نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۹، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، ص. ۲۷۵-۲۶۲

Journal of Agroecology
Vol. 9, No. 1, Spring 2017, p. 262-275

ارزیابی تولید خالص اولیه (NPP) و تسهیم کربن به اندام‌های مختلف گیاه ذرت (*Zea mays* L.) تحت تأثیر سیستم‌های خاک‌ورزی و مدیریت تغذیه‌ای

عصمت محمدی [۱*]، حمیدرضا اصغری [۲]، احمد غلامی [۲]، سرور خرم دل [۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۱/۱۹

محمدی، ع.، اصغری، ح.ر.، غلامی، ا.، و خرم دل، س. ۱۳۹۶. ارزیابی تولید خالص اولیه (NPP) و تسهیم کربن به اندام‌های مختلف گیاه ذرت (*Zea mays* L.) تحت تأثیر سیستم‌های خاک‌ورزی و مدیریت تغذیه‌ای. بوم‌شناسی کشاورزی، ۹(۱): ۲۷۵-۲۶۲.

چکیده

به منظور ارزیابی تأثیر سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی و مدیریت تغذیه‌ای بر میزان تولید خالص اولیه و تسهیم کربن به اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاه ذرت (*Zea mays* L.)، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ اجرا شد. سیستم‌های خاک‌ورزی در دو سطح (مرسوم و کم‌خاک‌ورزی) به عنوان عامل اصلی و مدیریت تغذیه‌ای شامل (شاهد، کود شیمیایی، کود دامی، بیوچار، کود شیمیایی+ بیوچار، کود شیمیایی+ دامی، کود دامی+ بیوچار) به عنوان عامل فرعی مدنظر قرار گرفتند. نتایج نشان داد که اثر مدیریت تغذیه‌ای بر عملکرد زیست‌توده اندام‌های هوایی و زیرزمینی، وزن کل، تولید خالص اولیه و کربن تسهیم یافته به اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاه ذرت معنی‌دار بود. بیشترین و کمترین تولید خالص اولیه اندام‌های هوایی به ترتیب در تیمار کود شیمیایی و شاهد با ۷۹۲/۵۰ و ۵۱۹/۳۰ گرم کربن بر مترمربع در فصل زراعی به‌دست آمد و بیشترین تولید خالص اولیه اندام‌های زیرزمینی نیز در تیمار کود شیمیایی+ دامی با ۱۴۵/۹۸ گرم کربن بر مترمربع در فصل زراعی و کمترین میزان آن در شاهد با ۸۶/۶۱ گرم کربن بر مترمربع در فصل زراعی مشاهده شد. تیمارهای کود دامی و بیوچار تولید خالص اولیه اندام‌های زیرزمینی را به ترتیب ۵۴/۹۱ و ۵۳/۲۱ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با کود شیمیایی و کود شیمیایی+ دامی نداشتند. بنابراین نتایج این آزمایش نشان داد که با استفاده از تیمار کم‌خاک‌ورزی و همچنین کاربرد تیمارهای بیوچار و کود دامی می‌توان میزان تولید خالص اولیه اندام‌های زیرزمینی و کربن تسهیم یافته به اندام‌های زیرزمینی را افزایش داد که از طریق افزودن بقایای ریشه به خاک، کربن موجود در ریشه‌ها را در خاک حفظ کرد و مانع انتشار آن به اتمسفر شد.

واژه‌های کلیدی: بیوچار، چیزل، خاک‌ورزی مرسوم، کود دامی، کود شیمیایی

مقدمه

امروزه تخریب زمین و بیابان‌زایی، تهدید تنوع زیستی، تغییر اقلیم، تخریب لایه ازن، تضعیف منابع آب و تخریب جنگل‌ها از مهمترین چالش‌ها در مسیر دست‌یابی به توسعه پایدار می‌باشند. عامل اصلی وقوع تغییرات درازمدت اقلیمی در کره زمین، گرمایش جهانی ناشی از تشدید اثرات گلخانه‌ای می‌باشد که در این بین نقش گازهای گلخانه‌ای به خصوص دی‌اکسیدکربن بسیار برجسته می‌باشد (Fallahi et al., 2015). غلظت دی‌اکسیدکربن در اتمسفر در حال افزایش بوده و حدود ۳۹۰/۵ ppm می‌باشد (Forte et al., 2017). در نظام‌های کشاورزی فعالیت‌هایی مانند خاک‌ورزی به خصوص خاک‌ورزی سیستم‌های رایج (برگرداندار)، استفاده بی‌رویه از نهاده‌های شیمیایی، خاک‌ورزی پاک [۴] و مدیریت ناصحیح حاصلخیزی خاک موجب آزادسازی کربن به اتمسفر می‌شود (Boroumand Rezazadeh, 2013). از این رو لازم است تا تمامی راهکارهای

۱ ، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود و دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: esmat.mohammadi63@gmail.com)
DOI:10.22067/jag.v9i1.61446

4- Clean tillage

ممکن برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به خصوص دی‌اکسیدکربن مد نظر قرار گرفته و به موضوع ترسیب کربن[1] توجه بیشتری معطوف گردد.

گیاهان با جذب دی‌اکسیدکربن در طی فتوسنتز قادرند مقدار زیادی از کربن آلی را در اندام‌های هوایی و زیرزمینی خود ذخیره نمایند. در یک بوم‌نظام کشاورزی تولید خالص اولیه، مجموع کربن تثبیت شده در اندام‌های مختلف هوایی و زیرزمینی گیاه می‌باشد که در صورت حفظ آن می‌توان به کاهش غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفری کمک نمود. محاسبه تولید خالص اولیه گیاهان از یک طرف می‌تواند نشان‌دهنده مقدار تولید بیوماس گیاهی و از طرف دیگر برآوردی از دی‌اکسیدکربن جذب شده از اتمسفر باشد (Khorramdel et al., 2010). خرم دل (Khorramdel, 2011) در یک بررسی بر روی گیاه ذرت (*Zea mays* L.) گزارش کرد که تأثیر تیمارهای مختلف مدیریت نظام زراعی بر تولید خالص اولیه ذرت معنی‌دار بوده و بیشترین و کمترین تولید خالص اولیه ذرت به ترتیب در نظام زراعی پرنهاده و نظام کم‌نهاده بر پایه مصرف کمپوست به‌دست آمد. در این بررسی بیان شد که پایین‌تر بودن میزان تسهیم مواد فتوسنتزی برای رشد اندام‌های مختلف ذرت در نظام کم‌نهاده بر پایه مصرف کمپوست، سبب کاهش تولید زیست‌توده اندام‌های مختلف گیاهی و در نهایت کاهش تولید خالص در این نظام زراعی شد. از طرفی مصرف نیتروژن به صورت شیمیایی به دلیل فراهمی سریع نیتروژن باعث تحریک رشد رویشی، تولید مواد فتوسنتزی بیشتر و در نهایت افزایش تولید خالص کل گردید.

استفاده از بیوچار یکی از روش‌های تخفیف اثرات افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن می‌باشد. این ماده، ترکیب کربنی بسیار پایداری است که در اثر تجزیه حرارتی زیست‌توده در دمای بین ۳۵۰ تا ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد و در غیاب اکسیژن تولید می‌شود. بنابراین ضمن تولید انرژی، باقی‌مانده آن نیز به خاک برگردانده می‌شود (Whitman & Lehmann, 2009). مصرف این ماده در خاک ضمن اصلاح خصوصیات کیفی خاک، به عنوان سازوکاری درازمدت برای ترسیب کربن شناخته می‌شود (Fallahi, 2013; Smith et al., 2010). اضافه کردن بیوچار به خاک از طریق افزایش pH و افزایش ظرفیت نگهداری آب همراه با بهبود قابلیت دسترسی عناصر غذایی باعث افزایش عملکرد گیاه می‌شود (Jeffery et al., 2011). افزایش عملکرد گیاه ذرت در اثر استفاده از بیوچار توسط یو و همکاران (Yu et al., 2014) نیز گزارش شده است.

