نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد یازدهم، شماره سوم، ۱۴۰۰
۱۳۹-۱۵۸
http://ejsms.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/ejsms.2021.18793.2008
(مقاله کامل علمی- پژوهشی)

اثر کاه گندم غنی‌شده با *استرپتومایسس* و اوره بر فسفر فراهم و برخی شاخص‌های میکروبی خاک در شرایط آزمایشگاهی

الهام صادقی[۱]، رضا قربانی نصرآبادی*[۲] و سید علیرضا موحدی نائینی[۳]

[۱]دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، [۲]استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، [۳]دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۱۰

چکیده

سابقه و هدف: خاک به عنوان یک سیستم زنده یکی از عوامل مؤثر در تعادل اکوسیستم است و فرایندهای بی‌شماری به‌ویژه در مقیاس کوچک در آن جریان دارد. ریزجانداران خاک نقش مهمی در حفظ کیفیت خاک از راه تجزیه مواد آلی و گردش چرخه عناصر غذایی دارند. کاربرد ریزجانداران در اکوسیستم‌هایی که پایداری جامعه زیستی آن‌ها در پی مصرف بیش از اندازه کودها، شوری و سموم شیمیایی به شدت دچار تزلزل شده است، منجر به بهبود کارایی مصرف عناصر غذایی، کنترل زیستی آفات و بیماری‌ها می‌گردد. مواد آلی فعالیت میکروبی خاک را افزایش می‌دهد از سوی دیگر، افزودن ریزجانداران به مواد آلی موجب افزایش آزادسازی عناصر غذایی از مواد آلی می‌گردد. به سبب درک اهمیت نقش ریزجانداران در رهاسازی انرژی و عناصر غذایی در خاک، در سال‌های اخیر توجه روزافزون به برآورد زیست‌توده میکروبی در خاک شده است. از این‌رو هدف این پژوهش، بررسی اثر مانده گندم مایه‌زنی شده با *استرپتومایسس* و اوره بر فسفر فراهم، تنفس میکروبی، کربن زیست‌توده میکروبی، ضریب متابولیک و زمان بازگشت زیست‌توده میکروبی بود.

مواد و روش‌ها: آزمایش به صورت طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل و در سه تکرار در شرایط کنترل شده آزمایشگاهی انجام شد. فاکتورها شامل دو سطح اوره (صفر و ۱/۶ گرم در ۱۰۰ گرم کاه گندم)، دو سطح *استرپتومایسس* (صفر و ۵ درصد) و دو سطح مانده گیاهی (یک درصد و بدون مانده کاه گندم) بود. کاه گندم با مقادیر مشخصی از کود اوره و مایه‌زنی *استرپتومایسس* تیمار گردید. سپس کاه تیمار شده، با خاک کاملاً مخلوط شد. برای فعال‌سازی جمعیت میکروبی، رطوبت خاک در پیرامون ۷۰ درصد گنجایش مزرعه تنظیم و مخلوط‌ها به مدت ۲ هفته در دمای اتاق نگه‌داری شدند. پس از آن مخلوط‌ها به مدت ۹۰ روز در دمای ۲±۲۵ درجه سلسیوس گرماگذاری شدند. سپس کربن زیست‌توده میکروبی و فسفر فراهم در سه دوره به‌صورت ماهانه و تنفس میکروبی به‌صورت هفتگی اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که مایه‌زنی *استرپتومایسس*، افزودن مانده گیاهی کاه گندم و اوره باعث افزایش غلظت فسفر قابل دسترس، تنفس میکروبی و کربن زیست‌توده میکروبی خاک گردید. در این آزمایش مقدار تنفس میکروبی و

* مسئول مکاتبه: rgnasr@yahoo.com

کربن زیست‌توده میکروبی با افزودن هم‌زمان *استرپتومایسس*، مانده گیاهی و اوره به خاک بیش‌ترین بود و تأثیر مایه‌زنی *استرپتومایسس* به مانده گیاهی گندم بر پارامترهای مورد بررسی بیش‌تر از اوره بود. کم‌ترین مقدار تنفس میکروبی، کربن زیست‌توده میکروبی و فسفر در خاک شاهد (بدون اوره، *استرپتومایسس* و مانده گیاهی) بود. افزدون مانده گیاهی کاه گندم به خاک با تامین سوبسترای مورد نیاز، تنفس میکروبی و کربن زیست‌توده میکروبی را افزایش داد. هم‌چنین استفاده از کاه گندم و اوره منجر به افزایش فسفر فراهم خاک گردید.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش نشان داد که در خاک‌های با محدودیت کربن آلی، افزودن *استرپتومایسس* و کود اوره به مانده گیاهی کاه گندم باعث افزایش تنفس و کربن زیست‌توده میکروبی در خاک شد. هم‌چنین افزدون مانده گیاهی کاه گندم به خاک افزایش فسفر فراهم خاک را به همراه داشت. تیمار کردن خاک با جدایه *استرپتومایسس* نیز افزایش فسفر فراهم خاک را به همراه داشت که این افزایش در مانده گیاهی تیمار شده با جدایه *استرپتومایسس* محسوس‌تر بود. بنابراین در خاک‌هایی با محدودیت کربن، افزایش سطح ماده آلی و غنی‌سازی آن، می‌تواند منجر به افزایش فعالیت میکروبی و پتانسیل‌های زیستی در خاک گردد.

واژه‌های کلیدی: *استرپتومایسس*، اوره، تنفس میکروبی، کربن زیست‌توده میکروبی، مانده گیاهی

مقدمه

خاک یک سیستم پیچیده است که در آن انواع فرآیندهای زیستی، شیمیایی و فیزیکی رخ می‌دهد که هرکدام تحت‌تأثیر عوامل محیطی است (۴۰). خاک جزء بسیار مهمی در پایداری اکوسیستم‌ها است. در حقیقت می‌توان خاک را به عنوان پناهگاهی انگاشت که گروه‌های مختلفی از ریزجانداران در آن ساکن هستند. ویژگی‌های میکروبی خاک از شاخص‌های مهم کیفیت آن به شمار می‌آیند و به همین دلیل در ارزیابی کیفیت و سلامت خاک این ویژگی‌ها بسیار مهم‌اند (۳۷). ریزجانداران خاک نقش مهمی در تجزیه مواد آلی، افزایش زیست‌فراهمی عناصر غذایی، حاصل‌خیزی خاک و افزایش و بهبود رشد گیاه دارند (۴۴). فعالیت و جمعیت ریزجانداران در خاک ارتباط نزدیکی با اندازه مواد آلی در خاک و فراهمی سوبسترای ناپایدار دارد (۲۹). نقش زیست‌توده میکروبی در دگرگونی مواد آلی خاک انکارناپذیر است، به طوری‌که چرخه کربن و معدنی شدن سوبستراهای آلی بیش‌تر ناشی از فعالیت زیست‌توده میکروبی خاک می‌باشد (۵۰). مواد آلی با افزایش فعالیت میکروبی، معدنی شدن نیتروژن، ذخیره و سرعت معدنی شدن کربن باعث حاصل‌خیزی خاک می‌شود (۲۹). نسبت کربن به نیتروژن مواد آلی و نیتروژن معدنی خاک نیز تأثیر مستقیمی بر ذخیره کربن و سرعت معدنی شدن آن دارد (۲۹).

استفاده و حفاظت کارآمد از منابع نیتروژن (N) برای حفظ بهره‌وری کشاورزی حیاتی است و هم‌زمان از محیط زیست نیز محافظت می‌کند (۱). تجزیه مانده‌های گیاهی در خاک توسط ریزجانداران می‌تواند با تعدیل روند معدنی-آلی شدن نیتروژن بر فراهمی آن در خاک تأثیر بگذارد (۲۴). با این‌حال، تأثیر افزودن مانده‌های گیاهی بر خاک نیز ممکن است توسط ویژگی‌های زیستی، شیمیایی و فیزیکی خاک و گیاهان تغییر کند. گیاهانی که در خاک‌های با توان باروری متفاوت رشد می‌کنند، ممکن است در رقابت با ریزجانداران خاک برای دریافت مواد مغذی، بر

تجزیه مانده‌های گیاهی و آزاد شدن نیتروژن تأثیر بگذارند و هم‌زمان ممکن است از راه رشد ریشه و تراوش‌های ریشه‌ای، محیط را برای متابولیسم میکروبی تغییر دهند (۲۵).

