Archive of SID

نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد نهم، شماره یکم، بهار ۹۵
۴۹-۶۸
http://ejcp.gau.ac.ir

ارزیابی اثر تنوع گونه‌ای بر برخی خدمات اگرواکوسیستمی در کشت مخلوط ذرت، سویا و ختمی ۲- عملکرد، نسبت برابری زمین، تنفس و زیست توده میکروبی خاک و پتانسیل ترسیب کربن

فرانک نوربخش[۱]، *علیرضا کوچکی[۲] و مهدی نصیری محلاتی[۲]

[۱]دانشجوی دکتری اگرواکولوژی گروه زراعت دانشگاه فردوسی مشهد،

[۲]استاد گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۱۳۹٤/۲/٦ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹٤/۸/۲۳

چکیده

سابقه و هدف: بسیاری از محققین مهم‌ترین عامل افزایش تنوع در اکوسیستم‌های زراعی را حضور کشت‌های مخلوط در این سیستم‌ها می‌دانند. افزایش تنوع محصولات از طریق کشت مخلوط می‌تواند در بهبود کارکردها و خدمات اکوسیستمی مؤثر باشد. بنا به تعریف خدمات اکوسیستمی عبارتند از "شرایط و فرآیندهایی که از طریق آن اکوسیستم‌های طبیعی و گونه‌هایی که ساختار آن را تشکیل می‌دهند تداوم حیات انسان را تضمین کرده و نیازهای او را تأمین می‌کنند". خدمات اکوسیستمی بسیار متنوع بوده و دارای ابعاد اکولوژیکی و زیست محیطی می‌باشند که از آن جمله می‌توان به افزایش فعالیت‌های بیولوژیک خاک اشاره نمود. بالا بردن تنوع گیاهی از طریق کشت مخلوط منجر به افزایش جمعیت میکروارگانیسم‌های خاک شده و در نتیجه فعالیت میکروبی خاک به عنوان یکی از کارکردهای اکوسیستمی بهبود می‌یابد.

مواد و روش‌ها: هدف از انجام این مطالعه بررسی اثر سودمندی کشت مخلوط ذرت، سویا و ختمی از لحاظ نسبت برابری زمین، زیست توده میکروبی و همچنین پتانسیل ترسیب کربن به عنوان کارکردهای مختلف اکوسیستمی بود. برای این منظور آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ در دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به اجرا در آمد. تیمارهای آزمایشی شامل الگوهای مختلف کشت مخلوط سه گونه ذرت، سویا و ختمی بر اساس سری‌های جایگزینی در ۷ سطح بود. هر کرت آزمایشی شامل ٦ ردیف کاشت بود. تیمارهای کشت مخلوط شامل کشت مخلوط سویا و ذرت به صورت ٤ ردیف سویا و ۲ ردیف ذرت، سویا و ختمی به

*مسئول مکاتبه: akooch@um.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

صورت ٤ ردیف سویا و ٢ ردیف ختمی، ذرت و ختمی به‌صورت ٤ ردیف ختمی و ٢ ردیف ذرت، کشت مخلوط سه گونه با هم و همچنین کشت خالص هر سه گونه بود. صفات مورد مطالعه شامل عملکرد، نسبت برابری زمین، تنفس و زیست توده میکروبی خاک و همچنین پتانسیل ترسیب کربن بود.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که نسبت برابری زمین در تمام الگوهای کشت مخلوط بزرگتر از یک بود و بدون وجود تفاوت معنی‌دار، در دامنه‌ای از ١/٠١ تا ١/٠٨ متغییر بود که این امر بیان‌گر سودمندی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص می‌باشد. استفاده از سیستم‌های چند کشتی همچنین منجر به افزایش تنفس و زیست توده میکروبی خاک در مقایسه با تک‌کشتی هر یک از سه گونه گردید، به‌طوری که بیشترین میزان تنفس (٩٤/١٧ میلی‌گرم دی اکسید کربن در کیلوگرم خاک در روز) و زیست توده میکروبی خاک (٨٢٠/٣٤ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) در کشت مخلوط سه گانه ذرت + سویا + ختمی به دست آمد. نتایج آزمایش همچنین حاکی از افزایش پتانسیل ترسیب کربن در خاک تحت تأثیر سیستم‌های مختلف کشت مخلوط بود و بیشترین پتانسیل ترسیب کربن در الگوهای مختلف کشت مخلوط، در کشت مخلوط ذرت و ختمی (به‌ترتیب ١٤٨٧/٥، ٣٢١٠/١، ٤٥٠٢/٠ کیلوگرم کربن در هکتار در سناریوهای ٣٠، ٧٠ و ١٠٠ درصد بقایا) مشاهده گردید. بنابراین به عنوان یک پیشنهاد کلی، افزایش تنوع گیاهی از طریق کشت مخلوط را می‌توان به عنوان یکی از راهکارهای موثر در جهت افزایش خدمات اکوسیستی همچون بهبود فعالیت میکروبی و پتانسیل ترسیب کربن مدنظر قرار داده و ارزش‌گذاری چنین خدماتی در سیستم‌های چند کشتی و مقایسه آنها با کشت‌های خالص را برای مطالعات آتی توصیه نمود.

نتیجه‌گیری: با توجه به یافته‌های این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که افزایش تنوع گیاهی از طریق کشت مخلوط می‌تواند منجر به افزایش زیست توده میکروبی خاک شود که می‌تواند به نوبه خود موجب افزایش چرخش عناصر غذایی و حاصلخیزی خاک گردد، اگرچه افزایش زیست توده میکروبی ممکن است از طرفی منجر به کاهش ترسیب کربن در خاک گردد، زیرا در شرایط افزایش زیست توده میکروبی خاک، سرعت تجزیه بقایا و تنفس میکروبی افزایش یافته و دی اکسید کربن بیشتری وارد اتمسفر می‌شود و در نتیجه میزان ترسیب کربن کاهش می‌یابد، البته باید خاطر نشان کرد که فعالیت میکروبی و میزان ترسیب کربن به شرایط محیطی به ویژه دما و رطوبت بستگی زیادی دارد. یکی دیگر از کارکردهای مهم کشت مخلوط، افزایش پتانسیل ترسیب کربن می‌باشد که با توجه به نتایج این آزمایش می‌توان عنوان نمود که استفاده از سیستم‌های مختلف کشت مخلوط با افزایش پتانسیل ترسیب کربن در خاک، می‌تواند گام مهمی در راستای تعدیل اثرات منفی تغییر اقلیم به همراه داشته باشد. البته لازم به ذکر است که انتخاب نوع گیاهان در سیستم مخلوط و همچنین میزان حفظ بقایای گیاهی در خاک، نقش بسزایی در موفقیت کشت مخلوط از لحاظ ترسیب کربن خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: تنوع گیاهی، چند کشتی، خدمات اکوسیستمی، میکروارگانیسم‌ها

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

فعالیت‌های مرتبط با کشاورزی رایج که همراه با ساده‌سازی تنوع زیستی می‌باشد منجر به ایجاد بوم‌نظام‌هایی شده است که به شدت نسبت به مخاطرات محیطی آسیب‌پذیر بوده و به نوعی ناپایدار محسوب می‌شوند. در حالی‌که در بوم‌نظام‌های طبیعی، در نتیجه ارتقای تنوع زیستی موجود، کارکردهای حاصل از تنوع از طریق جریان انرژی و چرخه مواد غذایی به‌طور طبیعی از داخل بوم‌نظام تنظیم می‌شوند (۱). با توجه به اینکه قابلیت خودتنظیمی بوم‌نظام‌های کشاورزی در نتیجه فشرده‌سازی این بوم‌نظام‌ها از بین رفته است، بنابراین ارتقاء تنوع زیستی در این نظام‌ها در احیاء آن‌ها تاثیرگذار است. تنوع زیستی در بوم نظام‌های کشاورزی منجر به تنظیم جمعیت آفات از طریق کنترل طبیعی حشرات آفت و بیماری‌ها می‌شود و همچنین چرخه‌های عناصرغذایی و حفاظت خاک از طریق فعالیت‌های ریزموجودات احیا می‌گردد که به نوبه خود سایر خدمات بوم نظام مانند پایداری خاک، کنترل فرسایش خاک و ترسیب کربن را افزایش می‌دهند (۲۷).