کاربرد سیستم‌های خاک‌ورزی رایج باعث فراهم شدن شرایط مناسب برای جوانه‌زنی بذر، افزایش جذب عناصر غذایی و رشد و عملکرد گیاه شده (Ghasemi et al., 2016) ولی در درازمدت مشکلاتی از قبیل فرسایش، تخریب ساختمان خاک، افزایش معدنی شدن ماده آلی و کاهش عناصر غذایی موجود در خاک (Triplett & Dick, 2008) و در نهایت عدم شکل‌گیری پایداری اراضی زراعی را به دنبال دارد. از این رو اتخاذ شیوه‌های خاک‌ورزی حفاظتی، به عنوان مثال، سیستم‌های بدون خاک‌ورزی[2] و خاک‌ورزی حداقل[3] به میزان زیادی در دو دهه اخیر مورد توجه قرار گرفته است. سیستم‌های خاک‌ورزی حداقل به دلیل استفاده کمتر از سوخت‌های فسیلی، بهره‌وری بالاتر نیروی کار، نفوذ بهتر آب در خاک و کاهش فرسایش خاک به دلیل بقایای گیاهی موجود بر سطح خاک، نسبت به خاک‌ورزی مرسوم برتری دارند. برخی از مطالعات نشان داده‌اند که تحت شرایط مناسب، سیستم‌های خاک‌ورزی حداقل ممکن است عملکرد محصول و کارایی انرژی و منابع را بهبود دهند، همچنین می‌توانند در کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن و ترسیب کربن در خاک نقش داشته باشند (Kustermann et al., 2013; West & Marland, 2002).

با توجه به اینکه می‌توان با انتخاب مناسب‌ترین روش خاک‌ورزی و مدیریت تغذیه‌ای، میزان کربن تسهیم یافته در اندام‌های مختلف گیاه ذرت را افزایش داده و با اضافه کردن بقایای گیاهی به خاک، کربن اضافه شده به آن را در خاک حفظ کرد و مانع انتشار آن به اتمسفر شد، لذا مطالعه حاضر با هدف بررسی سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی و مدیریت تغذیه‌ای بر تولید خالص اولیه و تسهیم کربن به اندام‌های مختلف گیاه ذرت سینگل کراس[4] ۷۰۴ در شرایط آب و هوایی شهرستان شاهرود انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی و مدیریت

1- Carbon sequestration

2- No tillage
3- Reduced tillage
4- Single Cross

تغذیه‌ای بر تولید خالص اولیه و تسهیم کربن به اندام‌های مختلف گیاه ذرت، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ انجام شد. سیستم‌های خاک‌ورزی در دو سطح شامل خاک‌ورزی مرسوم با گاوآهن برگرداندار و یک بار دیسک و کم‌خاک‌ورزی با استفاده از چیزل به عنوان عامل اصلی و مدیریت تغذیه‌ای در هفت سطح شامل شاهد (بدون مصرف کود)، کود شیمیایی (۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل)، کود دامی (۲۰ تن در هکتار)، بیوچار (۲۰ تن در هکتار)، کود شیمیایی+ دامی (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل و ۱۰ تن در هکتار کود دامی)، کود شیمیایی+ بیوچار (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل و ۲۰ تن در هکتار بیوچار) و کود دامی+ بیوچار (۱۰ تن در هکتار کود دامی و ۲۰ تن در هکتار بیوچار) به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. هر کرت فرعی شامل پنج ردیف کاشت به طول شش متر و عرض سه و نیم متر بود. برای جلوگیری از عمل تداخل تیمارهای مورد بررسی یک خط به صورت نکاشت بین کرت‌های فرعی قرار گرفت. جهت تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از شروع آزمایش از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری شد. همچنین خصوصیات شیمیایی کود دامی (کود گاوی) و بیوچار قبل از اضافه شدن به خاک تعیین شد که نتایج آن در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است. بیوچار مورد استفاده در کوره و در شرایط عدم حضور اکسیژن از چوب گردو تهیه شده بود.

جدول ۱- ویژگی‌های خاک قبل از شروع آزمایش

Table 1- Soil properties before the start of experiment

بافت Texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) EC ($dS.m^{-1}$)	کربن آلی (درصد) OC (%)	نیتروژن کل (درصد) Total N (%)	فسفر قابل دسترس Available P (ppm)	پتاسیم قابل دسترس Available K (ppm)
لوم سیلتی Silty Loam	8.36	0.71	0.6	0.066	5.54	240

جدول ۲- ویژگی‌های شیمیایی مواد آلی (کود دامی و بیوچار) مورد استفاده در آزمایش

Table 2- Chemical properties of organic matters (manure and biochar) used in the experiment

ماده آلی Organic matter	اسیدیته pH	کربن آلی (درصد) OC (%)	نیتروژن کل (درصد) Total N (%)	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) EC ($dS.m^{-1}$)	فسفر (درصد) P (%)	پتاسیم (درصد) K (%)
کود دامی Manure	8.10	36.62	0.65	8.4	1.2	4
بیوچار Biochar	8.52	41.15	0.16	0.33	0.01	0.84

در فصل بهار ابتدا خاک‌ورزی مرسوم شامل خاک‌ورزی با گاوآهن برگرداندار همراه با یک دیسک و کم‌خاک‌ورزی شامل خاک‌ورزی با چیزل انجام شدند و بعد از اضافه کردن کود دامی، بیوچار و کود سوپرفسفات تریپل بذور ذرت سینگل کراس ۷۰۴ در نیمه اول خرداد ماه ۱۳۹۴ با فاصله ۲۰ سانتی‌متر روی ردیف کشت شدند. هر کرت فرعی شامل پنج خط کاشت با فواصل ۷۰ سانتی‌متر بود. آبیاری بلافاصله بعد از کاشت با تیپ انجام شد و نوبت‌های بعدی آبیاری هر سه روز در میان انجام شد. مصرف کود نیتروژن از منبع اوره بوده که به صورت سرک در سه مرحله همراه با آبیاری مصرف شد. علف‌های هرز نیز به صورت دستی وجین و کنترل شدند. در زمان رسیدگی کامل ذرت در مهرماه ۱۳۹۴، از اندام‌های هوایی و زیرزمینی ذرت در هر کرت نمونه‌برداری شد. برای این منظور از خطوط میانی هر کرت و پس از حذف نیم متر از بالا و پایین خطوط تعداد پنج بوته از هر کرت برداشت گردیدند و در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. سپس با ترازوی با دقت ۰/۰۱ گرمی وزن خشک گیاه مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

تولید خالص اولیه (گرم کربن بر مترمربع در فصل زراعی[1])، مجموع تولید خالص اولیه اندام‌های هوایی (ANPP[2]) و تولید خالص اولیه اندام‌های زیرزمینی (BNPP[3]) می‌باشد. تولید خالص اولیه اندام‌های هوایی از مجموع کربن تسهیم یافته به دانه (C_P) و سایر اندام‌های هوایی (C_S) و تولید خالص اولیه اندام‌های زیرزمینی از مجموع کربن تسهیم یافته به ریشه (C_R) و ترشحات ریشه‌ای (C_E) محاسبه شد. میزان کربن در کلیه اندام‌های گیاه تقریباً ۴۵ درصد عملکرد هر یک از این اندام‌ها بوده و کربن موجود در ترشحات ریشه‌ای نیز تقریباً برابر با ۶۵ درصد کربن موجود در ریشه در نظر گرفته می‌شود (معادلات ۱تا ۷) (Bolinder et al., 2007).