کاربرد زیاد کود شیمیایی در زمین‌های کشاورزی به طور کلی منجر به انباشت نیترات در خاک می‌شود و در نتیجه باعث افزایش هدررفت نیتروژن از راه آب‌شویی و کاهش نگه‌داشت نیتروژن در خاک می‌شود (۲۵ و ۵۳). در نتیجه کارایی مصرف کود نیتروژن در خاک کاهش می‌یابد (۵۱). عموماً تغییر در اندازه کربن زیست‌توده میکروبی، به کاربری زمین و محتوای کربن و انرژی در خاک بستگی دارد (٤٦). خاک‌هایی که دارای مواد آلی بیش‌تری هستند از تنوع میکروبی بیش‌تری نسبت به خاک‌های دارای مواد آلی کم‌تر برخوردارند (۱۹ و ٤۱). نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد که کاربرد کود شیمیایی (در اندازه مناسب) و آلی در خاک باعث افزایش فراوانی ریزجانداران و فعالیت بیش‌تر آنزیم‌های خاک می‌شود و کاربرد کود شیمیایی در اندازه‌های زیاد ترکیب و فراوانی ریزجانداران خاک را تغییر می‌دهد (۲۷). به طور کلی، با افزودن این مواد به خاک فعالیت و جمعیت ریزجانداران افزایش یافته و با کم شدن و یا به پایان رسیدن مواد افزوده شده، جمعیت آن‌ها نیز کاهش می‌یابد تا دوباره با شرایط جدید خاک به حالت تعادل برسند (١٤). مدیریت خاک به ویژه مدیریت مانده‌های آلی مانند کاه و کلش گیاهان با تأثیر مستقیم و غیرمستقیم بر کیفیت و کمیت مانده‌های گیاهی موجود در خاک می‌تواند وضعیت ریزجانداران خاک و به دنبال آن فعالیت میکروبی را تغییر دهد (۳۳). با تجزیه مانده‌های آلی، عناصر غذایی ضروری مانند نیتروژن، فسفر، کربن و گوگرد در خاک آزاد شده و این عناصر برای رشد گیاهان و ریزجانداران به کار گرفته می‌شوند (۳۹). حیدری و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی به بررسی اثر برگرداندن کاه و کلش گندم بر ویژگی‌های فیزیکی و زیستی خاک پرداختند و نتیجه گرفتند که برگرداندن آن به خاک به دلیل افزایش ماده آلی و پیامدهای مطلوب بر ویژگی‌های فیزیکی منجر به افزایش جمعیت و فعالیت ریزجانداران در خاک شد (۱۷). افزودن مانده گیاهی با آزادسازی عناصر غذایی باعث حفظ باروری خاک می‌شود (۳٦). جاون و همکاران (۲۰۰۸) بیان نمودند که کاربرد کود معدنی و آلی همراه با برگشت مانده گیاهی، موجب افزایش کربن زیست‌توده میکروبی، نیتروژن زیست‌توده میکروبی و نسبت کربن میکروبی به کربن آلی می‌شود (۲۰). پاندیاراج و همکاران (۲۰۱۵) بیان نمودند که با مدیریت درست مانده‌های گیاهی همراه با کود نیتروژن و یا زیر خاک کردن لگوم، اقتصاد نیتروژن در سامانه کشت بهبود یافته و بهره‌وری در کوتاه‌مدت بالا می‌رود (۳٦). سون (۲۰۱۵) در پژوهشی با اندازه‌گیری شاخص‌های زیستی خاک در پی افزودن کود نیتروژن و مانده گیاهی، گفتند که جدا از نوع مانده گیاهی به‌کار رفته (ماشک و گندم)، کاربرد کود نیتروژن زیست‌توده میکروبی خاک را افزایش داد (٤۲). هم‌چنین به تازگی غنی‌سازی ورمی‌کمپوست با باکتری‌های حل‌کننده فسفات و تثبیت کننده نیتروژن انجام شده که موجب افزایش فسفر قابل‌جذب و نیتروژن کل در ورمی‌کمپوست گردیده است. افزایش جمعیت میکروبی، افزایش اسید هومیک و کاهش pH، ماده آلی و نسبت کربن به نیتروژن در ورمی‌کمپوست غنی شده با تیمارهای باکتریایی گزارش شده است (۷ و ۲۱). بنابراین پژوهش کنونی با هدف بررسی اثرات مدیریت کاه گندم غنی‌شده با *استرپتومایسس* و کود اوره در سطوح مختلف بر میزان فسفر فراهم، تنفس، کربن زیست‌توده میکروبی، ضریب متابولیک و زمان بازگشت کربن زیست‌توده میکروبی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل با دو سطح مایه‌زنی جدایه *استرپتومایسس* (صفر و ۵ درصد)، دو سطح اوره (صفر و ۱/٦ گرم بر ۱۰۰ گرم کاه) و کاه گندم در دو سطح (صفر و یک درصد) در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. برای تهیه خاک ابتدا یک خاک از عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متری از زمین غیرکشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به اندازه نیاز نمونه‌برداری شد. پس از انتقال به آزمایشگاه و هواخشک شدن، خاک از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مانند بافت خاک، رطوبت ظرفیت مزرعه و رطوبت اشباع با روش کارتر و گریگوریچ (۸) و کربنات کلسیم معادل، (۱:۵) pH، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع، کربن آلی، نیتروژن کل، وزن مخصوص ظاهری، فسفر و پتاسیم قابل استفاده با استفاده از روش‌های استاندارد (۳۵) اندازه‌گیری شدند (جدول ۱).

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه.

Table 1. Some physico-chemical properties of the studied soil.

خصوصیات Parameter	واحد Unite	مقدار Value
رس Clay	%	32.6
سیلت Silt	%	50.9
شن Sand	%	16.5
بافت Texture	-	لوم رسی سیلتی Silty Clay Loam
قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع EC_e	($dS\ m^{-1}$)	1.01
pH (1:5)	-	7.40
کربن آلی Organic carbon	%	0.91
کربنات کلسیم معادل Calcium carbonate equivalent	%	5.80
نیتروژن کل Total N	%	0.09
C/N	-	10.1
رطوبت ظرفیت مزرعه Field capacity	%	26.0
وزن مخصوص ظاهری Bulk density	($g\ cm^{-3}$)	1.30
رطوبت اشباع Saturated moisture	%	51.0
فسفر قابل‌جذب P_{ava}	($mg\ kg^{-1}$)	10.0
پتاسیم قابل‌جذب K_{ava}	($mg\ kg^{-1}$)	423

آزمایش در دو سری انجام گردید. در آزمایش سری اول برای اندازه‌گیری تنفس میکروبی به صورت هفتگی ۱۰۰ گرم خاک خشک و در آزمایش سری دوم برای اندازه‌گیری کربن زیست‌توده میکروبی، تنفس ناشی از سوبسترا[1] (SAR) و فسفر فراهم، ۵۰۰ گرم خاک معادل وزن آون خشک برداشت و در جارهای پلاستیکی یک لیتری ریخته شد. ابتدا اوره در

1- Substrate-induced respiration

سطح ۱/٦ گرم در ۱۰۰ گرم کاه گندم برای تصحیح نسبت کربن به نیتروژن به کاه گندم افزوده شد. سپس مایه‌زنی *استرپتومایسس* با شماره دسترسی (KJ152149) (با جمعیت 10^7 cfu/ml) به مقدار ۵ درصد (حجمی/وزنی) به کاه گندم کاملاً آسیاب شده (با اندازه یک میلی‌متری) انجام شد. کاه گندم و باکتری به طور کامل با هم مخلوط و سپس به خاک افزوده شدند. برای فعال شدن جمعیت میکروبی و برقراری تعادل نسبی، رطوبت مخلوط خاک- کاه غنی‌شده در حد ۷۰ درصد گنجایش مزرعه خاک اولیه تنظیم و جارها ۲ هفته در دمای معمولی محیط به حالت پیش انکوباسیون قرار گرفتند. سپس نمونه‌ها در دمای ۲±۲۵ سلسیوس گرماگذاری شدند و کنترل رطوبت آن‌ها به روش وزنی و با توزین جارها انجام گرفت. طی انکوباسیون تنفس میکروبی (۳) به‌صورت هفتگی، فسفر قابل‌جذب (۳٤)، ضریب متابولیک[1] (qCO_2) (۱۳ و ٤۳)، زمان بازگشت کربن زیست‌توده میکروبی[2] (MTT) (۹)، کربن زیست‌توده میکروبی (٤۹) طی سه دوره به فاصله زمانی ۳۰ روز و تنفس ناشی از سوبسترا (۲) یک بار در پایان دوره انکوباسیون اندازه‌گیری شدند. تجزیه واریانس داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال α=۰/۰۵ با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد. در این آزمایش اثر زمان‌های مختلف هم بررسی شده و برای بررسی آن از روش اندازه‌گیری مکرر (Repeated Measure) بهره‌گیری شده است. در این طرح (Repeated Measure) هر یک از آزمودنی‌ها در معرض بیش از یک متغییر مستقل قرار می‌گیرند. این طرح تغییراتی را که در روند زمان در آزمودنی به وجود می‌آید اندازه‌گیری می‌کند. هدف اساسی این طرح، به حداقل رساندن خطاهای ناشی از تفاوت‌های فردی است. ضریب متابولیک (۱) و زمان بازگشت زیست‌توده میکروبی (۲) به صورت زیر محاسبه شدند:

$$qCO_2 = MRR/MBC*1000 \qquad (1)$$

که در آن، qCO_2 ضریب متابولیکی ($mg\ CO_2\text{-}C\ g^{-1}\ MBC\ day^{-1}$)، B.R. مقدار کربن حاصل از تنفس میکروبی طی یک روز ($mg\ CO_2\text{-}C\ kg^{-1}day^{-1}$) و MBC کربن زیست‌توده میکروبی ($mg\ kg^{-1}$).

$$MTT=((MBC\times(1-Y))/Y)/(B.R.-(MBC\times Rm)) \qquad (2)$$

که در آن، MBC کربن زیست‌توده میکروبی ($mg\ kg^{-1}$)، Rm انرژی مصرفی برای بقاء (۰/۰۸٪)، B.R. تنفس پایه ($mg\ CO_2\text{-}C\ kg^{-1}day^{-1}$) و Y راندمان مصرف کربن (۰/٤۵).

نتایج و بحث

فسفر فراهم: در خاک دارای کاه خام (بدون *استرپتومایسس* و اوره)، در مقایسه با خاک شاهد (بدون *استرپتومایسس*، اوره و کاه گندم) فسفر فراهم در ماه‌های اول، دوم و سوم انکوباسیون به ترتیب ۱۹ ۲۰ و ۲۱ درصد افزایش یافت (شکل ۱). در خاک دارای کاه تیمار شده با اوره و بدون *استرپتومایسس*، کاه گندم فسفر فراهم را به ترتیب ۲۳، ۲۵ و ۲۵ درصد به ترتیب در ماه‌های اول، دوم و سوم آزمایش نسبت به خاک شاهد (خاک تیمار شده با اوره بدون کاه و *استرپتومایسس*) افزایش داد (شکل ۱).

نتایج به‌دست آمده بالا بودن فسفر در کاه گندم را نشان می‌دهد (شکل ۱). پژوهش‌گران پیشین نیز افزایش فسفر فراهم خاک پس از افزودن مانده گیاهان را گزارش کرده‌اند (۲۲). چودوری و همکاران (۲۰۱۱) بیان نمودند که بخش چشم‌گیری از عناصر

1- Metabolic quotient
2- Microbial biomass turnover time

ماکرو (N-P-K) و میکرو (Fe-Zn-Mn) پس از برگرداندن مانده گیاهی برنج به خاک منجر به باز چرخش عناصر غذایی و برگشت آن به چرخه تولید و افزایش کیفیت و کمیت محصول می‌گردد (۱۰).

