ارزیابی برخی شاخص‌های کیفیت خاک در الگوهای کشت مخلوط لوبیا و بادرشبی و تلقیح میکروبی

مینا باقری[۱]، میرحسن رسولی صدقیانی[۱*]، محسن برین[۱] و اسماعیل رضایی[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۸/۷)
DOI: 10.47176/jspi.11.3.6396

چکیده

کشت مخلوط در شرایط تلقیح میکروبی به‌عنوان روشی برای بهبود شاخص‌های کیفیت خاک مطرح است. از این‌رو، این پژوهش با هدف ارزیابی اثر تلقیح میکروبی بر برخی شاخص‌های کیفیت خاک تحت کشت گیاهان بادرشبی و لوبیا قرمز در کشت خالص و مخلوط به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه‌ای اجرا شد. فاکتورها شامل تلقیح میکروبی (باکتری، قارچ، باکتری + قارچ و شاهد) و الگوهای کشت مخلوط (یک ردیف لوبیا + یک ردیف بادرشبی (۱:۱)، دو ردیف بادرشبی + دو ردیف لوبیا (۲:۲)، دو ردیف بادرشبی + یک ردیف لوبیا (۲:۱)، یک ردیف بادرشبی + دو ردیف لوبیا (۱:۲)، خالص لوبیا و خالص بادرشبی) بودند. در پایان دوره رشد، تنفس پایه (BR)، تنفس برانگیخته (SIR)، کربن زیست‌توده میکروبی (MBC)، سهم متابولیک (qCO_2) و فراهمی کربن (CAI) در خاک گیاه‌های لوبیا و بادرشبی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که تمام شاخص‌های کیفیت خاک، تحت تأثیر الگوهای کشت و تلقیح میکروبی قرار گرفتند. مقادیر BR و SIR در خاک کشت مخلوط ۱:۲ در تلقیح ترکیبی باکتری و قارچ بادرشبی به‌ترتیب ۱/۲۱ و ۱/۱۷ برابر بیش‌تر از میزان آنها در تیمار کشت خالص بادرشبی بود. کشت مخلوط ۱:۲ همراه با تلقیح باکتری و قارچ، MBC را به‌ترتیب ۱/۱۱ و ۱/۲۴ برابر در خاک لوبیا و بادرشبی نسبت به کشت خالص افزایش داد. همچنین الگوهای مختلف کشت مخلوط و کودهای زیستی، موجب افزایش CAI و کاهش qCO_2 در خاک شدند. به‌طور کلی کاربرد کشت مخلوط و استفاده از پتانسیل ریزجانداران سبب بهبود شاخص‌های کیفیت خاک می‌شود.

واژه‌های کلیدی: کشاورزی پایدار، شاخص‌های زیستی خاک، ریزجانداران، کشت مخلوط

مقدمه

نظام‌های کشاورزی رایج با تخریب منابع طبیعی و ایجاد آلودگی‌های مختلف ناشی از فعالیت‌های صنعتی، مصرف کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها موجب ایجاد مشکلات در ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و کیفیت خاک شده‌اند. از آنجایی که ارتباط تناتنگی بین کیفیت خاک و کشاورزی پایدار وجود دارد. برای رفع چنین مشکلاتی تمایل به‌سمت استفاده از نظام‌های پایدار کشاورزی با تأکید بر استفاده از پتانسیل

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه
۲. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه
* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: m.rsadaghiani@urmia.ac.ir

ریزجانداران برای بهبود کیفیت خاک است. کیفیت خاک علاوه بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن، دارای ارتباط نزدیکی با ویژگی‌های زیستی آن نیز است. شاخص‌های بیولوژیک خاک از جنبه‌های مهم کیفیت خاک هستند و به همین دلیل کیفیت خاک با استفاده از ویژگی‌های مختلف زیستی نیز ارزیابی می‌شود. اصولاً خاکی که از تنوع و توزیع مناسب میکروبی برخوردار باشد و ریزجانداران در آن به‌خوبی فعالیت کنند، از نظر کیفی در سطح بالایی است (۲۸). بنابراین برای ارزیابی کارکردهای خاک و تغییرات آن بهتر است شاخص‌های کیفیت خاک (تنفس پایه، تنفس برانگیخته، کربن زیست‌توده میکروبی، فراهمی کربن و ضریب متابولیک) که نشان‌دهنده تنوع زیستی و چگونگی فعالیت ریزجانداران خاک هستند، استفاده شوند (۱۳).