برای به‌دست آوردن C_P، C_S و C_R: به ترتیب وزن خشک دانه، سایر اندام‌های هوایی و ریشه در ضریب ۰/۴۵ ضرب شدند تا میزان کربن تسهیم یافته به این اندام‌ها محاسبه شود. همچنین برای محاسبه C_E از ضریب ۰/۶۵ استفاده شد. در معادلات ۴ تا ۶ Y_P، Y_S و Y_R به ترتیب نشان دهنده وزن خشک دانه، سایر اندام‌های هوایی و ریشه می‌باشند.

معادله (۱) $NPP = ANPP + BNPP$

معادله (۲) $ANPP = C_P + C_S$

معادله (۳) $BNPP = C_R + C_E$

معادله (۴) $C_P = Y_P \times 0.45$

معادله (۵) $C_S = Y_S \times 0.45$

معادله (۶) $C_R = Y_R \times 0.45$

معادله (۷) $C_E = C_R \times 0.65$

ضرایب نسبی تسهیم کربن به اندام‌های مختلف ذرت از نسبت تسهیم کربن به آن اندام به تولید خالص اولیه محاسبه شد (Bolinder et al., 2007) (معادلات ۸ تا ۱۱).

معادله (۸) $R_P = C_P/NPP$

معادله (۹) $R_S = C_S/NPP$

معادله (۱۰) $R_R = C_R/NPP$

معادله (۱۱) $R_E = C_E/NPP$

R_P، R_S، R_R و R_E: به ترتیب نشان‌دهنده ضریب نسبی تسهیم کربن به دانه، سایر اندام‌های هوایی، ریشه و ترشحات ریشه می‌باشند.

برای محاسبه ضریب نسبی کربن اضافه شده به خاک (R_I) نیز از نسبت کربن اضافه شده به خاک (C_I) بر تولید خالص اولیه استفاده شد (Bolinder et al., 2007) (معادلات ۱۲ و ۱۳).

معادله (۱۲) $C_I = [C_P \times S_P] + [C_S \times S_S] + [C_R \times S_R] + [C_E \times S_E]$

معادله (۱۳) $R_I = C_I/NPP$

در معادله ۱۲، S_P: نسبت کربن اضافه شده از طریق دانه ذرت به خاک می‌باشد که برابر با صفر در نظر گرفته شد و بقیه نسبت‌ها شامل S_S: نسبت کربن اضافه شده توسط سایر اندام‌های هوایی به خاک، S_R: نسبت کربن اضافه شده توسط ریشه به خاک و S_E: نسبت کربن اضافه شده توسط ترشحات ریشه به خاک برابر با یک در نظر گرفته شدند.

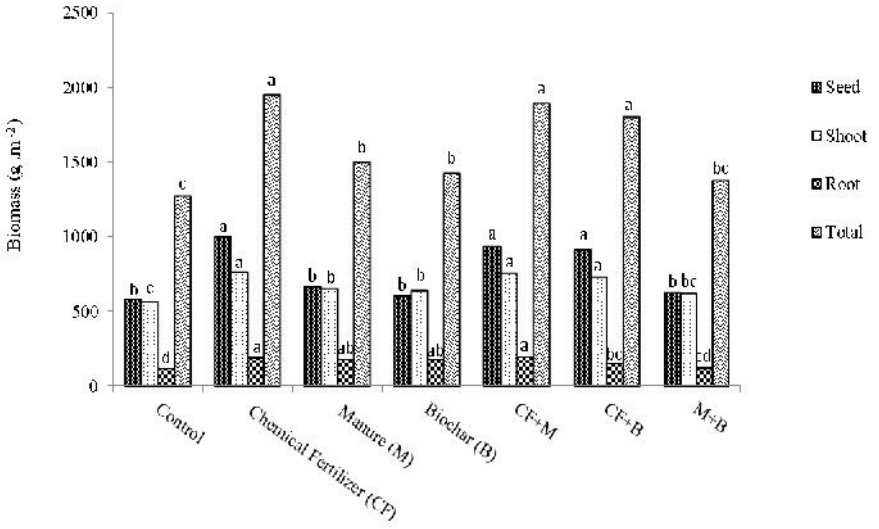
برای تجزیه‌های آماری از نرم افزار SAS 9.2 استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون LSD و در سطح احتمال پنج درصد انجام گردید و نمودارها در نرم افزار Excel ترسیم شدند.

نتایج و بحث

عملکرد زیست‌توده اندام‌های هوایی و زیرزمینی

اثر سیستم‌های خاک‌ورزی و اثر متقابل خاک‌ورزی و مدیریت تغذیه‌ای بر عملکرد زیست‌توده اندام‌های هوایی و زیرزمینی و کل، معنی‌دار نبود. دومینگز و همکاران (Domínguez et al., 2009) گزارش کردند که سیستم‌های خاک‌ورزی بر عملکرد دانه تأثیر معنی‌داری نداشتند، در حالی‌که کوددهی نیتروژن به طور معنی‌داری عملکرد دانه را افزایش داد. عدم معنی‌داری سیستم‌های خاک‌ورزی بر عملکرد ذرت توسط وینگارد و همکاران (Wyngaard et al., 2012) نیز گزارش شده است. تأثیرگذاری سیستم‌های خاک‌ورزی بر عملکرد گیاه از طریق تغییر در محتوای نیترات و محتوای آب خاک می‌باشد (Alvarez & Steinbach, 2009). در این مطالعه محتوای آب و نیترات خاک نیز اندازه‌گیری شد و نتایج نشان داد که سیستم‌های خاک‌ورزی اثر معنی‌داری بر آن‌ها نداشتند (داده‌ها نشان داده نشده است). البته بایستی به این مهم توجه کرد که تأثیرگذاری سیستم‌های خاک‌ورزی به خاک، اقلیم و دیگر عملیات مدیریتی بستگی دارد و مختص هر منطقه است و ممکن است اثرات متفاوتی داشته باشند. اثر مدیریت تغذیه‌ای بر عملکرد زیست‌توده اندام‌های هوایی و زیرزمینی معنی‌دار بود ($p \leq ۰/۰۱$).

1- g $C.m^{-2}$ yr^{-1}
2- Above ground net primary productivity
3- Below ground net primary productivity



شکل ۱- اثر مدیریت تغذیه‌ای بر عملکرد زیست توده دانه، اندام هوایی، ریشه و کل گیاه ذرت

Fig. 1- Effect of nutrient management on seed, shoot, root and total biomass of maize

میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ براساس آزمون LSD ندارند.

Means followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level according to LSD test.

بیشترین و کمترین عملکرد زیست‌توده دانه، اندام هوایی و کل به ترتیب در تیمار کود شیمیایی و شاهد به‌دست آمد (شکل ۱). از میان عناصر ماکرو، نیتروژن بیشترین اثر را در بسیاری از خاک‌ها در افزایش عملکرد ذرت دارد (Fabrizzi et al., 2005; Nagy, 2008; Nabati Nasaz et al., 2016). در تعدادی از فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه، نیتروژن نقش اساسی دارد و میزان فعالیت‌های فتوسنتزی، شاخص و دوام سطح برگ با افزایش مقدار نیتروژن افزایش می‌یابد. عملکرد زیست‌توده اندام هوایی در تیمار کود شیمیایی+ دامی و کود شیمیایی+ بیوچار نسبت به عملکرد زیست‌توده اندام هوایی در تیمار شاهد به ترتیب ۳۳/۵ و ۲۸/۷ درصد افزایش یافت که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با کود شیمیایی نداشتند. همچنین عملکرد زیست‌توده دانه در تیمارهای کود شیمیایی+ دامی و کود شیمیایی+ بیوچار ۶۰/۴ و ۵۶/۳ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. در یک بررسی بر روی گیاه گندم (*Triticum aestivum* L.) ژنگچاو و همکاران (Zhengchaoe et al., 2013) بیان کردند که با استفاده از کودهای نیتروژن و فسفر به همراه کود گاوی عملکرد دانه و بیوماس اندام هوایی به ترتیب ۶۹ و ۶۲ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. همچنین تیمارهای کود شیمیایی+ دامی و کود شیمیایی+ بیوچار به‌ترتیب باعث افزایش ۴۹ و ۴۱/۶ درصدی بیوماس کل نسبت به شاهد شدند که اختلاف آن‌ها با کود شیمیایی از لحاظ آماری معنی‌دار نبود.