در خاک دارای کاه تیمار شده با *استرپتومایسس* بدون اوره، کاه گندم در سه ماه انکوباسیون، به ترتیب منجر به افزایش ۲۳، ۲۷ و ۲۶ درصدی فسفر فراهم نسبت به خاک شاهد (خاک تیمار شده با *استرپتومایسس* بدون کاه و اوره) شد (شکل ۱). هم‌چنین کاه تیمار شده با *استرپتومایسس* و اوره، فسفر فراهم را در سه ماه انکوباسیون به ترتیب ۲۸، ۳۱ و ۳۲ درصد نسبت به خاک شاهد (خاک با اوره و *استرپتومایسس* بدون کاه) افزایش داد (شکل ۱). نتایج نشان می‌دهد در حضور کاه گندم، افزدون *استرپتومایسس* و اوره منجر به ایجاد اثر متقابل هم‌کرداری بیش‌تر گردیده و منجر به آزادسازی بیش‌تر (معنی‌دار $P<0/001$) فسفر فراهم خاک شد. هم‌چنین مصرف مواد آلی ممکن است موجب پویایی فسفر افزایش زیست‌فراهمی آن در خاک شده و در عین‌حال فسفر آلی موجود در ساختار مواد آلی نیز آزاد شده باشد. در تمامی تیمارها نیتروژن باعث افزایش بیش‌تر فسفر فراهم در خاک گردید. پژوهش‌گران بر این باورند که افزودن مواد آلی با نسبت کربن به نیتروژن بالا (مانند کاه گیاهان خانواده گندم) به خاک ممکن است با کاهش فراهمی نیتروژن برای گیاه همراه باشد. بنابراین در هنگام استفاده از مانده‌های آلی برای جلوگیری از کمبود نیتروژن باید از کود شیمیایی نیتروژن‌دار استفاده کرد (۳۱).

فسفر فراهم خاک در تمامی تیمارها طی سه ماه انکوباسیون به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (شکل ۱). که این می‌تواند به‌دلیل افزایش اسیدیته و آزادسازی فسفر نامحلول خاک و تجزیه ساختار مانده گیاهی و آزادسازی فسفر آلی ساختمان گیاه و تبدیل آن به فسفر معدنی توسط ریزجانداران باشد. هم‌چنین می‌تواند به دلیل افزایش فسفر زیست‌توده میکروبی خاک باشد که ارتباط نزدیکی با فسفر فراهم خاک دارد. مارشنر و همکاران (۲۰۰۵) همبستگی مثبت و معنی‌داری بین جذب فسفر گندم و فسفر زیست‌توده میکروبی در خاک‌های با دامنه فسفر قابل استفاده ۷ تا ۵۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش کردند (۳۰).

طبق یافته‌های این پژوهش فسفر فراهم در تمامی تیمارهای دارای کاه گندم بیش‌تر از تیمارهای بدون آن و در تیمارهای با *استرپتومایسس* و اوره بیش‌تر از تیمارهای بدون آن‌ها بود. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار فسفر فراهم در این آزمایش به‌ترتیب در تیمار R1S1N1 (کاه غنی شده با *استرپتومایسس* و اوره) در ماه سوم و تیمار R0S0N0 (خاک تیمار نشده با هیچ‌کدام) در ماه نخست بود. کومار و سینگ (۲۰۰۱) نیز در پژوهش خود تأثیر ورمی‌کمپوست غنی‌شده با باکتری حل‌کننده فسفات بر مقدار فسفر محلول در خاک فسفات را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد جمعیت باکتری‌های مایه‌زنی شده، اسیدهای آلی، فعالیت آنزیمی و نیز مقدار فسفر محلول در آب افزایش یافت (۲۳). بوساتو و همکاران (۲۰۱۲) بیان نمودند که استفاده از باکتری‌های حل کننده فسفات در فرایند کمپوست سازی سبب افزایش ۱۰۶ درصدی فسفر محلول در آب شد (۷).

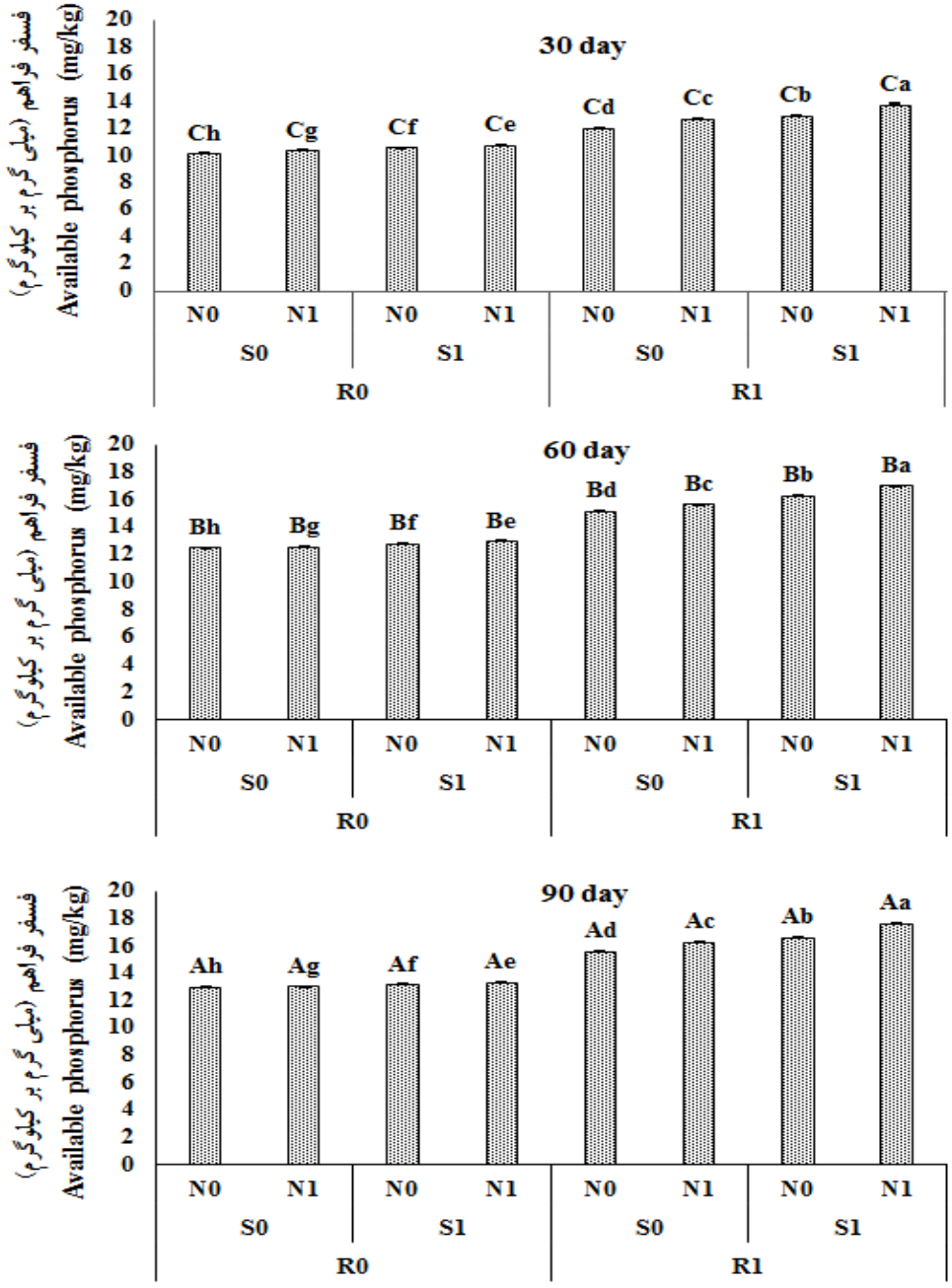
جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربع‌ها) اثرهای اوره، *استرپتومایسس*، کاه گندم و برهم‌کنش آن‌ها (بین گروهی)، اثر زمان و برهم‌کنش زمان (درون گروهی) بر کربن زیست‌توده میکروبی (MBC)، سرعت تنفس میکروبی (MRR)، ضریب متابولیک (qCO_2)، زمان بازگشت زیست‌توده میکروبی (MTT) و فسفر فراهم (P).

Table 2. ANOVA results (mean square values) for the main effects of urea, *Streptomyces*, wheat straw; and their interactions with time (T) for microbial biomass C (MBC), microbial respiration rate (MRR), metabolic quotient (qCO_2), microbial biomass turnover time (MTT) and available phosphorus (P).

منبع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی df	کربن زیست‌توده میکروبی MBC	سرعت تنفس میکروبی MRR	ضریب متابولیک qCO_2	زمان بازگشت زیست‌توده میکروبی MTT	فسفر فراهم P_{ava}
اثرهای بین‌گروهی Between-Subjects Effects						
استرپتومایسس (S) *Streptomyces*	1	140538^{***}(1.00)	1523^{***}(0.99)	106^{***}(0.74)	2.49^{***}(0.75)	0.823^{***}(0.96)
کاه گندم (R) Wheat straw	1	29322^{***}(0.99)	352^{***}(0.98)	29.8^{**}(0.45)	0.68^{**}(0.45)	17.70^{***}(0.99)
اوره (U) Urea	1	6825^{***}(0.98)	69.4^{***}(0.90)	2.45^{ns}(0.06)	0.07^{ns}(0.07)	0.333^{***}(0.90)
S×R	1	2604^{***}(0.95)	102^{***}(0.93)	258^{***}(0.88)	5.1^{***}(0.86)	0.023^{*}(0.398)
S×U	1	342.3^{***}(0.70)	10.8^{***}(0.58)	39.4^{***}(0.52)	0.80^{***}(0.49)	0.117^{***}(0.77)
R×U	1	36.12^{ns}(0.20)	0.050^{ns}(0.01)	0.04^{ns}(0.01)	0.002^{ns}(0.01)	0.050^{***}(0.58)
S×R×U	1	48.35^{*}(0.25)	3.873^{*}(0.33)	28.5^{**}(0.44)	0.53^{**}(0.39)	0.211^{***}(0.86)
خطا Error	16	8.958	0.485	2.271	0.052	0.02
C.V. (%)		0.87	2.25	1.63	1.62	0.88
اثرهای درون‌گروهی Within-Subjects Effects						
زمان (T) Time	2	543633^{***}(1.00)	2805^{***}(0.99)	970^{***}(0.98)	20.7^{***}(0.98)	6.00^{***}(1.00)
T×S	2	8959^{***}(0.99)	80.88^{***}(0.97)	286^{***}(0.94)	6.95^{***}(0.94)	0.02^{***}(0.43)
T×R	2	600.7^{***}(0.83)	8.832^{***}(0.80)	49.6^{***}(0.73)	1.00^{***}(0.70)	0.52^{***}(0.96)
T×U	2	324.1^{***}(0.72)	1.81^{***}(0.45)	16.4^{***}(0.47)	0.34^{***}(0.44)	0.04^{***}(0.63)
T×S×R	2	213.2^{***}(0.63)	1.08^{**}(0.33)	30.6^{***}(0.62)	0.83^{***}(0.66)	0.013^{**}(0.36)
T×S×U	2	16.068^{ns}(0.11)	1.21^{***}(0.35)	28.8^{***}(0.61)	0.72^{***}(0.62)	0.16^{***}(0.87)
T×R×U	2	46.12^{**}(0.27)	1.91^{***}(0.46)	8.70^{**}(0.32)	$0..20^{**}$(0.31)	0.02^{***}(0.43)
T×S×F×R	2	291.4^{***}(0.70)	0.154^{ns}(0.06)	10.8^{***}(0.37)	0.25^{***}(0.36)	0.07^{***}(0.76)
خطا Error	32	7.704	0.138	1.157	0.027	0.01
C.V. (%)		0.81	1.20	1.17	1.17	0.63