تنفس میکروبی خاک اساساً فرآیندی سلولی بوده و واکنش‌های بیوشیمیایی بسیاری را دربر می‌گیرد. این فرایند علاوه بر اینکه شاخصی از وضعیت و فعالیت میکروب‌های خاک است، بیانگر روند و چگونگی تجزیه مواد آلی، فعالیت آنزیمی و چرخه برخی از عناصر غذایی خاک است (۲۱ و ۲۸). علاوه بر این، تنفس برانگیخته با بستره (Substrate) یکی از روش‌های پایه‌ای برای برآورد کمّی زیست‌توده میکروبی خاک به‌عنوان بخش بسیار فعال و ناپایدار کربن آلی خاک است (۱۹ و ۲۸). کربن زیست‌توده میکروبی از مهم‌ترین شاخص‌های زیستی خاک محسوب می‌شود و در میان پارامترهای بیوشیمیایی در درجه اول کربن زیست‌توده میکروبی (۴۱ درصد) بیش‌ترین کاربرد را در ارزیابی شاخص‌های کیفیت خاک در بین سایر شاخص‌های کیفیت دارد (۱۳ و ۲۹). سهم متابولیک و شاخص فراهمی کربن از جمله شاخص‌های کیفیت خاک هستند که برای تعیین وضعیت و فعالیت میکروبی خاک بررسی می‌شوند. خاک‌های با کوددهی آلی دارای سهم متابولیکی کم‌تری نسبت به خاک‌های با کوددهی معدنی هستند (۱۰). شاخص فراهمی کربن، شاخص مهمی برای پی بردن به درجه محدودیت بستره، به‌ویژه در خاک‌های تحت کشت است. با افزایش فاصله از سطح ریشه این شاخص کاهش می‌یابد. در خاک نزدیک ریشه فراهمی کربن، نزدیک به یک بوده که نشان‌دهنده آن است که در این محیط فراهمی کربن برای تنفس میکروبی عامل محدودکننده نیست (۸).

اعمال مدیریت‌های نامناسب در کشاورزی متداول بر خلاف کشاورزی پایدار، ماده آلی و فعالیت میکروبی خاک را کاهش می‌دهد. از طرف دیگر از اجزای کشاورزی پایدار می‌توان به کشت مخلوط گیاهان زراعی اشاره کرد که توامان با ریزجانداران مفید خاک‌زی مانند باکتری های محرک رشد گیاه (PGPR) و قارچ‌های میکوریز آربوسکولار (AMF) می‌توانند به‌عنوان یکی از راهکارهای بهبود شاخص‌های کیفیت خاک به‌شمار روند. کشت‌های مخلوط، به‌عنوان یک سیستم جایگزین شکل پیچیده‌تری از چندکشتی هستند که در آنها دو یا چند گونه به‌طور هم‌زمان در یک قطعه زمین در طی یک فصل زراعی پرورش داده می‌شوند (۲۵). اگر اجزای تشکیل‌دهنده کشت مخلوط در چگونگی استفاده از منابع محیطی متفاوت باشند، از منابع به‌طور مؤثرتری استفاده می‌کنند. از مزایای استفاده از کشت مخلوط نسبت به کشت خالص می‌توان به افزایش عملکرد در واحد سطح زمین، افزایش کارایی استفاده از منابع، افزایش تنوع و ایجاد ثبات زیستی، کاهش خسارت‌های ناشی از آفات و بیماری‌ها و برتری‌های اقتصادی و اجتماعی اشاره کرد (۳۰). به‌طور کلی هدف از کشت مخلوط به حداکثر رساندن روابط مثبت و به حداقل رساندن روابط منفی بین اجزا از طریق بهینه‌سازی استفاده از فضا، زمان و منابع فیزیکی است (۲۳). افزایش تنوع گیاهی از طریق کشت مخلوط منجر به افزایش جمعیت ریزجانداران خاک شده و در نتیجه فعالیت میکروبی خاک به‌عنوان یکی از کارکردهای اکوسیستمی بهبود می‌یابد (۲۷). تانگ و همکاران (۲۷) در بررسی فعالیت میکروبی خاک در الگوهای مختلف کشت به این نتیجه رسیدند که افزایش تنوع محصولات به‌صورت کشت مخلوط منجر به افزایش زیست‌توده میکروبی نسبت به کشت خالص می‌شود. از

جدول ۱. نتایج برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

بافت خاک	pH	EC ($dS\ m^{-1}$)	OM (٪)	CCE (٪)	N_t (٪)	P_{ava} ($mg\ kg^{-1}$)	K_{ava} ($mg\ kg^{-1}$)	Fe	Zn ($mg\ kg^{-1}$)	Mn ($mg\ kg^{-1}$)	Cu
لوم رسی	۷/۵۰	۰/۸۵	۱/۰۱	۱۴/۲	۰/۱	۵/۰۰	۲۷۰	۴/۲	۱/۱	۵/۲	۰/۸

pH (واکنش خاک)، EC (رسانایی الکتریکی خاک)، OM (ماده آلی خاک)، CCE (کربنات کلسیم معادل)، N_t (نیتروژن کل)، P_{ava} (فسفر قابل جذب)، K_{ava} (پتاسیم قابل جذب)، Fe (آهن قابل جذب)، Zn (روی قابل جذب)، Mn (منگنز قابل جذب)، Cu (مس قابل جذب)