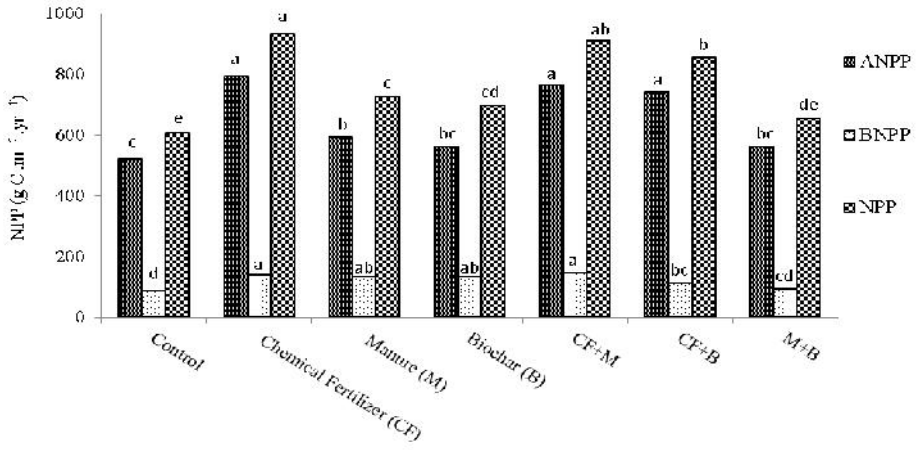
بیشترین عملکرد زیست‌توده ریشه در تیمار کود شیمیایی+ دامی و کمترین آن در تیمار شاهد به‌دست آمد. همچنین تیمارهای کود دامی و بیوچار به ترتیب باعث افزایش ۵۶ و ۵۴/۳ درصدی عملکرد زیست‌توده ریشه نسبت به شاهد شدند که البته اختلاف آن‌ها با تیمارهای کود شیمیایی و کود شیمیایی+ دامی معنی‌دار نبود. کود دامی رشد ریشه را از طریق بهبود خصوصیات فیزیکی خاک و قابلیت دسترسی آب و مواد غذایی افزایش می‌دهد. با افزایش پایداری ساختمان خاک و افزایش خاصیت الاستیسیته خاک در اثر اضافه شدن کود دامی به خاک، تراکم‌پذیری خاک کاهش می‌یابد و در این شرایط ریشه بهتر رشد می‌کند، تأثیر افزایش کود دامی بر بهبود تراکم طول ریشه توسط مصدقی و همکاران (Mosaddeghi et al., 2009) نیز گزارش شده است.

استفاده از بیوچار در سیستم‌های کشاورزی فشرده، می‌تواند از طریق بهبود خصوصیات فیزیکی خاک نظیر کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک و افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی (Chan et al., 2008; Zhang et al., 2010) به افزایش حاصلخیزی خاک، جذب عناصر غذایی توسط گیاه و تولید محصول کمک کند

(Steinbeiss et al., 2009). یبوه و همکاران (Yeboah et al., 2009) گزارش کردند در یک خاک لومی شنی، زیست‌توده ذرت با استفاده از سه تن در هکتار بیوچار و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن ۱۰/۵ درصد افزایش یافت در حالی که در یک خاک لومی سیلتی تفاوتی مشاهده نشد. به علاوه در آزمایش دیگری مشاهده شد که وزن ریشه‌های گیاه ذرت در اثر استفاده از بیوچار نسبت به شاهد افزایش یافت (Zheng et al., 2013).

تولید خالص اولیه، ضرایب نسبی و میزان تسهیم کربن به اندام‌های مختلف

سیستم‌های خاک‌ورزی اثر معنی‌داری بر تولید خالص اولیه، ضرایب نسبی و میزان تسهیم کربن به اندام‌های مختلف گیاه ذرت نداشتند. مقایسه میانگین اثر مدیریت تغذیه‌ای بر تولید خالص اولیه، تولید خالص اولیه اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاه ذرت در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- اثر مدیریت تغذیه‌ای بر تولید خالص اولیه اندام‌های هوایی (ANPP)، تولید خالص اولیه اندام‌های زیرزمینی (BNPP) و تولید خالص اولیه (NPP)

Fig. 2- Effect of nutrient management on aboveground net primary productivity (ANPP) and belowground net primary productivity (BNPP) and net primary productivity (NPP)

میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ براساس آزمون LSD ندارند

Means followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level according to LSD test

همان‌گونه که مشاهده می‌شود بالاترین تولید خالص اولیه اندام‌های هوایی در تیمار کود شیمیایی و کمترین میزان آن در تیمار شاهد به‌دست آمد. تیمارهای کود شیمیایی+ دامی، کود شیمیایی+ بیوچار تولید خالص اولیه اندام‌های هوایی را به ترتیب ۴۷ و ۴۲/۷ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند که با کود شیمیایی اختلاف معنی‌داری نداشتند. بیشترین و کمترین تولید خالص اولیه زیرزمینی نیز به ترتیب در تیمار کود شیمیایی+ دامی و شاهد حاصل شد. تولید خالص اولیه زیرزمینی در تیمارهای کود دامی و بیوچار به ترتیب ۵۴/۹ و ۵۳/۲ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت که از نظر آماری با تیمارهای کود شیمیایی، کود شیمیایی+ دامی تفاوت معنی‌داری نداشتند. همچنین تولید خالص اولیه در تیمارهای کود شیمیایی، کود شیمیایی+ دامی و کود شیمیایی+ بیوچار به ترتیب ۵۳/۹، ۵۰/۱ و ۴۱ درصد نسبت به شاهد افزایش یافتند.

به طور کلی، با افزایش کود نیتروژن، بیوماس اندام هوایی و ریشه گیاهان افزایش می‌یابد (Wyngaard et al., 2012). این امر می‌تواند ناشی از تأثیر نیتروژن بر افزایش سطح برگ و دوام آن باشد. با افزایش میزان نیتروژن اختصاص مواد فتوسنتزی به اندام‌هایی مانند ساقه و برگ افزایش می‌یابد و در نهایت باعث افزایش تجمع مواد در دانه می‌شود. این افزایش بیوماس باعث افزایش میزان بقایای برگردانده به خاک می‌شود (Studdert & Echeverria, 2000) که در اکوسیستم‌های کشاورزی مهمترین عامل کنترل‌کننده دینامیک کربن آلی خاک می‌باشد. در تحقیقی ژنگ و همکاران (Zhang et al., 2012) گزارش کردند که عملکرد ذرت بدون کوددهی نیتروژن و استفاده از ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار بیوچار به ترتیب ۱۵/۸ و ۷/۳ درصد

افزایش یافت، در حالی که استفاده از ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار بیوچار به همراه کود نیتروژن به ترتیب باعث افزایش ۸/۸ و ۱۲/۱ درصدی عملکرد ذرت شدند. آن‌ها بیان کردند که افزایش عملکرد ذرت می‌تواند به دلیل افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی و بهبود خصوصیات فیزیکی خاک مانند کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک باشد. همچنین در اثر استفاده از بیوچار، کارایی استفاده از نیتروژن به طور معنی‌داری افزایش یافت.

