار افزایش داد که دلیل آن را افزایش غلظت فلزات قلیایی مثل سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم دانستند. آنان گزارش کردند با مصرف لجن فاضلاب pH محلول خاک نسبت به شاهد به‌طور معنی‌دار کاهش یافت. مصرف ۲۵۰mg N/kg، pH را نسبت به شاهد ۰/۱۴ واحد کاهش داد اما این کاهش از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. بین سه سطح مس از نظر اثر بر pH تفاوت معنی‌دار وجود نداشت؛ با این‌حال، مصرف ۲۵۰mg Cu/kg، pH خاک را نسبت به شاهد ۰/۲۴ واحد کاهش داد (جدول ۴).

تجزیه واریانس نشان داد که اثرهای اصلی ماده آلی، نیتروژن و مس، اثرهای متقابل دوجانبه ماده آلی × مس و ماده آلی × نیتروژن در سطح احتمال یک درصد بر EC محلول خاک معنی‌دار بودند، اما اثر متقابل دوجانبه مس × نیتروژن و اثر متقابل سه‌جانبه فاکتورهای مورد مطالعه غیرمعنی‌دار بودند (جدول ۳). استفاده از لجن فاضلاب و هیدروچار آن، EC محلول خاک را نسبت به شاهد کاهش داد. Najafi and Mardomi (۲۰۱۲) گزارش کردند با کاربرد لجن فاضلاب و کود دامی و افزایش مقدار مصرف آن‌ها، EC خاک افزایش یافت که ناشی از بیش‌تر بودن EC کود دامی و لجن فاضلاب نسبت به خاک بود. بین دو سطح نیتروژن تفاوت معنی‌دار وجود داشت و با مصرف نیتروژن، EC خاک نسبت به شاهد به‌طور معنی‌دار کاهش یافت. بین سه سطح مس هم تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای از نظر اثر بر EC محلول خاک وجود داشت. با مصرف ۱۰mg Cu/kg، EC تغییر معنی‌داری نسبت به شاهد نداشت اما با مصرف ۲۵۰mg Cu/kg، EC نسبت به شاهد و سطح ۱۰mg Cu/kg به‌طور معنی‌دار افزایش یافت (جدول ۴). EC لجن فاضلاب بعد از تبدیل‌شدن به هیدروچار کاهش یافت که احتمالاً به علت غلظت کم عناصر مانند سدیم، پتاسیم و منیزیم در آن می‌باشد (جدول ۲). کم بودن شوری هیدروچار لجن فاضلاب نسبت به زیست‌توده آن برای افزودن آن به خاک یک مزیت محسوب می‌شود.

تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی ماده آلی، مس و نیتروژن، اثر متقابل دوجانبه ماده آلی × نیتروژن و مس × نیتروژن در سطح احتمال یک درصد بر درصد خاکستر شاخساره معنی‌دار بودند اما اثر متقابل دوجانبه ماده آلی × مس و اثر متقابل سه‌جانبه فاکتورهای مورد مطالعه غیرمعنی‌دار بودند (جدول ۳). مقایسه میانگین‌های درصد خاکستر شاخساره نشان داد که استفاده از لجن فاضلاب و هیدروچار آن، درصد خاکستر شاخساره را نسبت به شاهد افزایش داد. مصرف ۲۵۰mg N/kg درصد خاکستر شاخساره را نسبت به شاهد به‌طور معنی‌دار افزایش داد. بین سه سطح مس هم تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای از نظر اثر بر درصد خاکستر شاخساره وجود داشت. با مصرف ۲۵۰mg Cu/kg درصد خاکستر شاخساره تغییر معنی‌داری نسبت به شاهد نداشت اما با مصرف ۱۰mg Cu/kg درصد خاکستر شاخساره نسبت به شاهد به‌طور معنی‌دار افزایش یافت (جدول ۴). Wang و همکاران (۲۰۱۳) درصد خاکستر به‌دست آمده از زیست‌توده‌های علفی (کلش گندم، ذرت و برنج) را به‌طور میانگین ۳۰/۹ به‌دست آوردند در حالی‌که در مطالعه ما درصد خاکستر برنج کمتر از ۲۲ درصد تعیین شد. با وجود درصد خاکستر بالای لجن فاضلاب، هیدروچار آن نیز از درصد خاکستر بالایی برخوردار بود که احتمالاً به انحلال کمتر آن هنگام فرایند کربونیزه شدن گرمآبی مربوط می‌باشد (جدول ۲).

تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی ماده آلی، نیتروژن، اثر متقابل دوجانبه ماده آلی × نیتروژن در سطح احتمال یک درصد و اثر اصلی مس در سطح احتمال پنج درصد بر درصد خاکستر ریشه معنی‌دار بودند اما اثرهای مقابل دوجانبه ماده آلی × مس، مس × نیتروژن و اثر متقابل سه‌جانبه فاکتورهای

مورد مطالعه غیرمعنی‌دار بودند (جدول ۳). مقایسه میانگین‌های درصد خاکستر ریشه نشان داد که استفاده از لجن فاضلاب درصد خاکستر ریشه را نسبت به شاهد افزایش داد. مصرف ۲۵۰mg N/kg درصد خاکستر ریشه را نسبت به شاهد به‌طور معنی‌دار افزایش داد. بین سه سطح مس تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای از نظر اثر بر درصد خاکستر ریشه وجود داشت. با مصرف ۱۰mg Cu/kg درصد خاکستر ریشه تغییر معنی‌داری نسبت به شاهد نداشت اما با مصرف ۲۵۰mg Cu/kg درصد خاکستر ریشه نسبت به شاهد و سطح ۱۰mg Cu/kg به‌طور معنی‌دار کاهش یافت (جدول ۴). درصد خاکستر هیدروچار به عملکرد آن و میزان حل‌پذیری و خارج شدن عناصر از زیست‌توده بستگی دارد. بر همین اساس، درصد خاکستر بیش‌تر لجن فاضلاب در مقایسه با هیدروچار آن، احتمالاً به انحلال بیش‌تر آن و آزاد شدن عناصر معدنی در آن مربوط باشد. به‌طورکلی، درصد خاکستر ریشه (با میانگین کل ۲۵/۴) بیش‌تر از درصد خاکستر شاخساره (با میانگین کل ۱۶/۸) بود که می‌تواند ناشی از غلظت بیش‌تر عناصر غذایی در ریشه و رسوب ترکیب‌های آهن روی آن باشد.

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های شاخص کلروفیل، تعداد برگ‌ها و درصد خاکستر گیاه برنج و pH و EC خاک برای اثر اصلی عامل‌های مورد مطالعه

عامل	سطوح	تعداد برگ سالم	شاخص کلروفیل	pH خاک	EC خاک (dS/m)	خاکستر شاخساره (٪)	خاکستر ریشه (٪)
ماده آلی (g/kg)	شاهد	۸/۵۱ c	۷/۰۰c	۷/۲۸b	۱/۳۷a	۱۴/۳۰c	۱۹/۹۹c
	لجن فاضلاب	۱۹/۲۹ a	۹/۰۱a	۷/۸۱a	۱/۰۶b	۱۸/۶۳a	۲۹/۷۷a
	هیدروچار لجن فاضلاب	۱۳/۴۰ b	۷/۷۴b	۶/۶۱c	۰/۹۹b	۱۷/۵۹b	۲۶/۳۸b
مس (mg/kg)	۰	۱۴/۸۳ a	۷/۴۶b	۷/۲۸a	۱/۱۲b	۱۶/۵۲b	۲۵/۴۶ab
	۱۰	۱۴/۱۹ a	۷/۸۵ab	۷/۳۹a	۱/۰۲b	۱۸/۱۶a	۲۶/۴۱a
	۲۵۰	۱۲/۱۸ b	۸/۴۴a	۷/۰۴a	۱/۲۹a	۱۵/۸۴b	۲۴/۲۸b
نیتروژن (mg/kg)	۰	۹/۶۲ b	۴/۶۲ b	۷/۳۰ a	۱/۲۵ a	۱۴/۹۴ b	۲۱/۸۹ b
	۲۵۰	۱۷/۸۵ a	۱۱/۲۱ a	۷/۱۷ a	۱/۰۳ b	۱۸/۷۴ a	۲۸/۸۷ a

در هر عامل و هر ستون، اعدادی که یک حرف لاتین مشترک دارند، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که با مصرف لجن فاضلاب و هیدروچار آن به‌همراه ۲۵۰mg N/kg، تعداد برگ سالم، شاخص کلروفیل و درصد خاکستر شاخساره و ریشه گیاه برنج نسبت به شاهد به‌طور معنی‌دار افزایش یافت؛ اگرچه میزان این افزایش در حضور لجن فاضلاب بیش‌تر از هیدروچار آن بود. مصرف ۲۵۰mg Cu/kg نسبت به سطح صفر مس باعث کاهش معنی‌دار صفات مذکور شد. در هر دو شرایط آلوده و غیرآلوده به مس، مصرف لجن فاضلاب و هیدروچار آن به‌میزان ۱۰g/kg و نیتروژن به‌میزان ۲۵۰mg /kg می‌تواند در شرایط مشابه توصیه شود. باتوجه‌به اینکه مصرف هیدروچار موجب کاهش pH و EC خاک شد، می‌توان از این ماده به عنوان اصلاحگر در خاک‌های آهکی استفاده کرد با این حال لازم است پژوهش‌های بیشتری در این مورد در خاک‌های آهکی و قلیایی مناطق گرم و خشک ایران انجام شود. باتوجه‌به تفاوت شرایط گلخانه‌ای و شرایط مزرعه‌ای، پیشنهاد می‌شود این آزمایش در شرایط مزرعه‌ای و در یک خاک آلوده به مس نیز انجام شود. تحقیقات مختلف نشان داده است که هیدروچار می‌تواند بسیاری از ترکیبات آلی طبیعی و یا ترکیبات دارای منشأ انسانی را که ممکن است دارای اثرهای سمّی باشند، جذب نماید؛ بنابراین استفاده از هیدروچار لجن فاضلاب با کاهش غلظت مس در بخش هوایی برنج می‌تواند اثر سمّیت مس را کاهش دهد. بررسی ما نشان داد که مصرف کود نیتروژن با کاهش غلظت مس در بخش هوایی گیاه می‌تواند تحمل گیاه را در برابر سمّیت مس افزایش دهد. همچنین نیتروژن با شرکت در ساختمان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان سبب افزایش تشکیل این آنزیم‌ها و جارو شدن گونه‌های فعال اکسیژن در شرایط زیادی مس می‌شود.