سوی دیگر یک سری ریزجانداران همانند PGPR و AMF در خاک قادر به تحریک و افزایش فعالیت میکروبی خاک بوده و زیست‌توده میکروبی و سایر شاخص‌های کیفیت خاک را بهبود می‌بخشند (۲۶). در یک سیستم ریشه‌ای فعال، ترکیبات آلی به‌طور منظم به ریزوسفر آزاد می‌شوند که باعث رشد و افزایش فعالیت جامعه میکروبی خاک شده و سلامت سیستم را بهبود می‌بخشند. در حالت طبیعی معمولاً جمعیت PGPR در ریزوسفر کم است، چنانکه نمی‌توانند به‌طور قابل توجهی باعث افزایش رشد و عملکرد گیاهان شوند (۲۶). بنابراین تلقیح بذر گیاهان با جمعیت‌های زیاد باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه می‌تواند تعداد این باکتری‌ها را در ریزوسفر به حد مطلوب رسانده و در نتیجه منجر به افزایش شاخص‌های کیفیت خاک شود (۷). لازمه انتخاب گیاهان، شناخت کامل گونه‌ها، نیازهای اکولوژیک آن و چگونگی واکنش آنها به محیط پیرامون است.

حبوبات مانند لوبیا به‌علت توانایی برقراری همزیستی با ریزجانداران نقش مؤثری در بهبود ویژگی‌های بیوشیمیایی خاک دارند و به همین دلیل در تناوب با سایر گیاهان زراعی کشت‌شده و یا به‌عنوان کود سبز استفاده می‌شوند. همچنین بادرشبی گیاهی علفی، یکساله و متعلق به تیره نعناعیان بوده و تمام اندام گیاه حاوی اسانس است. اسانس دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی بوده که به همین دلیل این گیاه دارای خاصیت ضدسرطانی نیز است. توجه به اهمیت ریزجانداران خاک و نقش آنها در بهبود شاخص‌های کیفیت خاک به‌عنوان یکی از راهکارهای جایگزین برای کودهای شیمیایی با هدف افزایش باروری خاک، حفظ محیط زیست و ارتقای کیفیت محصولات کشاورزی از ارکان مهم پایداری کیفیت خاک محسوب می‌شود. افزایش تنوع گونه‌های گیاهی یکی از استراتژی‌های مؤثر در دستیابی به این پایداری است و همان‌طور که ذکر شد بسیاری از پژوهشگران، مهم‌ترین عامل افزایش تنوع در اکوسیستم‌های زراعی را وجود کشت‌های مخلوط در این سیستم ها می‌دانند. از این‌رو کشت مخلوط لوبیا و گیاه دارویی مانند بادرشبی علاوه بر کاهش مصرف کودهای شیمیایی و افزایش حاصلخیزی خاک می‌تواند منجر به بهبود کیفیت خاک شود. بنابراین با توجه به اهمیت کشت مخلوط و جایگاه حبوبات و گیاهان دارویی در کنار پتانسیل ریزجانداران در کشور، این پژوهش با هدف ارزیابی اثر تنوع الگوهای کشت لوبیا و بادرشبی بر برخی شاخص‌های کیفیت خاک تحت تأثیر باکتری‌های PGPR و قارچ AMF اجرا شد.

مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش، خاک زراعی مورد استفاده از شهرستان نقده واقع در استان آذربایجان غربی تهیه شده و پس از هوا-خشک کردن از غربال ۲ میلی‌متری عبور داده شد. سپس برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی به روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شدند (۳۶) که نتایج آنها در جدول (۱) ارائه شده است. برای انجام آزمون گلخانه‌ای، آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار شامل تلقیح میکروبی (باکتری‌های