فراهمی مواد آلی و مواد غذایی باعث ایجاد شرایط بهتری برای انجام فتوسنتز و در نتیجه رشد گیاه می‌شود. بیوچار می‌تواند از طریق بهبود خصوصیات فیزیکی و فراهم کردن شرایط بهتر برای رشد ریشه، حفظ و نگهداری آب و مواد غذایی موجود در خاک و همچنین فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در رشد آن مؤثر باشد (Atkinson et al., 2010). افزایش عملکرد بیوماس ذرت در نتیجه استفاده از کود دامی توسط شیرانی و همکاران (Shirani et al., 2002) نیز گزارش شده است. این اثرات کودهای آلی روی عملکرد به دلیل بهبود خصوصیات فیزیکی خاک (Zhang et al., 2009; Stone & Ekwue, 1995) و افزایش عناصر غذایی مورد نیاز گیاه می‌باشد.

ضرایب نسبی تسهیم کربن به اندام‌های مختلف گیاه ذرت و ضریب نسبی تولید خالص اولیه اضافه شده به خاک تحت تأثیر سیستم‌های خاک‌ورزی قرار نگرفتند. اثر مدیریت تغذیه‌ای بر ضرایب نسبی تسهیم کربن به اندام‌های مختلف گیاه ذرت و ضریب نسبی تولید خالص اولیه اضافه شده به خاک معنی‌دار بود ($p \leq ۰/۰۱$). در جدول ۳ نتایج مقایسه میانگین ضرایب نسبی تسهیم کربن به اندام‌های مختلف ذرت شامل دانه (R_P)، اندام‌های هوایی (R_S)، ریشه (R_R) و ترشحات ریشه (R_E) و نیز ضریب نسبی تولید خالص اولیه اضافه شده به خاک (R_I) نشان داده شده‌است. طبق نتایج جدول ۳ دامنه مقادیر ضرایب نسبی تسهیم کربن در دانه (R_P)، اندام‌های هوایی (R_S)، ریشه (R_R) و ترشحات ریشه (R_E) به ترتیب برابر با ۰/۳۹۳–۰/۴۸۲، ۰/۳۶۸–۰/۴۲۷، ۰/۰۸۰–۰/۱۱۶ و ۰/۰۵۲–۰/۰۷۶ به‌دست آمد. بیشترین ضریب نسبی تسهیم کربن به ریشه در تیمار بیوچار به‌دست آمد که از نظر آماری با تیمار کود دامی اختلاف معنی‌داری نداشت. بیوچار و کود دامی ضریب نسبی تسهیم کربن به ریشه را به ترتیب ۳۳/۳ و ۲۷/۶ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند. همچنین بیوچار و کود دامی باعث افزایش ۳۳/۳ و ۲۶/۳ درصدی ضریب نسبی تسهیم کربن به ترشحات ریشه شدند. بنابراین، با استفاده از بیوچار و کود دامی می‌توان سهم نسبی کربن در ریشه و ترشحات ریشه گیاه ذرت را افزایش داد و آن را در خاک حفظ کرد. در مطالعات بولیندر و همکاران (Bolinder et al., 2007) ضریب نسبی تسهیم کربن به اندام هوایی، دانه، ریشه و ترشحات ریشه گیاه ذرت برابر با ۰/۳۸۷، ۰/۳۸۶، ۰/۱۳۸ و ۰/۰۸۹ گزارش شده است. همچنین خرم دل و همکاران (Khorramdel et al., 2010) در نظام‌های مختلف زراعی شامل نظام پرنهاده، متوسط نهاده و دو نظام کم‌نهاده بر پایه مصرف کود دامی و کمپوست، دامنه ضرایب نسبی تسهیم کربن در دانه، اندام هوایی، ریشه و ترشحات ریشه را به ترتیب برابر با ۰/۱۰–۰/۱۷، ۰/۱۹–۰/۵۲، ۰/۱۳–۰/۳۹ و ۰/۱۵–۰/۲۵ برآورد کردند و بیشترین ضریب نسبی تسهیم کربن به ریشه در نظام کم نهاده بر پایه کود دامی به‌دست آمد.

اثر مدیریت تغذیه‌ای بر ضریب نسبی تولید خالص اولیه اضافه شده به خاک معنی‌دار بود ($p \leq ۰/۰۱$). بیشترین میزان این ضریب در تیمار بیوچار و کمترین میزان آن در تیمار کود شیمیایی+ بیوچار به‌دست آمد. بین تیمارهای کود دامی و بیوچار از نظر آماری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۳). بیوچار ضریب نسبی تولید خالص اولیه اضافه شده به خاک را ۷/۱ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. با توجه به تأثیر بیوچار در افزایش معنی‌دار سهم نسبی کربن به ریشه و ترشحات ریشه، بنابراین بیشترین ضریب نسبی تولید خالص اولیه اضافه شده به خاک در تیمار بیوچار به‌دست آمد. در مطالعات بولیندر و همکاران (Bolinder et al., 2007) دامنه میزان ضریب نسبی تولید خالص اولیه اضافه شده به خاک (R_I) برابر با ۰/۶۱–۰/۲۷ و در تحقیقات خرم دل و همکاران (Khorramdel et al., 2010) بیشترین و کمترین ضریب نسبی تولید خالص اولیه اضافه شده به خاک به ترتیب برای نظام‌های کم نهاده بر پایه مصرف کود دامی (۰/۹۰) و نظام پرنهاده (۰/۸۳) گزارش شد.

اثر متقابل سیستم‌های خاک‌ورزی و مدیریت تغذیه‌ای بر ضریب نسبی تسهیم کربن به ریشه و ترشحات ریشه معنی‌دار بود ($p \leq ۰/۰۵$). بیشترین ضریب نسبی تسهیم کربن به ریشه در تیمار خاک‌ورزی مرسوم و کود دامی و کمترین ضریب نسبی تسهیم کربن به ریشه در تیمار خاک‌ورزی مرسوم وکود دامی+ بیوچار به‌دست آمد (شکل ۳). همچنین بیشترین و کمترین ضریب نسبی تسهیم کربن به ترشحات ریشه به ترتیب در تیمار خاک‌ورزی مرسوم و کود دامی و تیمار خاک‌ورزی مرسوم و کود دامی+ بیوچار به‌دست آمد (شکل ۴).

جدول ۳- ضرایب نسبی تسهیم کربن به دانه (R_P)، اندام هوایی (R_S)، ریشه (R_R) ترشحات ریشه ای (R_E) ذرت و ضریب نسبی تولید خالص اولیه اضافه شده به خاک در سیستم‌های مختلف مدیریت تغذیه‌ای

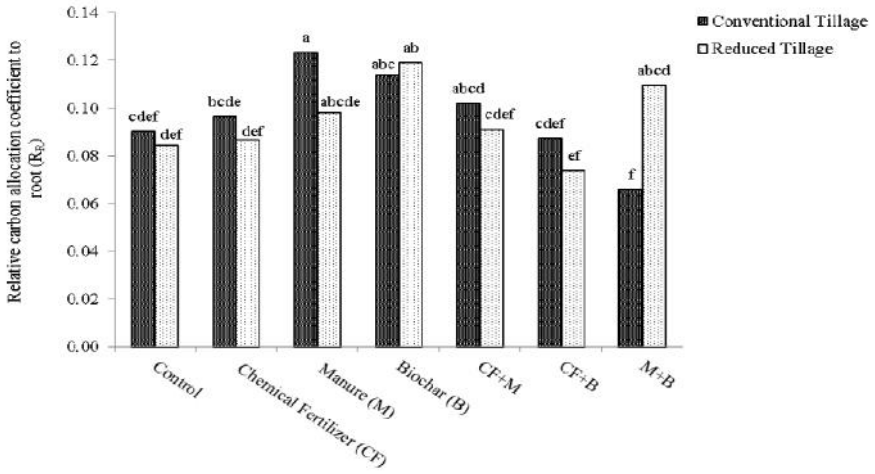
Table 3- Relative carbon allocation coefficient to seed (R_P), shoot (R_S), root (R_R) and root exudates (R_E) of corn and relative coefficients of added net primary productivity to soil (R_I) in different nutrient management systems