^{ns}، *، **، *** به ترتیب به مفهوم غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۵، ۱، ۰/۱ درصد می‌باشد. (C.V.) ضریب تغییرات. برای تعیین اندازه اثر از Eta^2p (اعداد داخل پرانتز) استفاده شد. ۰/۲ یک اثر کوچک، ۰/۵ یک اثر متوسط و ≥۰/۸ اثر بزرگ است

^{ns}, *, **, *** Denote non-signification and significant at 5, 1, 0.1% respectively. C. V. coefficient of variation. Eta^2p (Numbers in bracket) were used to determine the effect size. 0.2 is a small effect, 0.5 is a moderate effect and ≥ 0.8 is a large effect



شکل ۱- اثر اوره، *استرپتومایسس* و کاه گندم بر مقدار فسفر فراهم در خاک (n=3). (S0) بدون *استرپتومایسس*، (S1) با ۵ درصد *استرپتومایسس*، بدون اوره (N0)، با اوره (N1) و (R0) بدون کاه گندم و (R1) با ۱ درصد (وزنی/وزنی) کاه گندم. خطای معیار به‌صورت خطوط عمودی نشان داده شده است. میانگین‌ها دارای حروف کوچک مشابه در یک دوره فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بین تیمارها بر اساس آزمون LSD در همان دوره هستند. میانگین‌ها دارای حروف بزرگ مشابه، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بین زمان‌های مختلف (۳۰، ۶۰ و ۹۰) بر اساس آزمون LSD هستند.

Figure 1. The effect of urea, *Streptomyces* and wheat straw on available soil phosphorus content (n=3). S0 without *Streptomyces* S1 with *Streptomyces* (5%); N0 without and N1 with urea and R0 without and R1 with wheat straw (1%, w/w). The vertical lines shown as standard error. Within each column the means sharing similar lowercase letters do not have significant differences among treatments at 5% level according to the LSD test. Within the means sharing similar uppercase letters do not have significant differences at 5% level between different sampling times (30, 60 and 90) at 5% level according to the LSD test.

کربن زیست‌توده میکروبی: در این آزمایش اثر اصلی *استرپتومایسس*، اوره و کاه گندم و برهم‌کنش دو جانبه *استرپتومایسس* × اوره و *استرپتومایسس* × کاه گندم در سطح P<۰/۰۰۱ و برهم‌کنش سه جانبه *استرپتومایسس*، اوره و کاه گندم در سطح P<۰/۰۵ معنی‌دار گشت اما برهم‌کنش دو جانبه کاه گندم × اوره غیر معنی‌دار (P>۰/۰۵) بود (جدول ۲).

در خاک بدون *استرپتومایسس* تیمار نشده با اوره، کاه گندم طی سه ماه انکوباسیون باعث افزایش ۹، ۱٤ و ۸ درصدی کربن زیست‌توده میکروبی نسبت به خاک شاهد (خاک تیمار نشده R0S0N0) به ترتیب در ماه‌های اول، دوم و سوم گردید (جدول ۳). در خاک تیمار شده با *استرپتومایسس* بدون اوره، کربن زیست‌توده میکروبی با افزودن کاه گندم به خاک به‌ترتیب در ماه‌های اول، دوم و سوم ۹، ۲۳ و ۲۱ درصد در مقایسه با خاک شاهد (با *استرپتومایسس*، بدون اوره و کاه گندم) افزایش یافت (جدول ۳). مقدار کربن زیست‌توده میکروبی ارتباط خوبی با مقدار کربن آلی و عناصر غذایی خاک دارد و اثر قابل‌توجهی بر آزادسازی عناصر غذایی و دینامیک کربن آلی خاک می‌گذارد و هم‌چنین شاخصی حساس به عوامل محیطی مانند رطوبت، دما و عملیات مدیریتی مانند افزودن مانده‌های گیاهی به خاک است (۱۷). لو و همکاران (۲۰۱۱) بیان کردند که حفظ مانده گیاهی از راه افزایش مقدار کربن آلی و نیتروژن، افزایش رطوبت و تخلخل و کاهش دمای خاک موجب افزایش معنی‌دار کربن زیست‌توده میکروبی نسبت به تیمار بدون مانده گیاهی شد (۲۸).

در خاک بدون *استرپتومایسس* و تیمار شده با اوره، کاه گندم در سه ماه انکوباسیون به ترتیب افزایش ۹، ۱۷ و ٤ درصدی کربن زیست‌توده میکروبی خاک را نسبت به خاک شاهد (خاک تیمار شده با اوره، بدون کاه گندم و *استرپتومایسس*) به همراه داشت (جدول ۳). هم‌چنین افزودن کاه گندم در خاک تیمار شده با *استرپتومایسس* و اوره، به ترتیب افزایش ۱۰، ۱۳ و ٤ درصدی کربن زیست‌توده میکروبی را در سه ماه انکوباسیون نسبت به تیمار شاهد (خاک تیمار شده با *استرپتومایسس* و اوره بدون کاه گندم) به همراه داشت (جدول ۳). بیش‌ترین مقدار کربن زیست‌توده میکروبی مربوط به خاک تیمار شده با کاه گندم، اوره و *استرپتومایسس* (کاه غنی‌شده) و کم‌ترین مقدار مربوط به خاک شاهد (R0S0N0) بود. در این پژوهش کاه گندم در خاک باعث بهبود و افزایش زیست‌توده میکروبی گردیده است که با نتایج پژوهش‌های پیشین سازگار است (۱٤، ۲۵، ۲۷ و ٤۳). به طور کلی، میزان کربن زیست‌توده میکروبی در همه تیمارها طی زمان کاهش معنی‌دار (۷–٤۸ درصد) نشان داد (جدول ۳). این کاهش در ماه دوم محسوس‌تر (در خاک بدون اوره، *استرپتومایسس* و کاه گندم ۳٤ درصد و در خاک تیمار شده با اوره، *استرپتومایسس* و کاه گندم ٤۸ درصد) بود. هم‌چنین در سه ماه انکوباسیون مقدار کربن زیست‌توده میکروبی همان‌طور که انتظار می‌رفت در خاک تیمار شده با *استرپتومایسس* بیش‌تر از خاک تیمار شده با اوره بود زیرا *استرپتومایسس*، خود دارای زیست‌توده می‌باشد و افزودن آن به خاک زیاد شدن مقدار کربن زیست‌توده میکروبی را به همراه دارد. هم‌چنین زیاد بودن مقدار کربن زیست‌توده میکروبی در مراحل ابتدایی انکوباسیون به‌خصوص در خاک تیمار شده با اوره، *استرپتومایسس* و کاه گندم به دلیل زیاد بودن بخش آسان تجزیه‌شونده کاه و در نهایت افزایش جمعیت فرصت‌طلب‌ها (معمولاً قارچ‌ها) در خاک می‌باشد. پس از گذشت زمان بخش آسان تجزیه‌شونده کاه تمام شده و ترکیب‌های سخت باقی می‌مانند بنابراین جمعیت فرصت‌طلب‌ها کم شده و جمعیت *استرپتومایسس* که حرفه‌ای در تجزیه ترکیب‌های سخت می‌باشد خود را نشان می‌دهد. پژوهش‌گران افزایش جمعیت میکروبی در کمپوست

غنی شده با تیمارهای باکتریایی را گزارش نموده‌اند (۷ و ۲۱). این نتایج نشان می‌دهد در حضور کاه غنی‌شده (با *استرپتومایسس* و اوره) مقدار کربن زیست‌توده میکروبی افزایش یافته است. غنی‌سازی به معنی افزایش غلظت عناصر غذایی می‌باشد که طبق این پژوهش کاه غنی‌شده افزایش بیش‌تر فسفر فراهم خاک را به همراه داشته است. بنابراین افزایش غلظت عناصر غذایی و هم‌چنین بستر مناسب برای رشد ریزجانداران از راه افزودن کاه غنی شده سبب افزایش فعالیت و زیست‌توده میکروبی می‌شود. افزودن مواد آلی به خاک یکی از عوامل مهم در افزایش فعالیت و کربن زیست‌توده میکروبی خاک است (۳۳، ۴۵ و ۴۸). یودوکیموف و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی تأثیر افزودن مقادیر مختلف کود نیتروژن بر کربن زیست‌توده میکروبی دیدند که این کود در شرایط محدودیت عناصر غذایی اثر محرک بر رشد میکروبی داشته و در مقادیر زیاد به تنش اسمزی و مرگ سلولی ریزجانداران حساس منجر می‌شود (۵۲).

جدول ۳- اثر اوره، *استرپتومایسس* و کاه گندم بر میزان کربن زیست‌توده خاک (MBC)، سرعت تنفس میکروبی (MRR)، ضریب متابولیک (qCO_2) و زمان بازگشت زیست‌توده میکروبی (MTT). اعداد میانگین (n=3) به همراه خطای معیار (SE) می‌باشند.

Table 3. The effect of urea, *Streptomyces* and wheat straw on soil microbial biomass carbon (MBC) content, microbial respiration rate (MRR), metabolic quotient (qCO_2) and microbial biomass turnover time (MTT). Values are mean (n=3) with standard error (SE).