PGPR، AMF، تلقیح تلفیقی PGPR + AMF و بدون تلقیح) و الگوهای کشت مخلوط (یک ردیف لوبیا + یک ردیف بادرشبی (۱:۱)، دو ردیف لوبیا + یک ردیف بادرشبی (۲:۱)، یک ردیف لوبیا + دو ردیف بادرشبی (۱:۲)، دو ردیف لوبیا + دو ردیف بادرشبی (۲:۲)، کشت خالص لوبیا و خالص بادرشبی) بود، که در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه اجرا شد. برای انجام آزمون‌های گلخانه‌ای، ۴۵ کیلوگرم خاک به هر گلدان (۸۰ × ۲۵ × ۲۵ سانتی‌متر) منتقل شد. برای تلقیح میکروبی از سویه‌های میکروبی شامل سودوموناس‌های فلورسنت (ترکیبی از گونه‌های *P. aeruginosa*، *P. fluorescens* و *P. putida*) و قارچ میکوریز (*Rhizophagus irregularis*، *Funneliformis mosseae* و *Claroideoglomus etunicatum*) استفاده شد. برای تلقیح بذرها از روش افزودن محلول باکتری‌ها (۷۵ میلی‌لیتر از سوسپانسیون برای هر بذر) استفاده شد. مقدار قارچ‌های میکوریز حدود ۴۰ گرم برای بذر هر گیاه بود. برای تلقیح تلفیقی نیز روش مایه‌زنی بذر اعمال شد. برای کشت گیاه به روش کشت مخلوط از نوع جایگزینی، بذرهای لوبیا قرمز رقم یاقوت (*Phaseolus vulgaris*) و بادرشبی (*Dracocephalum moldavica*) از توده محلی ارومیه پس از ضدعفونی با هیپوکلریت سدیم ۰/۵ درصد در گلدان‌ها کشت شدند. آبیاری بر حسب نیاز گیاهان و دمای گلخانه به‌طور متوسط دو بار در هفته انجام شد. عملیات وجین علف‌های هرز در طول فصل رشد بنابر ضرورت به‌طور مرتب به‌صورت دستی کنترل شدند. برداشت گیاهان، برداشت زیست‌توده گیاه لوبیا پس از سه ماه و ۲۲ روز انجام شد که غلاف‌های لوبیا حدود ۸۰-۷۰ درصد رسیده، رنگ آنها زرد شده و دانه‌های لوبیا خشک شده بودند. در این زمان بادرشبی در اواخر مرحله گلدهی بود. برای اندازه‌گیری برخی از ویژگی‌های زیستی خاک، ابتدا گیاهان را همراه با ریشه با احتیاط از درون خاک خارج کرده، سپس به میزان ۲۰۰ گرم خاک، از منطقه اطراف ریشه‌ها به‌عنوان نمونه برداشت شده و در یخچال در دمای ۴ درجه سلسیوس به‌منظور اندازه‌گیری ویژگی‌های زیستی خاک نگهداری شدند (۱ و ۱۰). تنفس پایه (BR) (۳)، تنفس برانگیخته با بستره (SIR) (۱)، و کربن زیست‌توده میکروبی (MBC) (۱۶) در نمونه‌های خاک برداشت‌شده اندازه‌گیری شد. همچنین سهم متابولیکی از تقسیم BR بر MBC و شاخص فراهمی کربن از تقسیم BR به SIR محاسبه شدند. تحلیل آماری شامل تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد با نرم‌افزار SAS 9.4 و رسم نمودارها با نرم‌افزار Execl انجام شد.

نتایج و بحث

جدول تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای مختلف الگوهای کشت و تلقیح میکروبی بر برخی شاخص‌های کیفیت خاک تحت کشت لوبیا نشان داد (جدول ۲) که اثر برهم‌کنش این تیمارها بر تنفس پایه ($p < ۰/۰۱$)، برانگیخته ($p < ۰/۰۱$)، کربن زیست‌توده میکروبی ($p <۰/۰۱$)، سهم متابولیک ($p < ۰/۰۵$) و فراهمی کربن ($p < ۰/۰۵$) معنی‌دار بود. همچنین اثر اصلی این تیمارها نیز بر پارامترهای ذکرشده معنادار($p < ۰/۰۱$) بود. در ارتباط با بادرشبی نیز نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که آثار برهم‌کنش الگوی کشت و تلقیح میکروبی بر تمامی شاخص‌های اندازه‌گیری‌شده به‌جز سهم متابولیک و فراهمی کربن تنفس پایه، معنادار ($p < ۰/۰۱$) بود. آثار اصلی این تیمارها نیز بر تمامی شاخص‌های کیفیت خاک معنادار ($p < ۰/۰۱$) بود (جدول ۳).

- تنفس پایه و برانگیخته

نتایج مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش الگوهای کشت و تلقیح میکروبی، بر میزان تنفس پایه در خاک لوبیا نشان داد (جدول ۴) که بیش‌ترین میزان تنفس پایه (۰/۴۲ mg CO_2-C g^{-1} soil day^{-1}) از کشت مخلوط ۱:۲ در تلفیق با قارچ میکوریزا (AMF) و باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) به‌دست آمد و کم‌ترین میزان تنفس پایه (۰/۲۸ mg CO_2-C g^{-1} soil day^{-1}) در کشت خالص لوبیا بدون تلقیح میکروبی مشاهده شد.