بسیاری از محققین مهم‌ترین عامل افزایش تنوع در اکوسیستم‌های زراعی را حضور کشت‌های مخلوط در این سیستم‌ها می‌دانند (۳۱، ۲۱ و ۱). افزایش تنوع محصولات از طریق کشت مخلوط می‌تواند در بهبود کارکردها و خدمات اکوسیستمی مؤثر باشد. بنا به تعریف خدمات اکوسیستمی عبارتند از شرایط و فرآیندهایی که از طریق آن اکوسیستم‌های طبیعی و گونه‌هایی که ساختار آن را تشکیل می‌دهند تداوم حیات انسان را تضمین کرده و نیازهای او را تأمین می‌کنند. خدمات اکوسیستمی بسیار متنوع بوده و دارای ابعاد اکولوژیکی و زیست محیطی می‌باشند که از آن جمله می‌توان به افزایش فعالیت‌های بیولوژیک خاک اشاره نمود. بالا بردن تنوع گیاهی از طریق کشت مخلوط منجر به افزایش جمعیت میکروارگانیسم‌های خاک شده و در نتیجه فعالیت میکروبی خاک به عنوان یکی از کارکردهای اکوسیستمی بهبود می‌یابد (۲۹). تانگ و همکاران (۲۰۱٤) نیز در بررسی فعالیت میکروبی خاک در سیستم‌های مختلف کشت به این نتیجه رسیدند که افزایش تنوع محصولات به صورت کشت مخلوط منجر به افزایش زیست توده میکروبی نسبت به سیستم‌های تک کشتی می‌شود (۲۹).

ترسیب کربن به عنوان یکی دیگر از خدمات اکوسیستمی مطرح می‌باشد که نقش بسزایی در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و پدیده تغییر اقلیم دارد (۱۹ و ۱۵). در حال حاضر گرمایش زمین به‌دلیل افزایش دی اکسید کربن و دیگر گازهای گلخانه‌ای به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مشکلات

www.SID.ir

Archive of SID

زیست‌محیطی مطرح می‌باشد (۷). اگرچه در قرن حاضر فعالیت‌های کشاورزی تحت تاثیر پدیده تغییر اقلیم قرار خواهد گرفت (۱۰ و ۲٦)، اما در عین حال کشاورزی با کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از طریق روش‌های مختلف مدیریت کشاورزی و ترسیب کربن، می‌تواند نقش موثری در کاهش اثرات تغییر اقلیم داشته باشد (۱۹، ۱۵). در این راستا افزایش تنوع گیاهی از طریق کشت مخلوط و سیستم‌های چندکشتی یکی از مهم‌ترین راهکارهای مدیریتی در جهت افزایش پتانسیل ترسیب کربن می‌باشد (۱۷ و ۲۲). به‌طوری‌که تواتاسان و گوردون (۲۰۰٤) به افزایش ٤ برابری ترسیب کربن در سیستم‌های کشت مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی اشاره کردند (۳۰).

توجه به اهمیت جمعیت میکروبی خاک و نقش آن‌ها در چرخه عناصر غذایی و همچنین ترسیب کربن به‌عنوان یکی از راهکارهای تخفیف تغییر اقلیم، از ارکان مهم پایداری اگرو اکوسیستم‌ها محسوب می‌شود. افزایش تنوع گونه‌ای یکی از راهکارهای مؤثر در حصول به پایداری در نظر گرفته می‌شود و همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد بسیاری از محققین مهم‌ترین عامل افزایش تنوع در اکوسیستم‌های زراعی را حضور کشت‌های مخلوط در این سیستم‌ها می‌دانند. اگر چه اثرات مستقیم کشت مخلوط در مطالعات مختلف بررسی شده است ولی مزایای آن بر خدمات اکوسیستم مورد تأکید قرار نگرفته است، بر همین اساس در این تحقیق سه گروه کارکردی متفاوت (سویا به‌عنوان یک گونه C_3 و تثبیت کننده نیتروژن، ذرت به‌عنوان یک گونه C_4 و مصرف کننده نیتروژن و ختمی به عنوان یک گونه دارویی) برای کاشت به‌صورت مخلوط دوگانه و سه‌گانه انتخاب شدند تا با بررسی فعالیت میکروبی خاک و همچنین پتانسیل ترسیب کرین در سیستم‌های چندکشتی و مقایسه آن با کشت خالص سه گونه، نقش کشت مخلوط ذرت، سویا و ختمی و یا به عبارتی نقش تنوع گونه‌ای بر این خدمات مشخص گردد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر الگوهای کشت مخلوط بر عملکرد، خصوصیات بیولوژیکی خاک (تنفس و زیست توده میکروبی خاک) و پتانسیل ترسیب کربن به‌عنوان خدمات اکوسیستمی، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد با عرض جغرافیایی ۳٦ درجه و ۱٦ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳٦ دقیقه شرقی و ارتفاع ۹۸۵ متری از سطح دریا، به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ به اجرا در آمد. تیمارهای آزمایشی شامل الگوهای مختلف کشت مخلوط سه گونه ذرت، سویا و ختمی

www.SID.ir

Archive of SID

بر اساس سری‌های جایگزینی در ۷ سطح بود. هر کرت آزمایشی شامل ٦ ردیف کاشت بود. تیمارهای کشت مخلوط شامل کشت مخلوط سویا و ذرت به نسبت ۲:۱ (٤ ردیف سویا و ۲ ردیف ذرت)، سویا و ختمی به نسبت ۲:۱ (٤ ردیف سویا و ۲ ردیف ختمی)، ذرت و ختمی به نسبت ۲:۱ (٤ ردیف ختمی و ۲ ردیف ذرت)، کشت مخلوط سه گونه به نسبت ۱:۱:۱ و همچنین کشت خالص هر سه گونه بود. لازم به ذکر است که انتخاب این الگوها با توجه به ارتفاع و مساله رقابت و سایه‌اندازی گیاهان صورت گرفت و سعی شد گیاهانی با ارتفاع کمتر در دو طرف گیاهی با ارتفاع بیشتر قرار گیرند تا تاثیر رقابت بین‌گونه‌ای، ارتفاع و سایه‌اندازی کاهش یابد تا اثرات مفید و سودمندی حضور گونه‌ها در کشت مخلوط بروز بیشتری یابد. ابعاد هر کرت ۵×۳/۵ و فاصله بین کرت‌ها ۰/۵ و فاصله بین تکرارها نیز ۱ متر در نظر گرفته شد. مراحل آماده‌سازی زمین در اوایل بهار و کشت هر سه گونه نیز در اواخر اردیبهشت (به صورت دستی) انجام گرفت. فاصله بین و روی ردیف برای ذرت و ختمی به ترتیب ٦۰ و ۲۰ سانتی‌متر و برای سویا ٦۰ و ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد (۲٤). به عبارتی در هر تیمار ٦ ردیف کاشت به عنوان تراکم مبنا در نظر گرفته شد و در تیمارهای مربوط به کشت مخلوط، بسته به تیمار مورد نظر، از تراکم یک گیاه (به‌صورت ردیف) کم شده و به همان نسبت (به تعداد ردیف کم شده) گونه دیگر جایگزین گردید. به‌منظور مشخص نمودن خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، قبل از کاشت، نمونه‌برداری از خاک مزرعه انجام شد که نتایج آن در جدول (۱) آمده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی نمونه خاک مزرعه.