کاه گندم Wheat straw	سطح اوره Urea level (g/100g straw)	*استرپتومایسس* *Streptomyces* (5%)	زمان نمونه‌برداری (روز) Sampling time (day) 30	60	90	زمان نمونه‌برداری (روز) Sampling time (day) 30	60	90
			کربن زیست توده میکروبی MBC (mg kg^{-1})			سرعت تنفس میکروبی MRR (mg $C\text{-}CO_2$ kg^{-1} day^{-1})		
بدون کاه گندم Without wheat straw	0	0	416±0.6^{Ah}	216±0.5^{Bh}	199±0.6^{Ch}	34±0.3^{Ah}	21±0.1^{Bg}	19±0.1^{Cg}
		5	512±1.3^{Ad}	303±0.6^{Bd}	227±0.6^{Cd}	45±0.5^{Ad}	25±0.1^{Bd}	22±0.1^{Cd}
	1.6	0	435±0.6^{Ag}	230±0.3^{Bg}	210±0.3^{Cg}	35±0.3^{Ag}	21±0.1^{Bg}	20±0.1^{Cf}
		5	540±0.5^{Ac}	341±0.5^{Bc}	241±0.3^{Cc}	47±0.3^{Ac}	29±0.1^{Bc}	25±0.3^{Cc}
با کاه گندم With wheat straw	0	0	455±0.8^{Af}	246±0.9^{Bf}	215±0.3^{Cf}	37±0.1^{Af}	22±0.1^{Bf}	20±0.1^{Cf}
		5	560±1.3^{Ab}	374±0.9^{Bb}	274±0.3^{Cb}	52±0.1^{Ab}	33±0.2^{Bb}	28±0.3^{Cb}
	1.6	0	473±1.2^{Ae}	270±0.8^{Be}	219±0.1^{Ce}	40±0.5^{Ae}	23±0.2^{Be}	21±0.2^{Ce}
		5	594±0.5^{Aa}	386±0.5^{Ba}	290±0.6^{Ca}	55±0.3^{Aa}	35±0.3^{Ba}	30±0.3^{Ca}
			ضریب متابولیک qCO_2 (µg CO_2-C mg^{-1} MBC day^{-1})			زمان بازگشت زیست‌توده میکروبی MTT (day)		
بدون کاه گندم Without wheat straw	0	0	82.3±0.7^{Ce}	99.2±0.2^{Aa}	97.1±0.2^{Bd}	15.0±0.1^{Ac}	12.4±0.1^{Ch}	12.6±0.1^{Be}
		5	87.2±0.8^{Bc}	83.8±0.1^{Cf}	95.3±0.2^{Af}	14.1±0.1^{Be}	14.7±0.1^{Aa}	12.9±0.1^{Cb}
	1.6	0	81.2±0.6^{Cf}	93.8±0.4^{Bb}	96.6±0.1^{Ae}	15.2±0.1^{Aa}	13.1±0.1^{Bg}	12.7±0.1^{Cc}
		5	87.9±0.5^{Bb}	85.8±0.1^{Ce}	102±0.9^{Ac}	14.0±0.1^{Bf}	14.4±0.1^{Ac}	12.1±0.1^{Cf}
با کاه گندم With wheat straw	0	0	81.7±0.1^{Cef}	91.0±0.9^{Bc}	94.8±0.1^{Af}	15.1±0.1^{Ab}	13.5±0.1^{Bf}	13.0±0.1^{Ca}
		5	93.2±0.3^{Ba}	87.8±0.2^{Cd}	104±1.2^{Aa}	13.2±0.1^{Bg}	14.0±0.1^{Ad}	11.8±0.1^{Ch}
	1.6	0	85.4±0.1^{Bd}	85.6±0.7^{Be}	96.8±1.1^{Ad}	14.5±0.2^{Ad}	14.4±0.1^{Bb}	12.7±0.1^{Cd}
		5	93.2±04^{Ba}	90.6±0.8^{Cc}	103±1.0^{Ab}	13.2±0.1^{Bg}	13.6±0.1^{Ae}	11.9±0.1^{Cg}

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف کوچک مشابه، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد بین تیمارها بر اساس آزمون LSD هستند

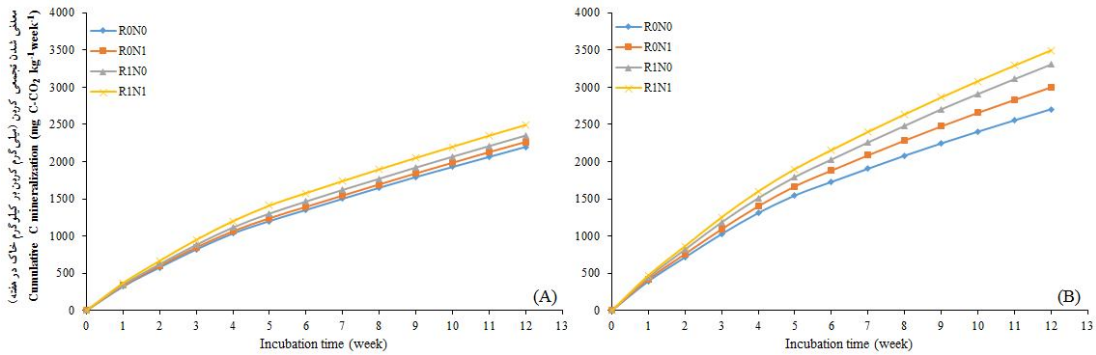
در هرردیف میانگین‌های دارای حروف بزرگ مشابه، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد بین زمان‌های مختلف بر اساس آزمون LSD هستند

Within each column the means sharing similar lowercase letters do not have significant differences among treatments at 5% level according to the LSD test

Within each row the means sharing similar uppercase letters do not have significant differences at 5% level between different sampling times at 5% level according to the LSD test

سرعت تنفس میکروبی: در این آزمایش اثر اصلی *استرپتومایسس*، اوره و کاه گندم و برهم‌کنش دوگانه *استرپتومایسس* × اوره و *استرپتومایسس* × کاه گندم بر سرعت تنفس میکروبی در سطح P<۰/۰۰۱ و برهم‌کنش سه‌گانه *استرپتومایسس*، اوره و کاه گندم در سطح P<۰/۰۵ معنی‌دار شد اما اثر دوگانه کاه گندم × اوره بر سرعت تنفس میکروبی معنی‌دار (P>۰/۰۵) نبود (جدول ۲).

در خاک تیمار نشده با اوره و *استرپتومایسس*، کاه گندم در سه ماه انکوباسیون افزایش ۹، ۵ و ۵ درصدی تنفس میکروبی نسبت به خاک شاهد (تیمار نشده با اوره، *استرپتومایسس* و کاه گندم) به ترتیب در ماه‌های اول، دوم و سوم به همراه داشت (جدول ۳). در خاک با *استرپتومایسس* و تیمار نشده با اوره، تنفس میکروبی با افزودن کاه گندم در خاک به ترتیب در ماه‌های اول، دوم و سوم ۱۶، ۳۲ و ۲۷ درصد در مقایسه با خاک شاهد (با *استرپتومایسس* تیمار نشده با اوره و کاه گندم) افزایش یافت (جدول ۳).



شکل ۲- روند معدنی شدن کربن در سطوح مختلف اوره (N) و کاه گندم (R) در خاک بدون *استرپتومایسس* (A) و تیمار شده با *استرپتومایسس* (B) (n=3). اوره (N0) ۰ و (N1) ۱/۶ گرم بر ۱۰۰ گرم کاه گندم، مانده گیاهی (R0) ۰ و (R1) ۱ درصد کاه گندم.

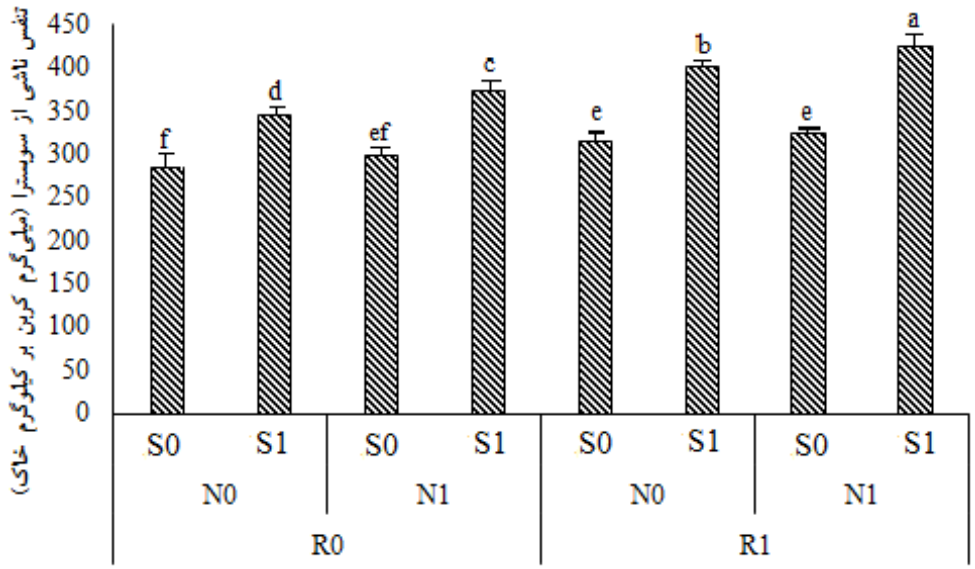
Figure 2. The patterns of cumulative carbon (R1) mineralization at different levels of urea (N) and wheat straw (R) in soils untreated (A) and treated (B) with *Streptomyces* (n=3). N0 untreated and N1 treated with urea (1.6 g/100g wheat straw); R0 untreated and R1 treated with wheat straw (1%).

در خاک بدون *استرپتومایسس* و تیمار شده با اوره، کاه گندم در سه ماه انکوباسیون به ترتیب افزایش ۱۴، ۹ و ۱۵ درصدی تنفس میکروبی خاک را نسبت به تیمار شاهد (بدون *استرپتومایسس* و کاه گندم تیمار شده با اوره) به همراه داشت (جدول ۳). هم‌چنین افزودن کاه گندم در خاک تیمار شده با *استرپتومایسس* و اوره، به ترتیب افزایش ۱۷، ۲۱ و ۲۰ درصدی تنفس میکروبی را در سه ماه انکوباسیون نسبت به تیمار شاهد (تیمار شده با *استرپتومایسس* و اوره بدون کاه گندم) به همراه داشت (جدول ۳).