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر تلقیح میکروبی و کشت مخلوط بر برخی شاخص‌های کیفیت خاک در کشت لوبیا

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		تنفس پایه	تنفس برانگیخته با بستره	کربن زیست‌توده میکروبی	سهم متابولیک	فراهمی کربن
تکرار	۲	۰/۰۰۰۰۱*	۰/۰۴۹**	۱۸۴۶/۱۵۲ns	۰/۰۰۰۰۱*	۰/۰۰۰۰۰۶۴۲۹**
الگوی کشت (P)	۴	۰/۰۰۰۰۵۰۱۴**	۰/۲۰۹**	۷۱۵۸۹/۶۲۸**	۰/۰۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۰۰۰۵۱۶۷**
تلقیح میکروبی (M)	۳	۰/۰۱۵**	۰/۶۰۸**	۲۶۶۳۷۶/۵۷۴**	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۰۰۸۵۹۹**
M × P	۱۲	۰/۰۰۱**	۰/۰۳۵**	۵۱۸۳/۷۱۱**	۰/۰۰۰۰۷۷۲۱*	۰/۰۰۰۰۰۹۰۹۶*
خطا	۳۸	۰/۰۰۰۰۴۷۴۱	۰/۰۰۴	۱۰۲۱/۶۱۹	۰/۰۰۰۰۴۴۷۳	۰/۰۰۰۰۰۴۴۹۹
ضریب تغییرات (٪)	-	۱/۹۶	۲/۲۶	۲/۸۰	۲/۱۶	۱/۶۰

ns، * و ** به‌ترتیب بیان‌گر اثر غیرمعنادار، و اثر معنادار در سطوح ۵ و ۱ درصد است.

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر تلقیح میکروبی و کشت مخلوط بر برخی شاخص‌های کیفیت خاک در کشت بادرشبی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		تنفس پایه	تنفس برانگیخته با بستره	کربن زیست‌توده میکروبی	سهم متابولیک	فراهمی کربن
تکرار	۲	۰/۰۰۰۰۴۳۷۸ns	۰/۰۴۲**	۱۴۶۲/۸۵۱ns	۰/۰۰۰۰۱*	۰/۰۰۰۰۶۸۵۲**
الگوی کشت (P)	۴	۰/۰۰۶**	۰/۰۰۲**	۹۲۵۰۳/۲۵۰**	۰/۰۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۰۸۴۰۳**
تلقیح میکروبی (M)	۳	۰/۰۱۵**	۰/۶۵۲**	۲۵۲۹۸/۱۰۹**	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۰۰۷۲۹۹**
M × P	۱۲	۰/۰۰۱**	۰/۲۲۸**	۵۱۴۴/۱۳۸**	۰/۰۰۰۰۲۹۰۷ns	۰/۰۰۰۰۰۴۹۳۵ns
خطا	۳۸	۰/۰۰۰۰۷۴۹۲	۰/۰۰۴	۱۱۸۸/۱۶۴	۰/۰۰۰۰۳۹۳۸	۰/۰۰۰۰۰۴۹۳۵
ضریب تغییرات (٪)	-	۲/۴۷	۲/۲۶	۳/۰۳	۲/۰۲	۱/۷۷

ns، * و ** به‌ترتیب بیان‌گر اثر غیرمعنادار، و اثر معنادار در سطوح ۵ و ۱ درصد است.

همانند تنفس پایه، کشت مخلوط ۱:۲ توامان با تلقیح میکروبی بیش‌ترین میزان تنفس بر انگیخته (۳/۲۴ mg CO_2-C g^{-1} soil day^{-1}) نشان داد و کم‌ترین میزان این شاخص کیفی (mg CO_2-C g^{-1} soil day^{-1} ۲/۴۵) مربوط به تیمار شاهد کشت خالص لوبیا بود. مانند لوبیا در خاک بادرشبی نیز، بر اساس جدول (۵) بیش‌ترین میزان تنفس پایه (۰/۴۱ mg CO_2-C g^{-1} soil day^{-1}) و بر انگیخته (mg CO_2-C g^{-1} soil day^{-1} ۳/۲۴) از کشت مخلوط ۱:۲ همراه با کاربرد ترکیبی قارچ میکوریزا و باکتری‌ها به‌دست آمد و کم‌ترین میزان این شاخص‌ها نیز در کشت خالص شاهد بادرشبی مشاهده شد.