Table 1. Physicochemical characters of soil sample.

بافت Soil texture	وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب) Bulk density ($gr.\ Cm^{-3}$)	کربن آلی (درصد) Organic carbon	پتاسیم ($mg.kg^{-1}$) Potassium	فسفر ($mg.kg^{-1}$) Phosphorus	نیتروژن کل (درصد) Total nitrogen	اسیدیته pH	هدایت‌الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) Electrical conductivity ($ds.m^{-1}$)
لومی- سیلتی Silty- loam	1.4	0.55	213	25	0.065	8.64	2.35

پس از تعیین میزان عناصر موجود در خاک و میانگین‌گیری از میزان عناصر موجود برای رشد سه گونه، میزان کود لازم برای تامین رشد اولیه گیاهان برآورد و کوددهی انجام شد. کود سوپر فسفات تریپل به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار در زمان آماده‌سازی به زمین داده شد و همزمان با کاشت نیز

www.SID.ir

Archive of SID

۷۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژون به صورت اوره در تمام کرت‌های آزمایشی توزیع شد. برداشت گیاهان در انتهای فصل رشد (پایان شهریور) انجام شد. هم زمان با برداشت، از خاک کرت‌های آزمایشی به‌منظور تعیین میزان فعالیت میکروبی خاک نمونه برداری صورت گرفت و نمونه‌ها داخل فلاسک یخ به آزمایشگاه منتقل شدند. به‌منظور بررسی میزان ترسیب کربن، میزان تولید کربن در هر سه گونه گیاهی محاسبه و بر اساس سناریوهای مختلف شامل بازگشت ۳۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد بقایای گیاهی به خاک در سیستم‌های مختلف الگوی کاشت، میزان پتانسیل ترسیب کربن محاسبه گردید. لازم به ذکر است که در سناریوهای مورد بررسی برگشت بقایای اندام‌های هوایی مدنظر است که معمولاً توسط کشاورزان جمع‌آوری می‌گردد. در انتهای فصل رشد ۵ بوته از هر گونه به‌صورت تصادفی انتخاب شد و تا حد امکان سعی شد که گیاهان به صورت کامل و همراه با ریشه از خاک برداشت و به آزمایشگاه منتقل شوند. نمونه‌های گیاهی به دو بخش اندام هوایی و ریشه تقسیم شده و توزین گردیدند و در نهایت نسبت اندام هوایی به ریشه به صورت وزنی برای هر گونه محاسبه گردید. همچنین در زمان برداشت با حذف اثر حاشیه عملکرد هر سه گونه به صورت جداگانه مورد اندازه گیری قرار گرفت. برای این منظور میزان تولید خالص اولیه بر اساس کربن (NPPc) برای هر گیاه از طریق معادله (۱) محاسبه شد (۱۰):

معادله (۱) $NPPc= CP + CS + CR+CE$

بر اساس منابع مختلف در هر گرم ماده خشک حدود ۰/٤٥ گرم (٤٥ درصد) کربن موجود می‌باشد (۵). بنابراین برای محاسبه میزان کربن موجود در بخش‌های مختلف گیاه (دانه، کاه و کلش و ریشه)، از معادلات ۲ تا ۵ استفاده شد:

معادله (۲) $CP=$ عملکرد اندام اقتصادی $\times$ ۰/٤٥

معادله (۳) $CS=$ (عملکرد اندام اقتصادی (1-HI) / HI) $\times$ ۰/٤٥

معادله (٤) $CR=$ (عملکرد اندام اقتصادی / S:R $\times$ HI) $\times$ ۰/٤٥

معادله (۵) $CE= CR \times$۰/٦٥

که در این معادلات NPPc: تولید خالص اولیه براساس کربن در کل گیاه، CP: کربن موجود در اندام اقتصادی، CS: کربن موجود در کاه و کلش، HI: شاخص برداشت، CR: کربن موجود در ریشه، S:R: نسبت اندام‌هوایی به زیرزمینی و CE: کربن شامل ترشحات ریشه می‌باشد، که مقدار این کربن

www.SID.ir

Archive of SID

براساس منابع مختلف (۵ و ۹) حدود ٦٥ درصد کربن موجود در ریشه در نظر گرفته شد. برای اندازه‌گیری تنفس میکروبی از روش اندرسون (۳) استفاده گردید. از روش گازدهی (تدخین) با کلروفرم (۱۲) نیز برای اندازه‌گیری زیست توده میکروبی خاک بهره‌گیری شد. برای ارزیابی سودمندی کشت مخلوط، از شاخص نسبت برابری زمین استفاده گردید. برای محاسبه این شاخص از معادلات زیر استفاده شد (١٤):

$$LER_a = \frac{Y_{ab}}{Y_{aa}}$$
$$LER_b = \frac{Y_{ba}}{Y_{bb}}$$
$$LER = LER_a + LER_b$$

در این معادلات LER_a، نسبت برابری زمین جزئی برای گونه a و LER_b، نسبت برابری زمین جزئی برای گونه b و LER نسبت برابری زمین می‌باشد. Y_{ab}، عملکرد گونه a در کشت مخلوط؛ Y_{aa}، عملکرد گونه a در کشت خالص؛ Y_{ba}، عملکرد گونه b در کشت مخلوط؛ Y_{bb}، عملکرد گونه b در کشت خالص. تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از برنامه GLM (مدل خطی عمومی) و آزمون F در نرم‌افزار SAS ver 9.1 انجام شد. برای ترسیم نمودارها نیز از نرم‌افزار MS Excel استفاده گردید و میانگین‌ها با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

عملکرد: نتایج آزمایش نشان داد که بیشترین و کمترین عملکرد دانه ذرت در کشت خالص این گیاه به‌دست آمد، به‌طوری‌که ۹۲۷٦ کیلوگرم دانه در هکتار در تیمار کشت خالص تولید شد و کمترین عملکرد دانه ذرت نیز در کشت مخلوط با ختمی به مقدار ۳۵۹۰ کیلوگرم در هکتار حاصل شد (جدول ۲). به‌طورکلی عملکرد دانه ذرت در کشت خالص این گیاه بیشتر از کشت مخلوط دو گانه و سه گانه این گیاه با سویا و ختمی بود که با توجه به تراکم پایین‌تر ذرت در کشت‌های مخلوط (یک سوم تراکم خالص)، این عملکرد بالا قابل انتظار بود. در بین تیمارهای مختلف کشت مخلوط، کشت مخلوط ذرت و سویا از عملکرد بیشتری در مقایسه با مخلوط ذرت و ختمی و همچنین کشت مخلوط ذرت و سویا و ختمی برخوردار بود (جدول ۲).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- عملکرد دانه گیاهان ذرت، سویا و ختمی در الگوهای مختلف کاشت.