حیدری و همکاران (۲۰۱۳) نیز در این راستا یافته‌های مشابهی را بدست آوردند (۱۷). آن‌ها گزارش کردند که افزودن مانده گیاهی به خاک تنفس میکروبی خاک را نسبت به تیمار شاهد افزایش می‌دهد (۱۷). همان‌طور که دیده می‌شود تیمارهای کاه گندم به همراه کود اوره بیش‌ترین مقدار تنفس میکروبی را داشتند چرا که افزودن کاه گندم به خاک از راه افزایش ماده آلی و بیش‌تر شدن تعداد ریزجانداران خاک (۱۷) و هم‌چنین افزودن اوره از راه پایین آوردن نسبت کربن به نیتروژن و فراهم کردن نیتروژن برای

ریزجانداران خاک سبب افزایش فعالیت تنفسی آن‌ها می‌شود (شکل ۲). تنفس میکروبی در خاک‌های تیمار شده با کاه گندم همواره بیش‌تر از خاک بدون آن بود و دلیل آن می‌تواند فراهمی ترکیب‌های آسان تجزیه‌شونده در مانده‌های گیاه گندم باشد. احتمالاً این مانده گیاهی به دلیل دارا بودن کربن آلی قابل جذب فراوان و عناصر غذایی بالا فعالیت میکروبی را تحریک و موجب تولید بیش‌تر دی‌اکسید کربن شده‌اند. نتایج رئیسی و صادقی (۲۰۱۹) نشان داد که خاک‌های تیمار شده با مانده‌های گیاهی یونجه دارای میزان معدنی شدن تجمعی کربن بالاتری نسبت به خاک تیمار نشده بوده است (۳۸). در این پژوهش روند معدنی شدن کربن (شکل ۲) و سرعت تنفس میکروبی (جدول ۳) طی زمان کاهش یافت که این می‌تواند مربوط به محدودیت مقدار کربن در خاک باشد. در این آزمایش مقدار تنفس میکروبی با افزودن هم‌زمان *استرپتومایسس*، کاه گندم و اوره به خاک بیش‌ترین بود و تأثیر مایه‌زنی *استرپتومایسس* به تنهایی بیش‌تر از اوره و کاه گندم به تنهایی بود.

تنفس ناشی از سوبسترا (SIR): تنفس ناشی از سوبسترا، تنفس ریزجانداران تجزیه‌کننده سوبسترای اضافه شده (مانند گلوکز) بوده و برای شناسایی بخش فعال و به طور بالقوه فعال زیست‌توده میکروبی به کار می‌رود (٦). اثر اصلی *استرپتومایسس*، اوره و ماده آلی و برهم‌کنش دوگانه *استرپتومایسس* × اوره، *استرپتومایسس* × ماده آلی و اوره × ماده آلی و هم‌چنین برهم‌کنش سه‌گانه *استرپتومایسس* × اوره × ماده آلی بر تنفس ناشی از سوبسترا (SIR) معنی‌دار (P<۰/۰۰۱) بود (نتایج گزارش نشده‌اند).



شکل ۳- اثر اوره، *استرپتومایسس* و کاه گندم بر تنفس ناشی از سوبسترا (n=3). (S0) بدون *استرپتومایسس*، (S1) با ۵ درصد *استرپتومایسس*، بدون اوره (N0)، با اوره (N1) و (R0) بدون مانده گیاهی و (R1) با ۱ درصد (وزنی/وزنی) کاه گندم. حروف مشابه، بدون اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بین تیمارها بر اساس آزمون LSD هستند.

Figure 3. The effect of urea *Streptomyces* and wheat straw on substrate-induced respiration (SIR). S0 without *Streptomyces* and S1 with *Streptomyces* (5%); N0 without urea and N1 with urea and R0 without and R1 with wheat straw (1%, w/w). Similar letters do not have significant differences among treatments at 5% level according to the LSD test. The vertical lines shown as standard error.

در خاک بدون *استرپتومایسس* و تیمار نشده با اوره، کاه گندم منجر به افزایش ۱۱ درصدی SIR نسبت به خاک شاهد (تیمار نشده با *استرپتومایسس*، اوره و کاه گندم) شد (شکل ۳). در خاک با *استرپتومایسس* و تیمار نشده با اوره، SIR با افزودن کاه گندم در خاک ۱٦ درصد در مقایسه با خاک شاهد (با *استرپتومایسس* تیمار نشده با اوره و کاه گندم) افزایش یافت (شکل ۳). در خاک بدون *استرپتومایسس* و تیمار شده با اوره کاه گندم افزایش ٦ درصدی SIR را نسبت به خاک شاهد (بدون *استرپتومایسس* و کاه گندم تیمار شده با اوره) به همراه داشت (شکل ۳). کاه گندم در خاک مایه‌زنی شده با *استرپتومایسس* و تیمار شده با اوره باعث افزایش ۱٦ درصدی SIR نسبت به خاک شاهد (خاک با اوره و *استرپتومایسس* بدون کاه گندم) شد (شکل ۳). همان‌طور که پیش‌بینی می‌شد افزودن باکتری *استرپتومایسس* به خاک افزایش تنفس ناشی از سوبسترا را به همراه داشت و تأثیر افزودن *استرپتومایسس* به خاک بیش‌تر از کاه گندم و کود اوره بود (شکل ۳). در این پژوهش بیش‌ترین مقدار SIR مربوط کاه غنی شده با *استرپتومایسس* و کود اوره بود که احتمالاً به دلیل فراهمی مواد غذایی و بستر، رشد و تکثیر ریزجانداران خاک را افزایش داده است.

ضریب متابولیک (qCO_2): اثر اصلی *استرپتومایسس*، برهم‌کنش دوجانبه *استرپتومایسس* × اوره و *استرپتومایسس* × کاه گندم در سطح P<۰/۰۰۱ و اثر اصلی کاه گندم و برهم‌کنش سه جانبه *استرپتومایسس* × اوره × کاه گندم در سطح P<۰/۰۱ بر qCO_2 معنی‌دار است (جدول ۲). اما اثر اصلی اوره و برهم‌کنش دو جانبه اوره × کاه گندم بر qCO_2 معنی‌دار نبود (P>۰/۰۵، جدول ۲).

در این آزمایش مقدار qCO_2 در بیش‌تر تیمارها طی زمان افزایش معنی‌دار داشت (جدول ۳). این افزایش در خاک‌های با کاه گندم بیش‌تر از خاک‌های تیمار نشده با آن بود (جدول ۳). در خاک تیمار نشده با اوره و *استرپتومایسس*، کاه گندم به ترتیب در ماه‌های اول، دوم و سوم انکوباسیون باعث کاهش ۱، ۸ و ۲ درصدی qCO_2 نسبت به تیمار شاهد (تیمار نشده با اوره، *استرپتومایسس* و کاه گندم) شد (جدول ۳). در خاک تیمار شده با *استرپتومایسس* بدون اوره، افزودن کاه گندم در سه ماه انکوباسیون به ترتیب افزایش ٦، ۵ و ۹ درصدی qCO_2 را نسبت به خاک شاهد (تیمار شده با *استرپتومایسس* بدون اوره و کاه گندم) به همراه داشت (جدول ۳).

در خاک‌های بدون *استرپتومایسس* و تیمار شده با اوره و کاه گندم افزایش ۵، ۹ و ۱ درصدی qCO_2 را به ترتیب در ماه‌های اول، دوم و سوم انکوباسیون نسبت به تیمار شاهد (بدون *استرپتومایسس* و کاه گندم تیمار شده با اوره) به همراه داشت (جدول ۳). هم‌چنین در خاک با *استرپتومایسس* و تیمار شده با اوره، کاه گندم به ترتیب افزایش ٦، ٦ و ۱ درصدی qCO_2 را نسبت به خاک شاهد (با *استرپتومایسس* و اوره بدون کاه گندم) در سه ماه انکوباسیون به همراه داشت (جدول ۳). نتایج نشان داد برهم‌کنش *استرپتومایسس* و اوره در خاک تیمار شده با کاه گندم در ماه اول اثر کاهنده و طی ماه‌های دوم و سوم اثر افزاینده بر qCO_2 داشت (جدول ۳). از این شاخص میکروبی برای پی بردن به بروز تنش‌های محیطی (٤۷)، کیفیت سوبسترا (۲۷)، راندمان مصرف کربن (۳۲) و ترکیب جامعه میکروبی (۳) خاک استفاده می‌شود. تفاوت مقادیر qCO_2 در خاک‌ها را می‌توان ناشی از مصرف سوبستراهای مختلف به‌وسیله ریزجانداران خاک دانست که این مسأله باعث تغییرات متفاوتی در کربن زیست‌توده میکروبی و در

نهایت اثرات متفاوت بر qCO_2 می‌شود (۱۶). موسکاتلی و همکاران (۲۰۰۷) گزارش نمودند ضریب متابولیک خاک کارایی میکروب‌ها در استفاده از کربن و انرژی و درجه محدودیت بستره (سوبسترا) برای فعالیت ریزجانداران خاک را نشان می‌دهد (۳۲). آن‌ها هم‌چنین بیان نمودند بالا بودن این ضریب در خاک می‌تواند بیانگر این مطلب باشد که کربن خاک بیشتر صرف تولید انرژی شده است، درحالی‌که پایین بودن این ضریب نشان می‌دهد که کربن خاک بیش‌تر صرف رشد میکروبی می‌گردد (۳۲).

خاک‌های تحت تنش، ضریب متابولیک بیش‌تری نسبت به خاک‌های بدون تنش نشان می‌دهند هر چند افزایش این نسبت ممکن است به دلیل افزایش فعالیت میکروبی باشد (۱۲). به طور کلی هر تغییری که در ضریب سوخت و سازی ایجاد می‌شود، ممکن است ناشی از تغییر در سوبستراهای مورد استفاده یک جامعه میکروبی بدون آشفتگی، تغییر در ترکیب جوامع میکروبی، یا تغییر در وضعیت فیزیولوژیکی جامعه باشد. براین اساس برخی پژوهش‌گران بیان داشتند که خاک‌های تحت آشفتگی نسبت به سایر خاک‌ها مقادیر qCO_2 بزرگ‌تری نشان می‌دهد (۱۱). تحت شرایط تنش این ضریب افزایش می‌یابد، زیرا ریزجانداران خاک برای حفظ زیست‌توده خود به صرف انرژی بیش‌تری نیازمند هستند (۳).