به‌طور کلی حضور توأم دو گونه گیاه با کارکردهای مختلف در سیستم‌های مخلوط و در برهمکنش با PGPRها و AMFها منجر به افزایش تنفس پایه و برانگیخته خاک نسبت به سیستم کشت خالص شد. به بیان دیگر، تنوع کارکردی زیاد در سیستم‌های کشت مخلوط با افزایش فعالیت میکروبی خاک همراه بود. افزایش تنفس پایه در تیمارهای کشت مخلوط همراه با تلقیح تلفیقی نسبت به تیمارهای دیگر ممکن است به این دلیل نیز باشد که تنفس خاک توسط کربن آلی خاک، به‌عنوان منبع غذا و انرژی کنترل می‌شود. مواد آلی می‌توانند

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش تلقیح میکروبی و کشت مخلوط بر برخی شاخص‌های کیفیت خاک در کشت لوبیا

الگوهای کشت	تلقیح میکروبی	تنفس پایه ($mg\ CO_2\text{-}C\ g^{-1}\ soil\ day^{-1}$)	تنفس برانگیخته با بستره ($mg\ CO_2\text{-}C\ g^{-1}\ soil\ day^{-1}$)	کربن زیست‌توده میکروبی ($mg\ CO_2\text{-}C\ g^{-1}$)	سهم متابولیک	فراهمی کربن
کشت خالص لوبیا	شاهد	۰/۲۸^{j}	۲/۴۵^{i}	۰/۸۲^{g}	۰/۳۳^{a}	۰/۱۱^{e}
	قارچ	۰/۳۲^{ghi}	۲/۶۷^{gh}	۱/۰۲^{f}	۰/۳۱$^{b-e}$	۰/۱۲^{bcd}
	باکتری	۰/۳۲^{ghi}	۲/۶۳^{gh}	۱/۰۲^{f}	۰/۳۱$^{b-e}$	۰/۱۲^{cd}
	باکتری+قارچ	۰/۳۵^{def}	۲/۷۷^{de}	۱/۱۶^{e}	۰/۲۹^{ghi}	۰/۱۲$^{a-d}$
یک ردیف بادرشبی + یک ردیف لوبیا (۱:۱)	شاهد	۰/۳۱^{hi}	۲/۵۴^{hi}	۱/۰۰^{f}	۰/۳۱$^{b-f}$	۰/۱۲^{bcd}
	قارچ	۰/۴۰^{b}	۳/۱۳^{b}	۱/۲۸^{bc}	۰/۳۰$^{b-g}$	۰/۱۲^{abc}
	باکتری	۰/۳۵^{de}	۲/۸۳^{d}	۱/۱۴^{e}	۰/۳۰$^{e-i}$	۰/۱۲^{bcd}
	باکتری+قارچ	۰/۴۱^{a}	۳/۲۳^{a}	۱/۳۷^{a}	۰/۳۰^{ghi}	۰/۱۲^{ab}
دو ردیف بادرشبی + دو ردیف لوبیا (۲:۲)	شاهد	۰/۳۳^{gh}	۲/۶۴^{gh}	۱/۰۲^{f}	۰/۳۱^{bcd}	۰/۱۲^{bcd}
	قارچ	۰/۳۴^{ef}	۲/۷۰^{efg}	۱/۱۲^{e}	۰/۳۰$^{e-i}$	۰/۱۲$^{a-d}$
	باکتری	۰/۳۳^{fg}	۲/۶۴^{fgh}	۱/۱۳^{e}	۰/۲۹^{hi}	۰/۱۲$^{a-d}$
	باکتری+قارچ	۰/۳۸^{c}	۲/۹۷^{c}	۱/۳۰^{b}	۰/۲۹^{i}	۰/۱۲^{a}
دو ردیف بادرشبی + یک ردیف لوبیا (۲:۱)	شاهد	۰/۳۱^{i}	۲/۴۹^{i}	۰/۹۸^{f}	۰/۳۱^{bc}	۰/۱۲$^{a-d}$
	قارچ	۰/۳۷^{c}	۲/۹۴^{c}	۱/۲۲^{d}	۰/۳۰$^{d-h}$	۰/۱۲^{abc}
	باکتری	۰/۳۶^{d}	۲/۸۳^{d}	۱/۱۶^{e}	۰/۳۰$^{c-g}$	۰/۱۲$^{a-d}$
	باکتری+قارچ	۰/۳۸^{c}	۲/۹۵^{c}	۱/۲۴^{cd}	۰/۳۰$^{e-i}$	۰/۱۲^{a}
یک ردیف بادرشبی + دو ردیف لوبیا (۱:۲)	شاهد	۰/۳۳^{g}	۲/۶^{efg}	۱/۰۲^{f}	۰/۳۲^{b}	۰/۱۲^{d}
	قارچ	۰/۳۸^{c}	۳/۰۰^{c}	۱/۲۴^{cd}	۰/۳۰$^{d-g}$	۰/۱۲^{abc}
	باکتری	۰/۳۵^{def}	۲/۷۵^{def}	۱/۱۲^{e}	۰/۳۰$^{d-h}$	۰/۱۲$^{a-d}$
	باکتری+قارچ	۰/۴۲^{a}	۳/۲۴^{a}	۱/۳۷^{a}	۰/۳۰$^{f-i}$	۰/۱۲^{a}

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معناداری ندارند.