Table 2. Seed yield of corn, Soybean and Marshmallow under different patterns of intercropping.

		ذرت Corn	سویا Soybean	ختمی Marshmallow
Corn	ذرت	9276 [a]	-	-
Soybean	سویا	-	2655 [a]	-
Marshmallow	ختمی	-	-	1170 [a]
Corn and Soybean	ذرت و سویا	3812 [b]	1784 [b]	-
Corn and Marshmallow	ذرت و ختمی	3590 [b]	-	794 [b]
Soybean and Marshmallow	سویا و ختمی	-	1774 [b]	409 [c]
Corn and Soybean and Marshmallow	ذرت و سویا و ختمی	3692 [b]	889 [c]	400 [cd]
LSD (5%)		595.65	664.05	162.53

در گیاه سویا نیز بیشترین عملکرد دانه در کشت خالص آن با ۲۶۵۵ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد (جدول ۲). عملکرد دانه سویا در کشت‌های مخلوط دوگانه بیشتر از عملکرد آن در کشت مخلوط سه‌گانه بود (جدول ۲). تراکم گیاه سویا در کشت‌های مخلوط دوگانه (سویا + ذرت و همچنین سویا + ختمی) دو سوم کشت خالص و در کشت مخلوط سه‌گانه (سویا + ذرت + ختمی) یک سوم کشت خالص بود، بنابراین بالاتر بودن عملکرد دانه در کشت‌های مخلوط دوگانه نسبت به کشت سه‌گانه را می‌توان به این موضوع نسبت داد.

در بین الگوهای مختلف کشت، کشت خالص گیاه ختمی بیشترین عملکرد دانه را به خود اختصاص داد، به‌طوری‌که به‌ترتیب میزان عملکرد دانه در این گیاه برابر با ۱۱۷۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (جدول ۲). عملکرد دانه ختمی در مخلوط با ذرت بیشتر از میزان تولید شده در کشت مخلوط با سویا بود، اگر چه این اختلاف عملکرد در این دو سیستم کشت مخلوط، بیشتر به خاطر تفاوت در تراکم کشت گیاه ختمی بود، به‌طوری که در کشت مخلوط با ذرت تراکم گیاه ختمی دو سوم کشت خالص آن بود، در صورتی‌که در کشت مخلوط با سویا تراکم گیاه ختمی یک سوم کشت خالص آن بود. در بین الگوهای مختلف کشت، کشت مخلوط سه‌گانه ختمی + ذرت + سویا کمترین عملکرد دانه ختمی را با عملکردی برابر ۴۰۱ کیلوگرم در هکتار داشت (جدول ۲).

www.SID.ir

Archive of SID

نسبت برابری زمین: نسبت برابری زمین جزئی برای هر دو گونه سویا و ختمی تحت تـاثیر الگوهـای مختلف کاشت قرار گرفت. در صورتی که الگوهای مختلف کاشت تاثیر معنی داری بر میـزان نسـبت برابری زمین جزئی برای گیاه ذرت و همچنین نسبت برابری زمین جزئی کل نداشتند (جدول ۳).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) نسبت برابری زمین جزئی (LERp) و کل (LERt) تحت تأثیر الگوهای مختلف کاشت مخلوط سه گیاه ذرت، سویا و ختمی.

Table 3. The results of variance analysis (mean squares) for total and partial Land Equivalent Ratio under different patterns of corn, soybean and marshmallow intercropping.

		درجه آزادی df	LERp ذرت Corn	LERp سویا Soybean	LERp ختمی Marshmallow	LERt Total Land Equivalent Ratio
Block	بلوک	2(2)*	0.0002 ns	0.0108 ns	0.0059 ns	0.0216 ns
Planting pattern	الگوی کاشت	2(3)	0.0004 ns	0.1122 **	0.1107 **	0.0025 ns
Error	خطا	4(6)	0.0009	0.0045	0.0038	0.0049

*اعداد داخل پارانتز بیان‌گر درجه آزادی برای صفت LERt می‌باشد.

* The numbers in parenthesis indicating of the df for LERt.

با وجود اینکه الگوهای مختلف کاشت تأثیر معنی‌داری بر نسبت برابری زمین نداشتند با این وجود میزان نسبت برابری زمین در تمام الگوهای کشت مخلوط دوگانه و سه‌گانه بزرگتر از یک بود که بیان‌گر سودمندی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص در تمام الگوهای کشت می‌باشد (جدول ٤).

کشت مخلوط ذرت + سویا بیشترین مقدار نسبت برابری زمین را نسبت به سایر کشت‌های مخلوط داشت، به‌طوریکه میزان نسبت برابری زمین در این سیستم کشت برابر با ۱/۰۸۳ به‌دست آمد. کاریوترز و همکاران (۲۰۰۰) بیان کردند که در همه تیمارهای کشت مخلوط ذرت با سویا، نسبت برابری زمین در کشت مخلوط برابر یا بزرگتر از یک بود و نسبت برابری زمین در دامنه‌ای از ۱ تا ۱/٦۳ قرار داشت (٦). آن‌ها گزارش کردند که تمام کشت‌های مخلوط ذرت عملکرد بیشتری نسبت به تک کشتی ذرت داشتند. رضوان بیدختی (۲۰۰٤) در کشت مخلوط ذرت و لوبیا گزارش کرد که مقادیر نسبت برابری زمین در کشت مخلوط ردیفی دو گونه تا ۱/۹ افزایش پیدا کرد (۲٤).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٤- نسبت برابری زمین جزئی (LERp) و کل (LERt) در سیستم‌های مختلف کشت مخلوط سه گونه ذرت، سویا و ختمی.

Table 4. Total and partial Land Equivalent Ratio in differnet patterns of multiple cropping of Corn, Soybean and Marshmallow.

	LERp			LERt
	ذرت Corn	سویا Soybean	ختمی Marshmallow	Total Land Equivalent Ratio
ذرت و سویا Corn and Soybean	0.411 [a]	0.672 [a]	-	1.083 [a]
ذرت و ختمی Corn and Marshmallow	0.387 [a]	-	0.679 [a]	1.066 [a]
سویا و ختمی Soybean and Marshmallow	-	0.668 [a]	0.350 [b]	1.018 [a]
ذرت و سویا و ختمی Corn and Soybean and Marshmallow	0.398 [a]	0.335 [b]	0.343 [b]	1.076 [a]
LSD (5%)	0.069	0.152	0.141	0.141

در بسیاری از آزمایش‌های کشت مخلوط شامل یک گیاه از خانواده بقولات و یک گیاه از خانواده غلات، کشت مخلوط عملکرد نسبتاً بالاتری در مقایسه با تک‌کشتی داشته و در نتیجه نسبت برابری زمین در آن‌ها بیشتر از یک بوده است که دلیل این امر می‌تواند تثبیت بیولوژیکی نیتروژن به‌دلیل حضور بقولات، کاهش رقابت بین‌گونه‌ای برای جذب عناصرغذایی و افزایش روابط همیاری بین دو گونه باشد (۲۰). اصولاً بقولات، به علت سازگاری با الگوهای متفاوت کشت و توانایی تثبیت نیتروژن باعث افزایش حاصلخیزی خاک می‌شوند (۱۳)، از سوی دیگر، بهبود ساختار تاج پوشش گیاهی (۲۱) و افزایش بهره‌وری منابع به‌ویژه نور (۱۸) و عناصرغذایی (۸) را می‌توان مهم‌ترین علت سودمندی مخلوط‌های بقولات-غلات معرفی نمود. به‌طورکلی افزایش عملکرد گیاهان زراعی در سیستم‌های کشت مخلوط، اغلب از طریق بهبود ظرفیت گونه‌های مخلوط برای افزایش جذب و مصرف فیزیولوژیک منابع توسط آن‌ها حاصل می‌شود (۱۱). کمترین میزان نسبت برابری زمین نیز در کشت مخلوط سویا + ختمی به میزان ۱/۰۱۸ مشاهده شد (جدول ٤).