زمان بازگشت زیست‌توده میکروبی (MTT): اثر اصلی *استرپتومایسس*، برهم‌کنش دوگانه *استرپتومایسس* × اوره و *استرپتومایسس* × کاه گندم در سطح $P<0/001$ و اثر اصلی کاه گندم و برهم‌کنش سه گانه *استرپتومایسس* × اوره × کاه گندم در سطح $P<0/01$ بر MTT معنی‌دار است (جدول ۲). در حالی‌که اثر اصلی اوره و برهم‌کنش دو گانه اوره × کاه گندم بر MTT معنی‌دار نبود ($P>0/05$، جدول ۲).

کاهش زمان بازگشت میکروبی به معنای افزایش مرگ و میر ریزجانداران و یا کاهش زمان تکثیر آن‌هاست (٤ و ٥). در خاک بدون *استرپتومایسس* و تیمار نشده با اوره، کاه گندم در سه ماه انکوباسیون باعث افزایش ۱، ۹ و ۳ درصدی MTT نسبت به خاک شاهد (بدون *استرپتومایسس*، اوره و کاه گندم) به ترتیب طی ماه‌های اول، دوم و سوم شد (جدول ۳). در خاک با *استرپتومایسس* تیمار نشده با اوره، کاه گندم MTT را به ترتیب ٦، ٥ و ٨ درصد در ماه‌های اول، دوم و سوم آزمایش نسبت به خاک شاهد (با *استرپتومایسس* تیمار نشده با اوره و کاه گندم) کاهش داد (جدول ۳). در خاک بدون *استرپتومایسس* و تیمار شده با اوره، کاه گندم در ماه اول انکوباسیون کاهش ۵ درصدی، در ماه دوم افزایش ۱۰ درصدی MTT خاک را به همراه داشت و در ماه سوم بدون تغییر نسبت به خاک شاهد (بدون *استرپتومایسس* و کاه گندم تیمار شده با اوره) ماند (جدول ۳). هم‌چنین کاه گندم، در خاک تیمار شده با *استرپتومایسس* و اوره باعث کاهش (به ترتیب ۲، ٦ و ٦ درصدی) MTT خاک نسبت به خاک شاهد (با *استرپتومایسس* و اوره بدون کاه گندم) شد (جدول ۳). طبق نتایج به‌دست آمده اثر کاه گندم بر زمان بازگشت زیست‌توده میکروبی متفاوت بود و در بیش‌تر تیمارها کاهش MTT را به همراه داشت. دلیل تغییرات MTT در ماه‌های مختلف در خاک تغییرات متفاوت تنفس و MBC در این تیمارها می‌باشد. بنابراین ماده آلی تأثیر متفاوت و معنی‌داری بر MTT خاک داشت. به‌عبارت دیگر با کوتاه‌تر شدن زمان بازگشت زیست‌توده میکروبی سرعت مرگ و میر و تولید مثل سلول‌های میکروبی افزایش می‌یابد.

نتیجه‌گیری

مدیریت مانده گیاهی گندم موجب تغییر معنی‌داری بر فسفر فراهم و ویژگی‌های زیستی مورد بررسی در خاک شد. به طور کلی افزودن کاه گندم به خاک موجب افزایش معنی‌دار مقدار فسفر فراهم، تنفس میکروبی و کربن زیست‌توده میکروبی خاک شده و اثرات متفاوتی بسته به شرایط و زمان انکوباسیون بر ضریب متابولیک و زمان بازگشت زیست‌توده میکروبی در خاک داشت. افزایش‌های مشاهده شده به دلیل فقیر بودن خاک از ماده آلی (کم‌تر از یک درصد) باشد. در ارتباط با وضعیت تنفس و کربن زیست توده میکروبی و هم‌چنین مقدار فسفر فراهم خاک به نظر می‌رسد مؤثرترین روش ابتدا تیمار کاه گندم به همراه کود شیمیایی اوره و افزودن *استرپتومایسس* در خاک (تیمار R1S1N1) و سپس تیمار کاه گندم به همراه *استرپتومایسس* (R1S1) باشد و تأثیر کود اوره در افزایش فعالیت میکروبی در مقایسه با کاه گندم کم‌تر بود. بنابراین بر اساس یافته‌های این پژوهش با توجه به کم بودن نسبت C/N، استفاده از مانده گیاهی به همراه کودهای شیمیایی به ویژه نیتروژن به عنوان مکمل ضروری به نظر می‌رسد و احتمالاً در کاربردهای مزرعه‌ای روش‌های مدیریتی شامل تیمار مانده گیاهی به همراه *استرپتومایسس* و اوره روشی مناسب‌تر باشد. هم‌چنین توصیه می‌شود روش‌های مدیریتی مورد بررسی بر عملکرد گیاه و سایر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک در بازه‌های طولانی‌مدت مورد ارزیابی قرار گیرد.

سپاسگزاری

این پژوهش مستخرج از طرح شماره ۹۷۰۱٤٦۱۹ صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور می‌باشد. بدین وسیله از حمایت مالی صندوق تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

1. Agegnehu, G., Nelson, P.N., and Bird, M.I. 2016. The effects of biochar, compost and their mixture and nitrogen fertilizer on yield and nitrogen use efficiency of barley grown on a Nitisol in the highlands of Ethiopia. Science of the Total Environment. 5: 869-879.
2. Alef, K., and Nannipieri, P. 1995. Enzyme activities. P 311-373. In: K. Alef, and P. Nannipieri (eds.) Methods in Soil Microbiology and Biochemistry. Academic Press, New York.
3. Anderson, J.P.E. 1982. Soil respiration. P 831-871. In: R.H. Miller, and D.R. Keeney (eds.) Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. The American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
4. Anderson, T.H. 2003. Microbial eco-physiological indicators to asses soil quality. Agriculture, Ecosystems and Environment. 98: 285-293.
5. Anderson, T.H., and Domsch, K.H. 2010. Soil microbial biomass: the eco-physiological approach. Soil Biology and Biochemistry. 42: 2039-2043.
6. Bailey, V.L., Peacock, A.D., Smith, J.L., and Bolton, Jr.H. 2002. Relationships between soil microbial biomass determined by chloroform fumigation-extraction, substrate-induced respiration and phospholipid fatty acid analysis. Soil Biology and Biochemistry. 34: 1385-1389.
7. Busato, J.G., Lima, L.S., Aguiar, N.O., Canellas, L.P., and Olivares, F.L. 2012. Changes in labile phosphorus forms during maturation of vermicompost enriched with phosphorus-solubilizing and diazotrophic bacteria. Bioresource Technology. 110: 390-395.
8. Carter, M.R., and Gregorich, E.G. 2007. Soil sampling and methods of analysis. Boca Raton, FL, CRC press, 198p.

9.Cheng, W. 2009. Rhizosphere priming effect: its functional relationships with microbial turnover, evaporation and C-N budgets. Soil Biology and Biochemistry. 41: 1795-1801.
10.Choudhury, M.A., and Khanif, Y.M. 2011. Effects of nitrogen, copper and magnesium fertilization on nutrition of some macro and micro nutrients of rice crop. Bangladesh Research Publications Journal. 5: 201-206.
11.Corstanje, R., Reddy, K., Prenger, J., Newman, S., and Ogram, A. 2007. Soil microbial eco-physiological response to nutrient enrichment in a sub-tropical wetland. Ecological Indicators. 7: 277-289.
12.Fernandes, S.A.P., Bettiol, W., and Cerri, C.C. 2005. Effect of sewage sludge on microbial biomass, basal respiration, metabolic quotient and soil enzymatic activity. Applied Soil Ecology. 30: 65-77.
13.Fernandez, I., Cabaneiro, A., and Carballas, T. 1997. Organic matter changes immediately after a wildfire in an Atlantic forest soil and comparison with laboratory soil heating. Soil Biology and Biochemistry. 29: 1-11.
14.Giri, B., Huong-Giang, P., Kumari, R., Prasad, R., and Varma, A. 2005. Soil biology 3. P 19-55. In: F. Buscot, and A. Varma (eds.) Microorganisms in Soil: Roles in Genesis and Functions. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg, Germany.
15.Haghighat Khah, N., Hojjati, S., Landi, A., and Moetamedi, H. 2015. Effect of burning sugarcane and corn plants on different forms of carbon in some soils of Khuzestan province. Water and Soil Science. 25: 129-142. (In Persian)
16.Hattori, H. 1992. Influence of heavy metals on soil microbial activities. Soil Science and Plant Nutrition. 38: 93-100.
17.Heidari, F., Rasulzadeh, A., SepasKhah, A., Asghari, A., and Ghavidel, A. 2013. The effect of management of plant remains on the physical and biological characteristics of soil and yield of corn fodder and barley. Water and Soil. 17: 65. 233-248.
18.Hoseini, M.S., Haghnia, Gh., Lakzian, A., and Emami, H. 2010. Consequences of different management of barley residue on carbon indices of microbial biomass, organic carbon and total nitrogen in soil. Agricultural Ecology. 3: 272-282.
19.Jones, M.S., Wright, S.A., Smith, O.M., Besser, T.E., and Headrick, D.H. 2019. Organic farms conserve dung beetles capable of disrupting fly vectors of foodborne pathogens. Biological Control. 137: 104020.
20.Juan, L., Bing-qing, Z., Xiu- ying, L., Rui-bo, J., Hwat Big, S. 2008. Effect of long- term combined application of organic and mineral fertilizers on microbial biomass, soil enzyme activities and soil fertility. Agricultural Sciences in China. 7: 336-343.
21.Kaushik, P., Yadav, Y., Dilbaghi, N., and Garg, V.K. 2008. Enrichment of vermicomposts prepared from cow dung spiked solid textile mill sludge using nitrogen fixing and phosphate solubilizing bacteria. Environmentalist. 28: 283-287.
22.Koocheki, A., Gholami, A., Mahdavi Damghani, A., and Tabrizi, L. 2005. *Organic field crop*. Ferdowsi University of Mashhad Publisher. 385p. (Translated in Persian)
23.Kumar, V., Behl, R.K., and Narula, N. 2001. Establishment of phosphate solubilizing strains of *Azotobacter chroococcum* in rhizosphere and their effect on wheat under greenhouse conditions, Microbiological Research. 156: 87-93.
24.Lee, J., Garland, G.M., and Viscarra Rossel, R.A. 2018. Continental soil drivers of ammonium and nitrate in Australia. Soil. 4: 3. 213-224.
25.Li, Z., Zhao, B., Olk, D.C., Jia, Z., Mao, J., Cai, Y., and Zhang, J. 2018. Contributions of residue-C and -N to plant growth and soil organic matter pools under planted and unplanted conditions. Soil Biology and Biochemistry. 120: 91-104.