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش تلقیح میکروبی و کشت مخلوط بر برخی شاخص‌های کیفیت خاک در کشت بادرشبی

الگوهای کشت	تلقیح میکروبی	تنفس پایه ($mg\ CO_2\text{-}C\ g^{-1}\ soil\ day^{-1}$)	تنفس برانگیخته با بستره ($mg\ CO_2\text{-}C\ g^{-1}\ soil\ day^{-1}$)	کربن زیست‌توده میکروبی ($mg\ CO_2\text{-}C\ g^{-1}$)
کشت خالص بادرشبی	شاهد	۰/۲۷^{k}	۲/۳۶^{h}	۰/۸۱^{f}
	قارچ	۰/۳۲^{hij}	۲/۶۵^{def}	۱/۰۲^{e}
	باکتری	۰/۳۱^{ij}	۲/۶۴^{ef}	۰/۹۹^{e}
	باکتری + قارچ	۰/۳۴$^{d-g}$	۲/۷۶^{cd}	۱/۱۰^{d}
یک ردیف بادرشبی + یک ردیف لوبیا (۱:۱)	شاهد	۰/۳۱^{ij}	۲/۵۴^{fg}	۱/۰۰^{e}
	قارچ	۰/۳۹^{b}	۲/۱۳^{a}	۱/۲۸^{bc}
	باکتری	۰/۳۴^{de}	۲/۸۳^{c}	۱/۱۴^{d}
	باکتری + قارچ	۰/۴۱^{a}	۳/۲۳^{a}	۱/۳۷^{a}
دو ردیف بادرشبی + دو ردیف لوبیا (۲:۲)	شاهد	۰/۳۲^{ghij}	۲/۶۴^{ef}	۱/۰۲^{e}
	قارچ	۰/۳۴^{def}	۲/۷۰^{de}	۱/۱۲^{d}
	باکتری	۰/۳۳$^{e-h}$	۲/۶۴^{def}	۱/۱۳^{d}
	باکتری + قارچ	۰/۳۸^{c}	۲/۹۷^{b}	۱/۳۰^{b}
دو ردیف بادرشبی + یک ردیف لوبیا (۲:۱)	شاهد	۰/۳۱^{j}	۲/۴۹^{g}	۰/۹۸^{e}
	باکتری	۰/۳۷^{c}	۲/۹۴^{b}	۱/۲۴^{c}
	قارچ	۰/۳۵^{d}	۲/۸۳^{c}	۱/۱۶^{d}
	باکتری+قارچ	۰/۳۷^{c}	۲/۹۵^{b}	۱/۲۴^{c}
یک ردیف بادرشبی + دو ردیف لوبیا (۱:۲)	شاهد	۰/۳۲$^{f-i}$	۲/۶۹^{de}	۱/۰۲^{e}
	قارچ	۰/۳۸^{c}	۳/۰۰^{b}	۱/۲۵^{c}
	باکتری	۰/۳۴^{de}	۲/۷۵^{cde}	۱/۱۲^{d}
	باکتری + قارچ	۰/۴۱^{a}	۲۴۳۳^{a}	۱/۳۷^{a}

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معناداری ندارند.

به‌عنوان منبع کربن و انرژی، مورد استفاده جمعیت میکروب‌های هتروتروف خاک قرار گرفته و در نتیجه تنفس میکروبی خاک را به‌عنوان شاخص فعالیت میکروبی افزایش دهند و کم‌بودن تنفس در تیمار کشت خالص بدون تلقیح نیز ممکن است به‌دلیل مقدار کم کربن آلی در این تیمار باشد. غفاری و همکاران (۱۲) بیان کردند که محیط خاک، مهم‌ترین عامل محدودکننده فعالیت میکروبی و فراهمی بستره کربن‌دار قابل استفاده است که با ورود بستره کربن‌دار مانند کشت گیاهان به‌صورت مخلوط به خاک، جمعیت میکروبی به ویژه در پیرامون بستره افزایش می‌یابد. آزادشدن دی‌اکسیدکربن شاخصی از تجزیه مواد آلی و یا فعالیت ریزجانداران در یک اکوسیستم است (۱۱). کشت مخلوط سبب معدنی‌شدن و نیز افزایش جمعیت ریزجانداران خاک شده و همزمان بهبود تهویه خاک و در نتیجه افزایش انتشار گاز دی‌اکسید را در پی داشته است. شاید یکی از دلایل افزایش تنفس خاک در کشت مخلوط دو ردیف بادرشبی + یک