تنفس و زیست‌توده میکروبی خاک: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر الگوهای مختلف کاشت بر میزان تنفس و زیست توده میکروبی خاک معنی‌دار بود (جدول ۵).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تنفس و زیست‌توده میکروبی خاک تحت تأثیر الگوهای مختلف کاشت مخلوط سه گیاه ذرت، سویا و ختمی.

Table 5. The results of variance analysis (mean squares) for soil microbial respiration and biomass under different patterns of corn, soybean and marshmallow intercropping.

		درجه آزادی	تنفس میکروبی	زیست‌توده میکروبی
		df	Soil microbial respiration	Soil microbial biomass
Block	بلوک	2	2.509 ^{ns}	526.1 ^{ns}
Planting pattern	الگوی کاشت	6	896.7 **	148875 **
Error	خطا	12	6.201	703.3

نتایج آزمایش نشان داد که بیشترین تنفس میکروبی خاک تحت تأثیر الگوهای مختلف کشت مربوط به کشت مخلوط سه‌گانه ذرت + سویا + ختمی با ۹٤/۱۷ میلی‌گرم دی‌اکسید کربن در کیلوگرم خاک در روز بود (جدول ٦).

جدول ٦- تنفس و زیست توده میکروبی خاک در الگوهای مختلف کشت سه گیاه ذرت، سویا و ختمی.

Table 6. Soil microbial respiration and biomass in differnet patterns of intercropping of Corn, Soybean and Marshmallow.

		تنفس میکروبی ($mg\ CO_2\ kg^{-1}\ day^{-1}$)	زیست توده میکروبی ($mg\ kg^{-1}$)
		Soil microbial respiration	Soil microbial biomass
Corn	ذرت	52.15 ^{e}	303.17 ^{d}
Soybean	سویا	64.10 ^{d}	246.37 ^{e}
Marshmallow	ختمی	42.28 ^{f}	258.54d ^{e}
Corn and Soybean	ذرت و سویا	75.61 ^{b}	505.59 ^{c}
Corn and Marshmallow	ذرت و ختمی	54.01 ^{e}	291.63 ^{de}
Soybean and Marshmallow	سویا و ختمی	70.26 ^{c}	634.15 ^{b}
Corn and Soybean and Marshmallow	ذرت و سویا و ختمی	94.17 ^{a}	820.34 ^{a}
LSD (5%)		4.43	47.18

کمترین تنفس میکروبی به میزان ٤۲/۲۸ میلی‌گرم دی اکسید کربن در کیلوگرم خاک در روز نیز در کشت خالص ختمی به‌دست آمد (جدول ٦). به‌طور کلی حضور توأم چند گونه در سیستم‌های

www.SID.ir

Archive of SID

مخلوط منجر به افزایش تنفس میکروبی خاک نسبت به سیستم‌های تک کشتی گردید و به جز کشت مخلوط ذرت و ختمی (٥٤/٠١ میلی‌گرم دی اکسید کربن در کیلوگرم خاک در روز) که میزان تنفس میکروبی آن کمتر از کشت خالص سویا (٦٤/١٠ میلی‌گرم دی اکسید کربن در کیلوگرم خاک در روز) بود، سایر الگوهای مختلف کشت مخلوط از تنفس بالایی نسبت به کشت خالص گونه‌ها برخوردار بودند، بنابراین افزایش تنفس میکروبی در کشت مخلوط را می‌توان به دلیل افزایش تنوع گیاهان در سیستم‌های چندکشتی بیان نمود (جدول ٦). عزیزی و همکاران (٢٠١٣) نیز افزایش تنفس میکروبی خاک را با افزایش تنوع گیاهان زراعی گزارش نمودند و بیان کردند که چندکشتی منجر به افزایش تنفس میکروبی خاک در مقایسه با تک کشتی گیاهان می‌گردد (٤). لین و همکاران (٢٠١٠) به نتایج مشابهی دست یافتند و افزایش تنفس میکروبی خاک در کشت مخلوط گندم با بادام زمینی را نسبت به کشت خالص هر دو گونه گزارش کردند (١٦). فرآیندهای میکروبی کنترل کننده فرآیندهای اکولوژیک در اکوسیستم و حاصلخیزی خاک می‌باشند. جمعیت میکروبی خاک مسئول تنظیم چرخه عناصر غذایی در خاک است و در فراهم ساختن عناصر غذایی برای گیاه نقش مهمی را بر عهده داشته و بدین‌گونه به عنوان یکی از خدمات مهم اکوسیستمی در نظر گرفته می‌شود (٢). تانگ و همکاران (٢٠١٤) در بررسی فعالیت میکروبی خاک در سیستم‌های مختلف کشت به این نتیجه رسیدند که افزایش تنوع محصولات به صورت کشت مخلوط منجر به افزایش زیست‌توده میکروبی نسبت به سیستم‌های تک‌کشتی می‌شود (٢٩). این محققان افزایش دو برابری در میزان زیست توده میکروبی را در سیستم‌های کشت مخلوط غلات با بقولات در مقایسه با کشت‌خالص آن‌ها گزارش نمودند و دلیل بالاتر بودن زیست‌توده میکروبی در سیستم‌های کشت مخلوط را تنوع بیشتر میکروارگانیسم‌ها و پیچیدگی روابط شکارگری و باکتری خواری در بین میکروارگانیسم‌های موجود در ریزوسفر خاک بیان نمودند. بالا بردن تنوع گیاهی از طریق کشت مخلوط منجر به افزایش جمعیت میکروارگانیسم‌های خاک شده و در نتیجه فعالیت میکروبی خاک که منجر به ایجاد چرخه‌های عناصرغذایی و در نتیجه بهبود حاصلخیزی خاک می‌شود، به عنوان یکی از کارکردهای اکوسیستمی بهبود می‌یابد (٢٩). بنابراین بهبود فعالیت میکروبی در خاک منجر به بهبود چرخش عناصرغذایی و حاصلخیزی خاک می‌گردد که به نوبه خود می‌تواند افزایش تولیدات کشاورزی و بهبود وضعیت اقتصادی کشاورزان را به عنوان یک جنبه دیگر از خدمات اکوسیستمی به دنبال داشته باشد. کشت مخلوط سه گانه ذرت + سویا + ختمی در مقایسه با تک‌کشتی ذرت، سویا و ختمی به‌ترتیب منجر به افزایش ٨٠/٦، ٤٦/٩ و ١٢٢/٧ درصدی