26.Liang, Y., Si, J., Nikolic, M., Peng, Y., Chen, W., and Jiang, Y. 2005. Organic manure stimulates biological activity and barley growth in soil subject to secondary salinization. Soil Biology and Biochemistry. 37: 1185-1195.
27.Liu, M., Hu, F., Chen, X., Huang, Q., Jiao, J., Zhang, B., and Li, H. 2009. Organic amendments with reduced chemical fertilizer promote soil microbial development and nutrient availability in a subtropical paddy field: the influence of quantity, type and application time of organic amendments. Applied Soil Ecology. 42: 166-175.
28.Lou, Y., Liang, W., Xu, M., He, X., Wang, Y., and Zhao, K. 2011. Straw coverage alleviates seasonal variability of the topsoil microbial biomass and activity. Catena. 86: 117-120.
29.Maestrini, B., Herrmann, A.M., Nannipieri, P., Schmidt, M.W., and Abiven, S. 2014. Ryegrass-derived pyrogenic organic matter changes organic carbon and nitrogen mineralization in a temperate forest soil. Soil Biology and Biochemistry. 69: 291-301.
30.Marschner, P., Solaiman, Z.M., and Rengel, Z. 2005. Growth phosphorus uptake and rhizosphere microbial community composition of a phosphorus-efficient wheat cultivar in soils differing in pH. Journal of Plant Nutrition and Soil Science. 168: 343-351.
31.Mkhabela, M.S., and Warman, P.R. 2005. The influence of municipal solid waste compost on yield, soil phosphorus availability and uptake by two vegetable crops grown in a Pugwash sandy loam soil in Nova Scotia. Agriculture, Ecosystems and Environment. 106: 57-67.
32.Moscatelli, M., Tizio, A., Marinari, S., and Grego, S. 2007. Microbial indicators related to soil carbon in Mediterranean land use systems. Soil and Tillage Research. 97: 51-59.
33.Muhammad, S., Muller, T., and Joergensen, R. 2006. Decomposition of pea and maize straw in Pakistani soils along a gradient in salinity. Biology and Fertility of Soils. 43: 93-101.
34.Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S., and Dean, L.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. Circular, Washington, DC: US Department of Agriculture, Pp: 1-19.
35.Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D.R. 1982. Methods of Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy. In Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, 1159p.
36.Pandiaraj, S., Selvaraj, S., and Ramu, N. 2015. Effects of Crop residue management and nitrogen fertilizer on soil nitrogen and carbon content and productivity of wheat (*Triticum aestivum* L.) in Two Cropping Systems. Journal of Agricultural Science and Technology. 17: 249-260.
37.Raiesi, F. 2007. The conversion of overgrazed pastures to almond orchards and alfalfa cropping system may favor microbial indicators of soil quality in central Iran. Agriculture, Ecosystems and Environment. 121: 309-318.
38.Raiesi, F., and Sadeghi, E. 2019. Interactive effect of salinity and cadmium toxicity on soil microbial properties and enzyme activities. Ecotoxicology and Environmental Safety. 168: 221-229.
39.Roldan, A., Salinas-Garcia, J., Alguacil, M., and Caravaca, F. 2005. Changes in soil enzyme activity, fertility, aggregation and C sequestration mediated by conservation tillage practices and water regime in a maize field. Applied Soil Ecology. 30: 11-20.
40.Schaeffer, A., Amelung, W., and Hollert, H. 2016. The impact of chemical pollution on the resilience of soils under multiple stresses: a conceptual framework for future research. Science of the Total Environment. 568: 1076-1085.
41.Smith, O.M., Kennedy, C., Owen, J., and Nortfield, T. 2020. Highly diversified crop-livestock farming systems reshape wild bird communities. Ecological Applications. 30(2):e02031.

42. Soon, Y.K. 2015. Crop residue and fertilizer management effects on some biological and chemical properties of a Dark Grey Solod. Canadian Journal of Soil Science. 81: 707-713.
43. Suman, A., Lal, M., Singh, A., and Gaur, A. 2006. Microbial biomass turnover in Indian subtropical soils under different sugarcane intercropping systems. Agronomy Journal. 98: 698-704.
44. Tejada, M., Gonzalez, J.L., Garcia-Martinez, A.M., and Parrado, J. 2008. Effect of different green manures on soil biological properties and maize yield. Bioresource Technology. 99: 1758-1767.
45. Tiunov, A.V., and Scheu, S. 2004. Carbon availability controls the growth of detritivores (*Lumbricidae*) and their effect on nitrogen mineralization. Oecologia. 138: 83-90.
46. Tiwari, S., Singh, C., Boudh, S., Rai, P.K., Gupta, V.K., and Singh, J.S. 2019. Land use change: a key ecological disturbance declines soil microbial biomass in dry tropical uplands. Journal of Environmental Management. 242: 1-10.
47. Tripathi, S., Kumari, S., Chakraborty, A., Gupta, A., Chakrabarti, K., and Bandyapadhyay, B.K. 2006. Microbial biomass and its activities in salt-affected coastal soils. Biology and Fertility of Soils. 42: 273-277.
48. Turmel, M.S., Speratti, A., Baudron, F., Verhulst, N., and Govaerts, B. 2015. Crop residue management and soil health: A systems analysis. Agricultural Systems. 134: 6-16.
49. Vance, E., Brookes, P., and Jenkinson, D. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. Soil Biology and Biochemistry. 19: 703-707.
50. Wright, A.L., Hons, F.M., and Matocha, J.E. 2005. Tillage impacts on microbial biomass and soil carbon and nitrogen dynamics of corn and cotton rotations. Applied Soil Ecology. 29: 85-92.
51. Xia, L., Li, X., Ma, Q., Lam, S.K., Wolf, B., Kiese, R., Butterbach-Bahl, K., Chen, D., Li, Z., and Yan, X. 2020. Simultaneous quantification of N_2, NH_3 and N_2O emissions from a flooded paddy field under different N fertilization regimes. Global Change Biology. 26: 2292-2303.
52. Yevdokimov, I., Gattinger, A., Buegger, F., Munch, J.C., and Schloter, M. 2008. Changes in microbial community structure in soil as a result of different amounts of nitrogen fertilization. Biology and Fertility of Soils. 44: 1103-1106.
53. Zhou, J., Gu, B., Schlesinger, W.H., and Ju, X., 2016. Significant accumulation of nitrate in Chinese semi-humid croplands. Scientific Reports. 6: 25088.

J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 11(3), 2021
http://ejsms.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/ejsms.2021.18793.2008

(Full Length Research Paper)

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Effect of wheat residue enriched with *Streptomyces* and urea on available phosphorus and some soil microbial characteristics in laboratory conditions

E. Sadeghi[1], R. Ghorbani Nasrabadi[*2] and S.A.R. Movahedi Naeini[3]
[1]Ph.D. Student, Dept. of Soil Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources,
[2]Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources,
[3]Associate Prof., Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
Received: 02.09.2021; Accepted: 05.31.2021

Abstract

Background and Objectives: Soil as a living system is one of the factors affecting the balance of the ecosystem and many processes, especially on a small scale, take place in it. Soil microorganisms play an important role in maintaining soil quality through decomposition of organic material and nutrient cycling. The use of microorganisms in ecosystems whose biological community stability has been severely compromised due to high consumption of fertilizers, salinity and chemical toxins, is to improve the efficiency of nutrient consumption and biological control of pests and diseases. Soil organic matter increases soil microbial activity. On the other hand, enrichment of organic matter with microorganisms increases their nutrients release. To understand the vital role of soil microorganisms in the release and storage of energy and nutrients in the soil, in recent years, increased attentions has been paid to the estimation of microbial biomass in the soil. Therefore, the aim of this study was to investigate the effect of urea, *Streptomyces* inoculation and wheat straw on available phosphorus, microbial respiration, microbial biomass C, metabolic coefficient and microbial biomass turnover time.

Materials and Methods: This study was conducted under controlled laboratory conditions. A factorial experiment with two levels of urea (0 and 1.6 g/100g wheat straw), two levels of *Streptomyces* sp. (0 and 5%) and wheat straw treatments (0 and 1%, w/w) was conducted using a completely randomized design with three replications. Wheat straw was treated with the urea fertilizer and *Streptomyces* sp. inoculum firstly and the treated straw was then thoroughly mixed with the soil. The mixtures were incubated at 25±2 ° C for 90 days. Microbial biomass C and available phosphorus were measured monthly for three months and microbial respiration was measured weekly. To revive the microbial population, the containers were pre-incubated at room temperature for two weeks and soil moisture was adjusted to about 70% of the field capacity.

Results: *Streptomyces* inoculation, addition of wheat straw and urea increased available phosphorus concentration, respiration and soil microbial biomass C. In this experiment, the amount of respiration and microbial biomass C with the simultaneous addition of *Streptomyces*, wheat straw and urea to the soil was the highest and the effect of *Streptomyces* inoculation on wheat straw on the studied parameters was more than the two other factors. The lowest amount of microbial respiration, microbial biomass C and phosphorus was in control soil (without urea, *Streptomyces* and wheat straw). Addition of wheat straw to the soil increased microbial respiration and microbial biomass C by providing the required substrate. Also, the use of wheat straw and urea led to an increase in soil available phosphorus.

* Corresponding Author; Email: rgnasr@yahoo.com

Conclusion: The results of this study showed that in carbon-restricted soils, the use of plant residues enriched with *Streptomyces* and urea increased microbial respiration and microbial biomass carbon in the soil. Also, wheat plant residues addition to the soil increased the soil available phosphorus. Treatment of soil with *Streptomyces* also increased soil available phosphorus, which was more perceptible in the plant residues enriched with *Streptomyces*. The results show that the simultaneous application of plant residues, urea and *Streptomyces*, has increased soil microbial activity. Therefore, in carbon-restricted soils, increasing the level of organic matter and its enrichment can lead to increased microbial activity and biological potentials in the soil.

Keywords: Microbial biomass C, Microbial respiration, Plant residue, *Streptomyces*, Urea