مدیریت تغذیه‌ای Nutrient management	ضرایب نسبی تسهیم کربن Relative coefficients of carbon allocation				
	R_P	R_S	R_R	R_E	R_I
شاهد Control	0.434 b*	0.422 a	0.087 c	0.057 c	0.566 b
کود شیمیایی Chemical fertilizer (CF)	0.481 a	0.368 c	0.091 c	0.060 bc	0.519 c
کود دامی Manure (M)	0.411 bc	0.407 ab	0.111 ab	0.072 ab	0.589 ab
بیوچار Biochar (B)	0.393 c	0.415 a	0.116 a	0.076 a	0.606 a
دامی+ کود شیمیایی CF+M	0.465 a	0.376 c	0.096 bc	0.063 bc	0.535 c
بیوچار+ کود شیمیایی CF+B	0.482 a	0.385 bc	0.080 c	0.052 c	0.518 c
بیوچار+ کود دامی M+B	0.428 b	0.427 a	0.088 c	0.057 c	0.572 b

*میانگین های دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند

*Means with same letters are not significantly different based on LSD test in probability level 5%

لال (Lal, 1989) بیان کرد که در سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی تعداد و وزن ریشه در مقایسه با خاک‌ورزی با گاوآهن کاهش یافت. در سیستم‌های خاک‌ورزی مرسوم، لایه‌های خاک توسط گاوآهن خرد می‌شود که باعث نفوذ بیشتر و بهتر ریشه به لایه‌های پایین‌تر خاک می‌شود.

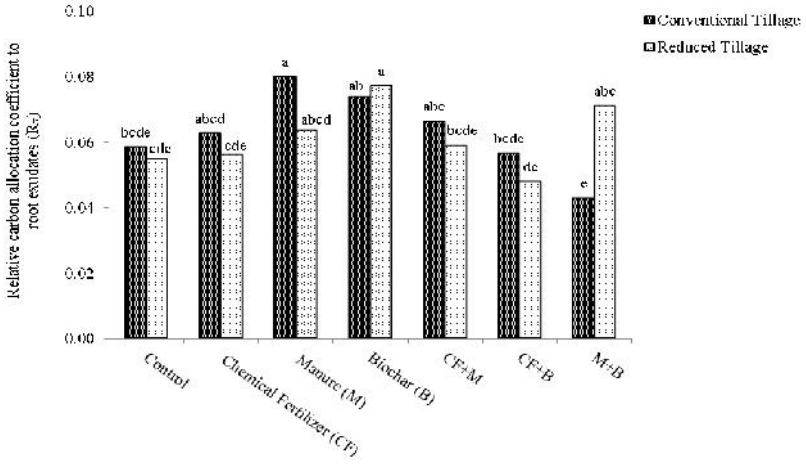


شکل ۳- اثر متقابل سیستم‌های خاک‌ورزی و مدیریت تغذیه‌ای بر ضرایب نسبی تسهیم کربن به ریشه (R_R) گیاه ذرت

Fig. 3- Interaction of tillage systems and nutrient management on relative coefficients of carbon allocation to root (R_R) in maize

میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ براساس آزمون LSD ندارند.

Means followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level according to LSD test.



شکل ٤- اثر متقابل سیستم‌های خاک‌ورزی و مدیریت تغذیه‌ای بر ضرایب نسبی تسهیم کربن به ترشحات ریشه‌ای (R_E) گیاه ذرت

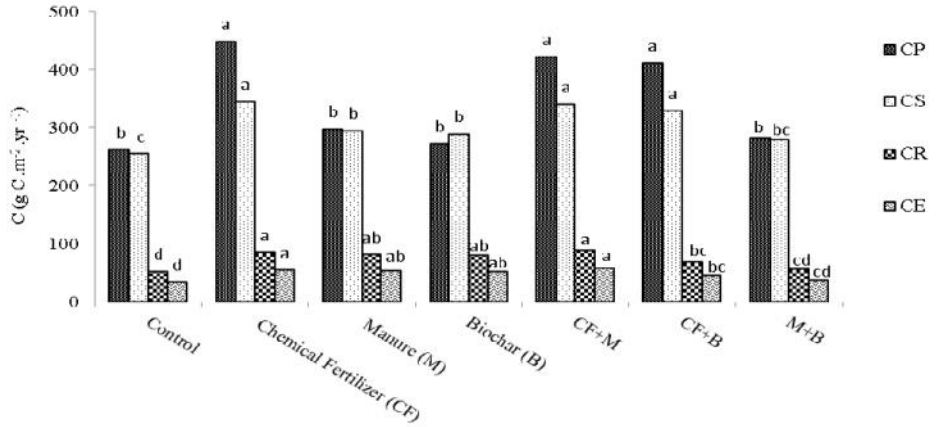
Fig. 4- Interaction of tillage systems and nutrient management on relative coefficients of carbon allocation to root exudates (R_E) in maize

میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ براساس آزمون LSD ندارند.

Means followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level according to LSD test.

همچنین کودهای دامی نیز دارای عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم می‌باشند، بنابراین بر رشد ریشه تأثیر دارند. تیمار بیوچار در کم‌خاک‌ورزی باعث افزایش ۳۲/۲ درصدی ضریب نسبی تسهیم کربن به ریشه و ترشحات ریشه نسبت به تیمار شاهد در خاک‌ورزی مرسوم شد که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با تیمار کود دامی در خاک‌ورزی مرسوم نداشت.

سیستم‌های خاک‌ورزی اثر معنی‌داری بر کربن تسهیم یافته به اندام‌های مختلف گیاه ذرت نداشتند. مدیریت تغذیه‌ای اثر معنی‌داری بر میزان کربن تسهیم یافته به دانه، سایر اندام هوایی، ریشه و ترشحات ریشه داشت ($p\leq$۰/۰۱). اثر مدیریت تغذیه‌ای بر میزان کربن تسهیم یافته به اندام‌های مختلف ذرت در شکل ۵ ارائه شده است.



شکل ٥- اثر مدیریت تغذیه‌ای بر کربن تسهیم یافته به دانه (C_P)، اندام هوایی (C_S)، ریشه (C_R) و ترشحات ریشه (C_E) گیاه ذرت

Fig. 5- Effect of nutrient management on allocated carbon to seed (C_P), shoot (C_S), root (C_R) and root exudates (C_E) of maize.

میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ براساس آزمون LSD ندارند.

Means followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level according to LSD test.