www.SID.ir

Archive of SID

در تنفس میکروبی خاک گردید (جدول ٦). در بین الگوهای مختلف کشت مخلوط، کشت مخلوط سه گانه ذرت + سویا + ختمی دارای بیشترین زیست توده میکروبی بود، به‌طوریکه میزان زیست‌توده میکروبی در این سیستم کشت برابر با ۸۲۰/۳٤ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک به‌دست آمد که نسبت به تک‌کشتی ذرت، سویا و ختمی به‌ترتیب افزایش ۱۷۰/٦، ۲۳۲/۹ و ۲۱۷/۳ درصد در میزان زیست‌توده میکروبی خاک را باعث شد (جدول ٦). زیست‌توده میکروبی اندازه‌گیری شده در کشت‌های مخلوط دوگانه از میزان به‌دست آمده در سیستم‌های تک‌کشتی سویا و ختمی بیشتر بود (جدول ٦). کشت مخلوط دو گانه ذرت + ختمی (۲۹۱/٦۳ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) از میزان زیست‌توده میکروبی کمتری در مقایسه با کشت خالص ذرت (۳۰۳/۱۷ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) برخوردار بود، در صورتی‌که کشت مخلوط ذرت + سویا (۵۰۵/۵۹ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و سویا + ختمی (٦۳٤/۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) دارای زیست‌توده میکروبی بیشتری نسبت به تک کشتی ذرت بودند (جدول ٦). ریوست و همکاران (۲۰۱۰) نیز گزارش کردند که سیستم‌های چندکشتی در مقایسه با کشت خالص گونه‌ها از جمعیت و زیست‌توده میکروبی بیشتری برخوردار هستند (۲۵). اسکات و همکاران (۲۰۱۲) دلیل اصلی بیشتر بودن زیست‌توده و جمعیت میکروبی در سیستم‌های کشت مخلوط را فراهمی بیشتر عناصر غذایی به‌ویژه فسفر برای میکروارگانیسم‌ها بیان کردند (۲۸). وال و همکاران (۲۰۰٤) معتقدند که بیشتر خدمات و کارکردهای اکوسیستمی به فعالیت‌های میکروبی خاک مرتبط هستند و بهبود فعالیت میکروبی خاک را دلیل اصلی افزایش بسیاری از خدمات اکوسیستمی مطرح کردند (۳۲). بنابراین از دیدگاه اکوسیستمی می‌توان عنوان کرد که کشت مخلوط می‌تواند منجر به افزایش کارکرد بیولوژیکی در بخش ریزوسفر خاک گردد که به‌نظر می‌رسد این موضوع سایر کارکردهای اکوسیستم همچون چرخش عناصرغذایی، حاصلخیزی خاک، افزیش تولید و ... را منجر خواهد شد.

ترسیب کربن: الگوهای مختلف کاشت از لحاظ آماری تأثیر معنی‌داری بر میزان تولید خالص اولیه کربن (NPPc) و همچنین سناریوهای مختلف ترسیب کربن داشتند (جدول ۷). بیشترین میزان تولید خالص اولیه کربن (NPPc) در بین الگوهای مختلف کشت مربوط به کشت خالص ذرت به میزان ۹۵۹۰/۸ کیلوگرم کربن در هکتار بود (جدول ۸).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۷- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) نسبت برابری زمین جزئی (LERp) و کل (LERt) تحت تاثیر الگوهای مختلف کاشت مخلوط سه گیاه ذرت، سویا و ختمی.

Table 7. The results of variance analysis (mean squares) for total and partial Land Equivalent Ratio under different patterns of corn, soybean and marshmallow intercropping.

		درجه آزادی df	NPPc	ترسیب کربن Carbon sequestration ۳۰٪ بقایا 30% residues	۷۰٪ بقایا 70% residues	۱۰۰٪ بقایا 100% residues
Block	بلوک	2	40060 ^{ns}	1933 ^{ns}	11628 ^{ns}	25538 ^{ns}
Planting pattern	الگوی کاشت	6	13306389**	426126 **	1499257 **	2743791 **
Error	خطا	12	63360	5268	37184	80651

جدول ۸- تولید خالص اولیه کربن (NPPc) و همچنین میزان ورود کربن به خاک تحت سناریوهای مختلف ترسیب کربن در الگوهای مختلف کشت سه گونه ذرت، سویا و ختمی.

Table 8. Net primary production of carbon and soil carbon content under different scenarios of carbon sequestration in differnet patterns of intercropping of Corn, Soybean and Marshmallow.

		NPPc (Kg C ha^{-1})	ترسیب کربن (Kg C. ha^{-1}) Carbon sequestration بقایا ۳۰٪ 30% residues	بقایا ۷۰٪ 70% residues	بقایا ۱۰۰٪ 100% residues
Corn	ذرت	9590.8 ^{a}	1944.8^{a}	3928.7^{a}	5416.6^{a}
Soybean	سویا	3860.7 ^{c}	877.2^{d}	1899.4^{d}	2666.0^{d}
Marshmallow	ختمی	3980.9 ^{c}	1054.0^{c}	2425.7^{c}	3454.4^{c}
Corn and Soybean	ذرت و سویا	6670.6 ^{b}	1423.6^{b}	2982.8^{b}	4152.1^{b}
Corn and Marshmallow	ذرت و ختمی	6474.9 ^{b}	1487.5^{b}	3210.1^{b}	4502.0^{b}
Soybean and Marshmallow	سویا و ختمی	3964.5 ^{c}	951.2^{cd}	2111.7^{cd}	2982.2^{cd}
Corn and Soybean and Marshmallow	ذرت و سویا و ختمی	6594.7 ^{b}	1463.0^{b}	3114.3^{b}	4352.8^{b}
LSD (5%)		447.80	129.13	343.05	505.22

کمترین میزان تولید خالص اولیه کربن (NPPc) در کشت خالص سویا معادل ۳۸٦۰/۷ کیلوگرم کربن در هکتار به دست آمد (جدول ۸). در بین انواع مختلف کشت مخلوط نیز بالاترین میزان تولید

www.SID.ir

Archive of SID

خالص اولیه کربن (NPPc) در کشت مخلوط ذرت و سویا (٦٦٧٠/٦ کیلوگرم کربن در هکتار) و کمترین میزان تولید خالص اولیه کربن (NPPc) در کشت مخلوط سویا و ختمی (٣٩٦٤/٥ کیلوگرم کربن در هکتار) مشاهده شد (جدول ۸). تولید زیست‌توده بیشتر ذرت منجر به بالاتر بودن تولید خالص اولیه کربن در کشت خالص ذرت در مقایسه با سایر الگوهای مختلف کشت گردید. بنابراین سیستم‌های کشت مخلوطی که یکی از اجزاء آن ذرت بود، میزان تولید خالص اولیه کربن (NPPc) بیشتری داشتند. بر اساس سناریوهای مختلف ورودی کربن و میزان ترسیب کربن در خاک نیز، کشت خالص ذرت به‌دلیل میزان تولید خالص اولیه کربن (NPPc) بالا دارای بالاترین میزان ترسیب کربن در خاک در تمام سناریوهای مورد بررسی بود. لازم به ذکر است که با افزایش درصد حفظ بقایای گیاهی در خاک، میزان ورودی کربن و در نتیجه پتانسیل ترسیب کربن در خاک افزایش نشان داد، بطوریکه سناریوی حفظ ۱۰۰ درصد بقایا در خاک نسبت به سایر سناریوها از بیشترین میزان ترسیب کربن برخوردار بود (جدول ۸). حفظ بقایای گیاهی در خاک به‌عنوان یکی از عوامل مهم در افزایش پتانسیل ترسیب کربن گزارش شده است (۳۳). به‌طور کلی بیشترین پتانسیل ترسیب کربن در الگوهای مختلف کشت مخلوط در کشت مخلوط ذرت و ختمی حاصل شد، به‌طوری‌که در صورت حفظ ۳۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد بقایای گیاهی به ترتیب پتانسیل ترسیب کربن معادل ١٤٨٧/٥، ٢٣١٠/١ و ٤٥٠٢ کیلوگرم در هکتار برآورد گردید (جدول ۸).