منابع

Abbasi, M., Najafi, N., Aliasgharzad, N. and Oustan, S. 2013. Effects of soil water conditions, sewage sludge, poultry manure and chemical fertilizers on the growth Characteristics and water use efficiency of rice plant in a calcareous soil. Water and Soil Science, 23 (1): 189-208.

Alloway, B. J. 1995. Heavy Metals in Soils. 2nd. Chapman & Hall, UK. Pp: 354.

Azimzadeh, Y., Najafi, N., Reyhanitabar, A. and Oustan, S. 2019. Investigation of properties of liquid and solid fractions of hydrochars produced from apple wood wastes at different temperatures and times of hydrothermal carbonization. 2019. Iranian Journal of Soil Research, 32(4): 493-510. (In Persian with English abstract).

Fageria, N. K and Baligar, V. C. 2010. Response of common bean, upland rice, corn, wheat and soybean to soil fertility of an oxisol. Journal of Plant Nutrition, 20: 1279-1289.

Hseu, Z.Y. and Huang, C.C. 2005. Nitrogen mineralization potentials in three tropical soils treated with biosolids. Chemosphere, 59: 447-454.

Marschner, H. 2003. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, USA.

Mohammadnejad, A., Najafi, N. and Nishabouri, M.R. 2015. Effects of three types of organic fertilizers on the growth characteristics and water use efficiency of corn at different levels of soil compaction. Journal of Soil Management and Sustainable, 5 (2): 25-47.

Najafi, N. and Mardomi, S. 2012. The effects of waterlogging, sewage sludge and manure on the growth characteristics of sunflower in a sandy loam soil. Journal of Water and Soil, 25(6): 1264-1276. (In Persian with English abstract).

Novak, J. A., Spokas, K. A., Cantrell, K. B., Ro, K. S., Watts, D. W., Glaz, B., Busscher, W. J., 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.

Wang, Y., Hu, Y., Zhao, X., Wang, S. and Xing, G. 2013. Comparisons of biochar properties from wood material and crop residues at different temperatures and residence time. Energy and Fuel, DOI: 10.1021/ef400972

16th Iranian Soil Science Congress

University of Zanjan, Iran, August 27-29, 2019

Topic for submission: Soil Fertility, Plant Nutrition and Greenhouse Cultivation

Effects of Sewage Sludge-Derived Hydrochar and Nitrogen on Leaf Chlorophyll Index, Leaves Number and ash content of Rice and pH and EC of a Cu-Spiked Soil under Greenhouse Conditions

Abdolmaleki[*1], E., Najafi[2], N. Reyhanitabar[3], A.

[1] M. Sc. Student, Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Tabriz, Iran

[2] Associate Prof., Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Tabriz, Iran

[3] Associate Prof., Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Tabriz, Iran

Abstract

The present study was conducted to investigate the effect of sewage sludge-derived hydrochar, N fertilizer and Cu contamination on leaf chlorophyll index, leaves number, and ash percentage of rice (*Oryza sativa* L.) cv. Gohar shoot and root, and pH and EC of a calcareous Cu- spiked soil. A greenhouse experiment was performed in a factorial combination based on completely randomized design with three replications and three factors of organic matter at three levels (control, 10 g sewage sludge and 10 g sewage sludge hydrochar per kg soil), N at two levels (0 and 250 mg/kg soil as urea), and Cu at three levels (0, 10 and 250 mg/kg soil as $CuSO_4.5H_2O$). The results showed that the highest leaf chlorophyll index, leaves number, and ash percentage of shoot and root were observed at 10 g sewage sludge/kg, 250 mg N/kg and no-Cu condition. The lowest values of these attributes were obtained in the no-organic matter and no- N under Cu contaminated condition. The pH and EC of the soil decreased, while the chlorophyll index, number of leaves and ash percentage of rice root and shoot increased by hydrochar application. Therefore, with regard to acid pH and nutrient concentration of hydrochar, it is possible to use sewage sludge hydrochar as fertilizer and amendment in calcareous soils. Generally, application of 10 g sewage sludge or its hydrochar and 250 mg N per kg of Cu contaminated and uncontaminated soil can be recommended for optimal growth of rice under greenhouse conditions.

Keywords: Copper, Hydrochar, Urea, Rice, Sewage Sludge

[*] Corresponding author, Email: abdolmalekielnaz@gmail.com