بیشترین و کمترین کربن تسهیم یافته به اندام هوایی و دانه به ترتیب در تیمار کود شیمیایی و کمترین میزان آن در تیمار شاهد به‌دست آمد. تیمارهای کود شیمیایی+ دامی، کود شیمیایی+ بیوچار به ترتیب باعث افزایش ۳۳/۳ و ۲۸/۷ درصدی کربن تسهیم یافته به اندام هوایی نسبت به شاهد شدند که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با کود شیمیایی نداشتند. همچنین تیمارهای کود شیمیایی+ دامی، کود شیمیایی+ بیوچار کربن تسهیم یافته به دانه را ۶۰/۴ و ۵۶/۳ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند (شکل ۵). از آن‌جا که استفاده از کود دامی باعث بهبود محتوای کربن آلی، خلل و فرج و فعالیت بیولوژیکی خاک شده و وزن مخصوص ظاهری خاک کاهش می‌یابد، لذا افزایش عملکرد ذرت در تیمار استفاده از کود دامی و شیمیایی توسط هوانگ و همکاران (Huang et al. 2010) نیز گزارش شده است. اضافه کردن بیوچار به خاک هم باعث افزایش عملکرد دانه و اندام هوایی ذرت می‌شود (Rogovska et al., 2014). در تیمارهای کود شیمیایی+ دامی و شاهد به ترتیب بیشترین و کمترین کربن تسهیم یافته به ریشه و ترشحات ریشه مشاهده شد. تیمارهای کود دامی و بیوچار کربن تسهیم یافته به ریشه را ۵۴/۹ و ۵۳/۲ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با کود شیمیایی نداشتند. ژنگ و همکاران (Zheng et al., 2013) گزارش کردند که استفاده از بیوچار در خاک باعث افزایش رشد اندام هوایی و زیرزمینی گیاه ذرت شد. به‌طور کلی، این اثرات مثبت کودهای آلی روی عملکرد به دلیل بهبود تدریجی خصوصیات فیزیکی خاک می‌باشد (Zhang et al., 2009). بیوچار ممکن است از طریق بهبود خصوصیات فیزیکی خاک، pH و ظرفیت تبادل کاتیونی، افزایش نگهداری عناصر غذایی و تغییر جمعیت میکروبی باعث تغییر در عملکرد گیاه شود (Zheng et al., 2013).

نتیجه‌گیری

براساس نتایج بیشترین و کمترین عملکرد زیست توده اندام‌های هوایی، دانه و کل، تولید خالص اولیه اندام‌های هوایی، تولید خالص اولیه و کربن تسهیم یافته به اندام‌های هوایی و دانه به ترتیب در تیمار کود شیمیایی و شاهد به‌دست آمد. همچنین تیمارهای کود شیمیایی+ دامی، کود شیمیایی+ بیوچار باعث افزایش معنی‌دار عملکرد زیست توده اندام‌های هوایی، دانه و کل، تولید خالص اولیه اندام‌های هوایی، تولید خالص اولیه و کربن تسهیم یافته به اندام‌های هوایی و دانه نسبت به شاهد شدند که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با کود شیمیایی نداشتند. بیشترین و کمترین عملکرد زیست توده ریشه، تولید خالص اولیه اندام‌های زیرزمینی و کربن تسهیم یافته به ریشه و ترشحات ریشه نیز به ترتیب در تیمار کود شیمیایی+ دامی و شاهد به‌دست آمد. استفاده از کودهای دامی و بیوچار تولید خالص اولیه اندام‌های زیرزمینی را به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش دادند که با تیمارهای کود شیمیایی، کود شیمیایی+ دامی اختلاف معنی‌داری نداشتند. سیستم‌های خاک‌ورزی اثر معنی‌داری بر صفات اندازه‌گیری شده نداشتند. قرار گرفتن دو روش خاک‌ورزی در یک گروه نشان‌دهنده این است که می‌توان از کم‌خاک‌ورزی به جای خاک‌ورزی مرسوم استفاده کرد. بنابراین، با توجه به اثرات منفی خاک‌ورزی مرسوم بر ویژگی‌های خاک، در شرایط این آزمایش احتمالاً بتوان با استفاده از کم‌خاک‌ورزی و کاربرد کود دامی و بیوچار میزان تولید خالص اولیه اندام‌های زیرزمینی و کربن تسهیم یافته به اندام‌های زیرزمینی را افزایش داد که از طریق اضافه کردن بقایای ریشه به خاک، کربن اضافه شده به آن را در خاک حفظ کرد و مانع انتشار آن به اتمسفر شد.

منابع

Alvarez, R., and Steinbach, H.S. 2009. A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas. Soil and Tillage Research 104: 1-15.

Atkinson, C.J., Fitzgerald, J.D., and Hipps, N.A. 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. Plant and Soil 337: 1-18.

Bolinder, M.A., Janzen, H.H., Gregorich, E.G., Angers, D.A., and VandenBygaart, A.J., 2007. An approach for estimating net primary productivity and annual carbon inputs to soil for common agricultural crops in Canada. Agriculture, Ecosystems and Environment 118: 29-42.

Boroumand Rezazadeh, Z. 2013. Evaluation of carbon sequestration in Iran agroecosystems using empirical models.

PhD Dissertation. Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)

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: 629-634.

Domínguez, G.F., Diovisalvi, N.V., Studdert, G.A., and Monterubbianesi, M.G. 2009. Soil organic C and N fractions under continuous cropping with contrasting tillage systems on mollisols of the southeastern Pampas. Soil and Tillage Research 102: 93-100.

Fabrizzi, K.P., Garcıa, F.O., Costa, J.L., and Picone, L.I. 2005. Soil water dynamics, physical properties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in the southern Pampas of Argentina. Soil and Tillage Research 81: 57-69.

Fallahi, H.R. 2013. Study of plant diversity and simulation of soil carbon storage using the RothC model under climate change scenarios in the experimental site of the International Carbon Sequestration Project (South Khorasan province), PhD Dissertation. Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)

Fallahi, H.R., Rezvani-Moghaddam, P., Behdani, M.A., Aghhavani-Shajari, M., Jahedi Pour, S., and Yari, A. 2015. Principles of Carbon Sequestration. Jahad Daneshgahi of Mashhad Press, Mashhad, Iran. (In Persian)

Forte, A., Fiorentino, N., Fagnano, M., and Fierro, A. 2017. Mitigation impact of minimum tillage on CO_2 and N_2O emissions from a Mediterranean maize cropped soil under low-water input management. Soil and Tillage Research 166: 167-178.

Ghasemi, A., Ghanbari, A., Fakheri, B.A., and Fanaie, H.R. 2016. Effect of different fertilizer resources on yield and yield components of grain maize (*Zea mays* L.) influenced by tillage managements. Journal of Agroecology 7: 499-512. (In Persian with English Summary)

Huang, S., Peng, X., Huang, Q., and Zhang, W. 2010. Soil aggregation and organic carbon fractions affected by long-term fertilization in a red soil of subtropical China. Geoderma 154: 364-369.

Jeffery, S., Verheijen, F.G.A., Van Der Velde, M., and Bastos, A.C. 2011. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. Agriculture, Ecosystems and Environment 144: 175-187.

Khorramdel, S. 2011. Evaluation of the potential of carbon sequestration and life cycle assesment (LCA) approach in different management systems for corn. PhD Dissertation. Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)

Khorramdel, S., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Khorasani, R. 2010. Effect of different crop management systems on net primary productivity and relative carbon allocation coefficients for corn (*Zea mays* L.). Journal of Agroecology 2: 667-680 (In Persian with English Summary)

Küstermann, B., Munch, J.C., and Hülsbergen, K.J. 2013. Effects of soil tillage and fertilization on resource efficiency and greenhouse gas emissions in a long-term field experiment in Southern Germany. European Journal of Agronomy 49: 61-73.

Lal, R. 1989. Conservation tillage for sustainable agriculture: tropics versus temperate environments. Advances in Agronomy 42: 85-197.

Mosaddeghi, M.R., Mahboubi, A.A., and Safadoust, A. 2009. Short-term effects of tillage and manure on some soil physical properties and maize root growth in a sandy loam soil in western Iran. Soil and Tillage Research 104: 173-179 .

Nabati Nasaz, M., Gholipouri, A., and Mostafavi Rad, M. 2016. Evaluation of forage yield and important agronomic indices of corn as affected by intercropping systems with peanut and nitrogen rates. Journal of Agroecology 8: 70-81. (In Persian with English Summary)

Nagy, J., 2008. Maize Production. Akadémiai Kiadó, Budapest.

Rogovska, N., Laird, D.A., Rathke, S.J., and Karlen, D.L. 2014. Biochar impact on Midwestern Mollisols and maize nutrient availability. Geoderma 230: 340-347.