پتانسیل ترسیب کربن در هر سه سناریوی مورد بررسی در سیستم‌های مختلف کشت مخلوط بیشتر از کشت خالص سویا بود، به‌طوری که کشت سویا در مخلوط با ذرت تحت سناریوهای ۳۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد حفظ بقایا، به ترتیب منجر به افزایش ٦٢/٣، ٥٧ و ٥٥/٧ درصد و در مخلوط با ختمی به ترتیب باعث افزایش ٨/٤، ١١/٢ و ١١/٩ درصدی در میزان پتانسیل ترسیب کربن نسبت به تک‌کشتی سویا گردید (جدول ۸). کشت سویا در مخلوط با ذرت و سویا نیز به‌ترتیب افزایش ٦٦/٨، ٦٣/٩ و ٦٣/٣ درصدی در پتانسیل ترسیب کربن را نسبت به کشت خالص سویا باعث شد (جدول ۸). نتایج مطالعات پیچل و همکاران (۲۰۰٦) نیز حاکی از این بود که کشت مخلوط در مقایسه با سیستم‌های تک‌کشتی پتانسیل بالایی در ترسیب کربن در خاک و کاهش غلظت دی اکسید کربن اتمسفر دارند (۲۲). تواتاسان و گوردون (۲۰۰٤) نیز به افزایش ٤ برابری ترسیب کربن در سیستم‌های کشت مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی اشاره کردند (۳۰). در بین الگوهای مختلف کشت مخلوط، به‌جز کشت مخلوط سویا و ختمی، سیستم‌های چندکشتی هر سه گونه از پتانسیل ترسیب کربن بیشتری در مقایسه با

www.SID.ir

Archive of SID

تک‌کشتی ختمی تحت سناریوهای مختلف برخوردار بودند (جدول ۸). بیشترین و کمترین پتانسیل ترسیب کربن تحت الگوها و سناریوهای مختلف به‌ترتیب مربوط به کشت خالص ذرت در سناریوی ۱۰۰٪ حفظ بقایا (٥٤١٦/٦ کیلوگرم کربن در هکتار) و کشت خالص سویا در سناریوی حفظ ۳۰ درصد بقایا (۸۷۷/۲ کیلوگرم کربن در هکتار) بود (جدول ۸).

با توجه به‌میزان تولید خالص اولیه کربن (NPPc) بالا در گیاه ذرت، به‌نظر می‌رسد در سیستم‌هایی که گیاه ذرت به‌عنوان یکی از اجزاء آن باشد، پتانسیل ورود و در نتیجه ترسیب کربن افزایش می‌یابد. وانگ و همکاران (۲۰۱۰) بیان نمودند که به‌منظور افزایش کارایی ترسیب کربن در کشاورزی، سیستم‌های مختلف کشت به‌صورت تناوب زراعی و کشت مخلوط باید طوری طراحی شوند که با افزایش تولید بیوماس، پتانسیل ورود و ترسیب کربن در خاک افزایش یابد (۳۳). به‌طور کلی و با توجه به نتایج آزمایش می‌توان بیان کرد که طراحی سیستم‌های کشت باید به‌نحوی صورت پذیرد که علاوه‌بر حضور چندگونه گیاهی و به‌عبارتی تنوع گیاهی بالا، اجزاء آن‌ها دارای تولید خالص اولیه کربن (NPPc) بالا باشند، تا از این طریق علاوه‌بر افزایش پتانسیل ترسیب کربن از لحاظ کمی، به‌دلیل تنوع بقایای برگشتی به خاک، از لحاظ کیفی نیز بهبود یابد. زیرا تنوع بقایای برگشتی به خاک منجربه افزایش تنوع میکروارگانیسم‌های خاک و در نتیجه افزایش چرخه عناصر غذایی در خاک می‌گردد (۲۹). هر چند میزان ترسیب کربن نهایی در خاک به عوامل متعددی از جمله رطوبت، دما، pH، نوع و مقدار میکروارگانیسم‌های موجود در خاک، نوع و مقدار بقایای گیاهی و در نهایت سرعت تجزیه بقایا بستگی دارد (۲۳)، ولی با این وجود با افزایش پتانسیل ورود کربن به خاک، میزان کربن بیشتری در خاک ترسیب می‌شود که به نوبه خود می‌تواند منجر به تخفیف تغییر اقلیم گردد. البته وانگ و همکاران (۲۰۱۰) معتقدند که ترسیب کربن در خاک یک فعالیت چندکارکردی می‌باشد که علاوه بر کاهش و تعدیل تغییر اقلیم، منجر به کاهش فرسایش خاک، افزایش تولید، حاصلخیزی خاک و بهبود تنوع زیستی می‌شود (۳۳). بنابراین انتظار می‌رود که با افزایش تنوع گیاهی از طریق کشت مخلوط علاوه بر افزایش پتانسیل ترسیب کربن، سایر کارکردهای اکوسیستم نیز ارتقاء یابد.

نتیجه‌گیری کلی

جمعیت میکروبی خاک مسئول تنظیم چرخه عناصر غذایی در خاک است و افزایش فعالیت میکروبی در خاک منشاء بهبود سایر کارکردهای اکوسیستم می‌باشد (۳۲). نتایج مطالعه حاضر نشان داد

www.SID.ir

Archive of SID

که کشت سه گانه ذرت + سویا + ختمی بیشترین تنفس و زیست توده میکروبی خاک را دارا بود. بنابراین می‌توان بیان کرد که استفاده از سیستم‌های چندکشتی می‌تواند منجر به افزایش زیست‌توده میکروبی خاک گردد که می‌تواند به نوبه خود سایر کارکردهای اکوسیستم همچون افزایش چرخش عناصر غذایی و حاصلخیزی خاک را به دنبال داشته باشد. همچنین یافته‌های این تحقیق حاکی از این بود که در بین الگوهای مختلف کشت مخلوط، کشت مخلوط ذرت + ختمی بیشترین پتانسیل ترسیب کربن در خاک را به خود اختصاص داد. یکی دیگر از کارکردهای مهم اکوسیستمی مرتبط با کشت مخلوط، افزایش پتانسیل ترسیب کربن می‌باشد که با توجه به نتایج این آزمایش می‌توان عنوان نمود که استفاده از سیستم‌های مختلف کشت مخلوط با افزایش پتانسیل ترسیب کربن در خاک، می‌تواند گام مهمی در راستای تعدیل اثرات منفی تغییر اقلیم باشد. بنا به تعریف خدمات اکوسیستمی شامل فرآیندهایی می‌شود که از طریق اکوسیستم‌های طبیعی تداوم حیات انسان را تضمین کنند و بنابراین به نظر می‌رسد که کشت مخلوط به‌عنوان یک مدل از اکوسیستم طبیعی، می‌تواند امکان بهبود کارکردهای اکوسیستمی را فراهم آورد. البته لازم به ذکر است که انتخاب نوع گیاهان در سیستم مخلوط و همچنین میزان حفظ بقایای گیاهی در خاک، نقش بسزایی در موفقیت کشت مخلوط از لحاظ ترسیب کربن خواهد داشت. به‌طوری که در این آزمایش نیز مشخص گردید که سیستم‌های کشت مخلوطی که یکی از اجزاء آن ذرت بود، از بالاترین پتانسیل ترسیب کربن برخوردار بودند. بنابراین به‌عنوان یک پیشنهاد کلی، افزایش تنوع گیاهی از طریق کشت مخلوط را می‌توان به‌عنوان یکی از راهکارهای مؤثر در جهت افزایش خدماتی همچون بهبود فعالیت میکروبی و پتانسیل ترسیب کربن مدنظر قرار داده و ارزش‌گذاری چنین خدماتی در سیستم‌های چندکشتی و مقایسه آن‌ها با کشت‌های خالص را برای مطالعات آتی توصیه نمود.