Shirani, H., Hajabbasi, M.A., Afyuni, M., and Hemmat, A. 2002. Effects of farmyard manure and tillage systems on soil physical properties and corn yield in central Iran. Soil and Tillage Research 68: 101-108.

Smith, J.L., Collins, H.P., and Bailey, V.L. 2010. The effect of young biochar on soil respiration. Soil Biology and Biochemistry 42: 2345-2347.

Steinbeiss, S., Gleixner, G., and Antonietti, M. 2009. Effect of biochar amendment on soil carbon balance and soil microbial activity. Soil Biology and Biochemistry 41: 1301-1310.

Stone, R.J., and Ekwue, E.I. 1995. Compressibility of some Trinidadian soils as affected by the incorporation of peat. Journal of Agricultural Engineering Research 60: 15-24.

Studdert, G.A., and Echeverria, H.E. 2000. Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. Soil Science Society of America Journal 64: 1496-1503.

Triplett, G.B., and Dick, W.A. 2008. No-tillage crop production: a revolution in agriculture. Agronomy Journal 100: 153-165.

West, T.O., and Marland, G. 2002. Net carbon flux from agricultural ecosystems: methodology for full carbon cycle analyses. Environmental Pollution 116: 439-444.

Whitman, T., and Lehmann, J. 2009. Biochar-One way forward for soil carbon in offset mechanisms in Africa. Environmental Science and Policy 12: 1024-1027.

Wyngaard, N., Echeverría, H.E., Rozas, H.R.S., and Divito, G.A. 2012. Fertilization and tillage effects on soil properties and maize yield in a Southern Pampas Argiudoll. Soil and Tillage Research 119: 22-30.

Yeboah, E., Ofori, P., Quansah, G., Dugan, E., and Sohi, S. 2009. Improving soil productivity through biochar amendments to soils. African Journal of Environmental Science and Technology 3: 34-41.

Yu, L., Jiao, Y.J., Zhao, X.R., LI, G.T., Zhao, L.X., and Meng, H.B. 2014. Improvement to maize growth caused by biochars derived from six feedstocks prepared at three different temperatures. Journal of Integrative Agriculture 13: 533-540.

Zhang, A., Cui, L., Pan, G., Li, L., Hussain, Q., Zhang, X., Zheng, J., and Crowley, D. 2010. Effect of biochar amendment on yield and methane and nitrous oxide emissions from a rice paddy from Tai Lake plain, China. Agriculture, Ecosystems and Environment 139: 469-475.

Zhang, A., Liu, Y., Pan, G., Hussain, Q., Li, L., Zheng, J., and Zhang, X. 2012. Effect of biochar amendment on maize yield and greenhouse gas emissions from a soil organic carbon poor calcareous loamy soil from Central China Plain. Plant and Soil 351: 263-275.

Zhang, H., Xu, M., and Zhang, F. 2009. Long-term effects of manure application on grain yield under different cropping systems and ecological conditions in China. Journal of Agricultural Science 147: 31-42.

Zheng, H., Wang, Z., Deng, X., Herbert, S., and Xing, B. 2013. Impacts of adding biochar on nitrogen retention and bioavailability in agricultural soil. Geoderma 206: 32-39.

Zhengchao, Z., Zhuoting, G., Zhouping, S., and Fuping, Z. 2013. Effects of long-term repeated mineral and organic fertilizer applications on soil organic carbon and total nitrogen in a semi-arid cropland. European Journal of Agronomy 45: 20-26.

Journal of Agroecology
Vol. 9, No. 1, Spring 2017, p. 262-275

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۹، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، ص. ۲۷۵-۲۶۲

Evaluation of Net Primary Productivity and Carbon Allocation to Different Parts of Corn in Different Tillage and Nutrient Management Systems

E. Mohammadi[1*], H.R. Asghari[2], A. Gholami[2] and S. Khorramdel[3]
Submitted: 05-01-2017
Accepted: 08-04-2017

Mohammadi, E., Asghari, H.R., Gholami, A., and Khorramdel, S. 2017. Evaluation of net primary productivity and carbon allocation to different parts of corn in different tillage and nutrient management systems. Journal of Agroecology 9(1): 262-275.

Introduction

Global atmospheric CO_2 concentrations have increased. In fact, current CO_2 value is 390.5 ppm. Therefor it is necessary to notice carbon sequestration to reduce greenhouse gases emissions. Biochar is produced from burning wood or other organic materials under limited O_2. Addition of biochar to agricultural soils is as means to improve soil fertility and carbon sequestration. Conventional tillage disturbs soil. In the short term these tillage systems creates a good environment for crop emergence, rapid growth, nutrient uptake and high crop yield. However, in long term the soil structure is degraded and mineralization of soil organic matter is increased. But under appropriate conditions, reduced tillage systems may improve yield, also contribute in mitigating CO_2 emissions and carbon sequestration in soil. So the aim of this study was to evaluate the effect of nutrient management and tillage systems on net primary production and carbon allocation to different parts of corn in Shahrood.

Materials and methods

This study was conducted at research farm of Shahrood University of Technology as split plot based on randomized complete block design with three replications. Tillage system as main factor had two levels of conventional tillage and reduced tillage and nutrient management with seven levels including (control, chemical fertilizer, manure, biochar, chemical fertilizer + manure, chemical fertilizer + biochar, manure + biochar) was considered as sub plot. Samples were taken from corn aboveground and belowground biomass at maturity. Carbon content of shoot, seed and root was considered as almost 45% of yield of each part and carbon content of root exudates as almost 65 percent of root carbon. Statistical analysis of the data was performed using SAS program. Means were compared by LSD test at a significance level of 0.05.

Results and discussion

Effect of tillage systems were not significant on measured traits. Effect of nutrient management was significant on seed, shoot and total biomass and aboveground net primary productivity. Maximum and minimum of seed, shoot, total biomass and aboveground net primary productivity were obtained in chemical fertilizer and control respectively. Nitrogen plays a key role in several physiological crop processes. As a result of increasing N doses, the photosynthetic activity, leaf area index (LAI) and leaf area density (LAD) were increased. Maximum and minimum of root biomss and belowground net primary productivity were obtained in chemical fertilizer + manure and control respectively. Manure and biochar increased root biomass by 56.03 and 54.31 percent compared to control respectively, which had no significant difference compared to chemical fertilizer. Manure increased root growth, possibly through improved physical properties and increased nutrient and water availability. Manure decreases soil compatibility by increasing of stability of soil structure and soil resilient. Increasing in maize yield in biochar amended soil could be attributed to increasing nutrient availability and improving soil physical properties indicated by decreasing soil bulk density.

1, 2 and 3- PhD student, Associate Professor, Department of Apronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology and Associate Professor, Department of Apronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, respectively.
(*- Corresponding author Email: esmat.mohammadi63@gmail.com)

Conclusions

Maximum and minimum of seed, shoot, total biomass, aboveground net primary productivity, net primary productivity and carbon allocated to seed and shoot was obtained in chemical fertilizer and control respectively. As well as chemical fertllizer + manure and chemical fertilizer + biochar increased seed, shoot, total biomass, aboveground net primary productivity, net primary productivity and carbon allocated to shoot and seed significantly compared to control that had no significant different to chemical fertilizer. Maximum and minimum of root biomass, belowground net primary productivity and carbon allocated to root and root exudates were obtained in chemical fertilizer + manure and control respectively. Manure and biochar increased belowground net primary productivity significantly compared to control that had no significant different to chemical fertilizer and chemical fertilizer + manure. Tillage systems had no significant effect on measured traits. The results showed that reduced tillage and manure and biochar increase belowground net primary production and carbon allocation to belowground parts and by adding root residues to the soil can retain roots carbon and prevent its release into the atmosphere.

Keywords: Biochar, Chisel, Chemical fertilizer, Conventional Tillage, Manure