منابع

1. Altieri, M.A. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. Agri. Ecosys. Environ. 74: 19-31.
2. Barrios, E. 2007. Soil biota, ecosystem services and land productivity. Ecol Econ. 64(2): 269-285.
3. Anderson, T.H., and Domsch, K.H. 1993. The metabolic quotient for CO2 (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. Soil Biol. Biochem. 25: 393-395.

www.SID.ir

Archive of SID

4. Azizi, G., Koocheki, A.,Nasiri mahallati, M., and Rezvani Moghaddam, P. 2013. Effect of plant diversity and nutrition source on soil microbial respiration and density of weeds in different planting patterns. 5_{th} congress of weed science, Tehran university. (In Persian)
5. Bolinder, M.A., Janzen, H.H., Gregorich, E.G., Angers, D.A., and Vanden Bygaart, A.J. 2007. An approach for estimating net primary productivity and annual carbon inputs to soil for common agricultural crops in Canada. Agri. Ecosys. Environ. 118: 29–42.
6. Carruthers, K., Prithiviraj, B.Fe.Q., Cloutier, D., Martin, R.C., and Smith, D.L. 2000. Intercropping corn with soybean, Iupin and forages: yield component responses. Eur. J. Agron. 12:103-115.
7. Conen, F., and Smith, K.A. 1998. A re-examination of closed flux chamber methods for the measurement of trace gas emissions from soils to the atmosphere. Eur. J. Soil Sci. 49: 701–707.
8. Ghanbari Bonjar, A. 2000. Intercropped wheat (*Triticum aestivum*) and bean (*Vicia faba*) as alow-input forage. University of Londan, WyeCollege, PhD Dissertation.
9. Gill, R.A., Kelly, R.H., Parton, W.J., Day, K.A., Jackson, R.B., Morgan, J.A., Scurlock, J.M.O., Tieszen, L.L., Castle, J.V., Ojima, D.S., and Zhang, X.S. 2002. Using simple environmental variables to estimate belowground productivity in grasslands. Global Ecol. Biogeogr. 11: 79–86.
10. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2002. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Cambridge University. Press, New York. 118p.
11. Jahansooz, M.R., Yunusa, I.A.M., Coventry, D.R., Palmer, A.R., and Eamus, D. 2007. Radiation- and water-useassociated with growth and yields of wheat and chickpea in sole and mixed crops. Eur. J. Agron. 26: 275–282.
12. Jenkinson, D.S., and Powelson, D.S. 1976. The effect of biocidal treatments of metabolism in soil-V: A method for measuring soil biomass. Soil Biol, Biochem. 8: 209-213.
13. Jeyabal, A., and Kuppuswamy, G. 2001. Recycling of organic wastes for the production of vermicompost and its response in rice–legume cropping system and soil fertility. Eur. J. Agron. 15: 153–170.
14. Koocheki, A., Nasiri mahallati, M., Feizi, H., Amir moradi, Sh., and Mandani, F. 2010. Effect of row intercropping of corn and bean on yield and land equivalent ratio in presence and absence of weeds. J. agroecology. 2: 2.225-235. (In Persian)
15. Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. Geoderma. 123: 1-22.

www.SID.ir

Archive of SID

16. Lin, Y.J., Gao, F., Zhang, J.L., Zhou, L.Y., Zhang, X.M., Li, B.L., Zhao, H.J., and Li, X.D. 2010. Soil microbial biomass and respiration rate under effects of different planting patterns of peanut. Ying Yong Sheng Tai Xue Bao. 21(9): 2323-2328.
17. Makumba, V., Akinnifesi, F.K., Janssen, B., and Oenema, O. 2007. Long-term impact of a gliricidia-maize intercropping system on carbon sequestration in southern Malawi. Agri. Ecosys. Environ. 118: 237–243.
18. Mansoori, H., Mansoori, L., Jamshidi, Kh., Rastgoo, M., and Moradi, M. 2010. uptake and radiation use efficiency in additive multiple cropping of corn and bean. Prod. Technol. Agron. Hort. Crops. 3(9): 15-26. (In Persian)
19. Metting, F.B., Smith, J.L., and Amthor. J.S. 1999. Science Needs and New Technology for Soil Carbon Sequestration. Rosenberg publishing. Pp: 1-35.
20. Morris, R.A., and Garrity, D.P. 1993. Resource capture and utilization in intercropping: non nitrogen nutrients. Field Crop Res. 34: 303-317.
21. Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., Rezvani Moghadam, P., and Beheshti, A. 2001. Agroecology. Ferdowsi university of Mashhad Press, 459p. (In Persian)
22. Peichl, M., Thevathasan, N.V., Gordon, A.M., Huss, J., and Abohassan, R.A. 2006. Carbon sequestration potentials in temperate tree-based intercropping systems, southern Ontario, Canada. Agroforest Syst. 66: 243–257.
23. Post, W.M., and Kwon, K.C. 2000. Soil carbon sequestration and land-use change, processes and potential. Glob. Change Biol. 6(3): 317-327.
24. Rezvan beidokhti, Sh. 2004. Comparison of different patterns of multiple cropping of corn and soybean. Msc thesis. Ferdowsi university of Mashhad. (In Persian)
25. Rivest, D., Cogliastro, A., Bradley, R.L., and Olivier, A. 2010. Intercropping hybrid poplar with soybean increases soil microbial biomass, mineral N supply and tree growth. Agroforest Syst. 80: 33–40.
26. Salinger, M.J. 2005. Climate variability and change: past, present and future- an overview. Climate Change. 70: 9-29.
27. Schroder, S., Begemann, F., and Harrer, S. 2007. Agrobiodiversity monitoring documentation at European level. JVL. 1: 29-32.
28. Scott, J.T., Cotner, J.B., and LaPara, T.M. 2012. Variable stoichiometry and homeostatic regulation of bacterial biomass elemental composition. Frontiers in Microbiol. 3: 1-8.
29. Tang, X., Bernard, L., Brauman, A., Daufresne, T., Deleporte, P., Desclaux, D., Souche, G., Placella, S.A., and Hinsinger, P. 2014. Increase in microbial biomass and Phosphorus availability in the rhizosphere of intercropped cereal and legumes under field conditions. Soil Biol. Biochem. 75: 86-93.
30. Thevathasan, N.V., and Gordon, A.M. 2004. Ecology of tree intercropping systems in the North temperate region: experiences from southern Ontario, Canada. Agroforest Syst. 61: 257–268.

www.SID.ir

Archive of SID

31. Vandermeer, J.H. 1992. The Ecology of Intercropping. Cambridge University Press.
32. Wall, D.H., Bardgett, R.D., Covich, A.P., and Snelgrove, V.R. 2004. The need for understanding how biodiversity and ecosystem functioning affect ecosystem services in soils and sediments. In: D.H. Wall (ed.) Sustaining biodi- versity and ecosystem services in soils and sediments. Island Press, Washington, DC. 1-12.
33. Wang, Q., Li, Y., and Alva, A. 2010. Cropping systems to improve carbon sequestration for mitigation of climate change. Environ Protect. 1: 207-215.

www.SID.ir