ردیف لوبیا، تنوع بیش‌تر گیاهان و تجمع مواد آلی و افزایش فعالیت ریزجانداران در خاک باشد. عزیزی و همکاران (۵) نیز افزایش تنفس میکروبی خاک در نتیجه افزایش تنوع گیاهان زراعی را گزارش کرده و بیان کردند که چندکشتی منجر به افزایش تنفس پایه در مقایسه با کشت خالص گیاهان می‌شود. لین و همکاران (۲۰) نیز افزایش تنفس پایه در خاک در کشت مخلوط گندم با بادام‌زمینی را نسبت به کشت خالص هر دو گونه گزارش کردند. تنفس برانگیخته‌شده با بستره، نشان‌دهنده فراوانی ریزجانداران و زیست‌توده آنها در خاک است. تنفس برانگیخته یکی از ویژگی‌های پاسخ‌دهنده به تیمارهای اعمال‌شده به خاک است. هر گونه دگرگونی و تحول در خاک می‌تواند آن را به‌طور چشم‌گیری دگرگون سازد. تفاوت تنفس برانگیخته در تیمارهای مختلف کشت مخلوط در حضور ریزجانداران این پژوهش حاکی از آن است که جمعیت میکروبی برای تجزیه گلوکز در این خاک‌ها، عامل محدودکننده بوده و با افزودن بستره به خاک، جمعیت ریزجانداران کوپیوتروف در خاک افزایش یافته و فعالیت یکسانی ندارند. کوپیوتروف‌ها ریزجاندارانی هستند که به محیط‌های غنی از مواد به‌آسانی تجزیه‌شونده به‌سرعت واکنش داده، رشد و تکثیر یافته و در غیاب این مواد به‌سرعت از بین می‌روند (۶). زارع و همکارن (۳۱) با بررسی تأثیر سیستم کشت مخلوط و قارچ‌های میکوریز بر فعالیت‌های میکروبی و گره‌زایی ریشه توسط نیتروژناز گزارش کردند که تفاوت معناداری از نظر مقادیر تنفس برانگیخته با بستره در سیستم‌های کشت مخلوط در تلقیح با میکوریز در مقایسه با شاهد مشاهده شد. از طرف دیگر نتایج نشان می‌دهند که با تلقیح با باکتری‌های PGPR و قارچ‌های AMF نیز بر تنفس خاک و برانگیخته مؤثر است و موجب افزایش تنفس می‌شود. علت این افزایش می‌تواند هم به‌صورت مستقیم و در اثر تنفس ریزجانداران افزوده‌شده به خاک باشد و هم به‌صورت غیرمستقیم و از طریق افزایش رشد گیاه و تحریک رشد جوامع میکروبی ریزوسفر گیاه باشد (۲). وجود آثار برهم‌کنش مثبت بین باکتری‌ها و قارچ‌های میکوریزا در گیاهان مختلف گزارش شده است. نتایج نشان داده است که مقدار عناصر غذایی در بافت‌های گیاهی و رشد گیاه میزبان، در مواردی که از ترکیب قارچ‌ها و باکتری‌های تحریک‌کننده رشد استفاده شده است در مقایسه با زمانی که این ریزجانداران به‌طور جداگانه استفاده می‌شوند، افزایش بیش‌تری می‌یابد (۲۲).

- کربن زیست‌توده میکروبی

نتایج ارائه‌شده در جدول (۴) نشان می‌دهد کشت مخلوط ۲:۱ همراه با تلقیح باکتری و قارچ سبب افزایش ۱/۱۷ برابری نسبت به کشت خالص این تیمار شد. در بین سایر تیمارهای تلقیح میکروبی، تیمار شاهد کشت مخلوط با ۰/۸۲۶ میلی‌گرم کربن دی‌اکسید بر گرم خاک کم‌ترین میزان را داشت. در ارتباط با بادرشبی نیز این شاخص افزایش ۱/۲۴ برابری در تیمار کشت مخلوط ۱:۲ تلفیقی در مقایسه با کشت خالص داشت (جدول ۵).

به‌طور کلی در تیمارهای کشت مخلوط در تلقیح با ریزجانداران نسبت به تیمار شاهد کشت خالص میزان کربن زیست‌توده میکروبی افزایش داشت. این نشان می‌دهد که ریزجانداران موجود در خاک مورد بررسی با محدودیت شدید کربن و سایر عناصر غذایی روبه‌رو هستند. از طرفی دیگر کشت مخلوط می‌تواند، فعالیت‌های میکروبی در خاک را با فراهم کردن زیستگاه، رطوبت، کربن، مواد آلی و عناصر مغذی برای ریزجانداران افزایش دهد. از این‌رو استفاده همزمان از تلقیح میکروبی و کشت مخلوط، می‌تواند منجر به افزایش شاخص‌های زیستی خاک (تنفس و کربن زیست‌توده میکروبی) شود. میزان تنفس و کربن زیست‌توده میکروبی زیاد در الگوی کشت مخلوط یک ردیف بادرشبی + دو ردیف لوبیا، می‌تواند به‌علت بیش‌تربودن تراکم لوبیا نسبت به بادرشبی و در نتیجه فراهمی بیش‌تر عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم توسط بوته‌های لوبیا باشد.

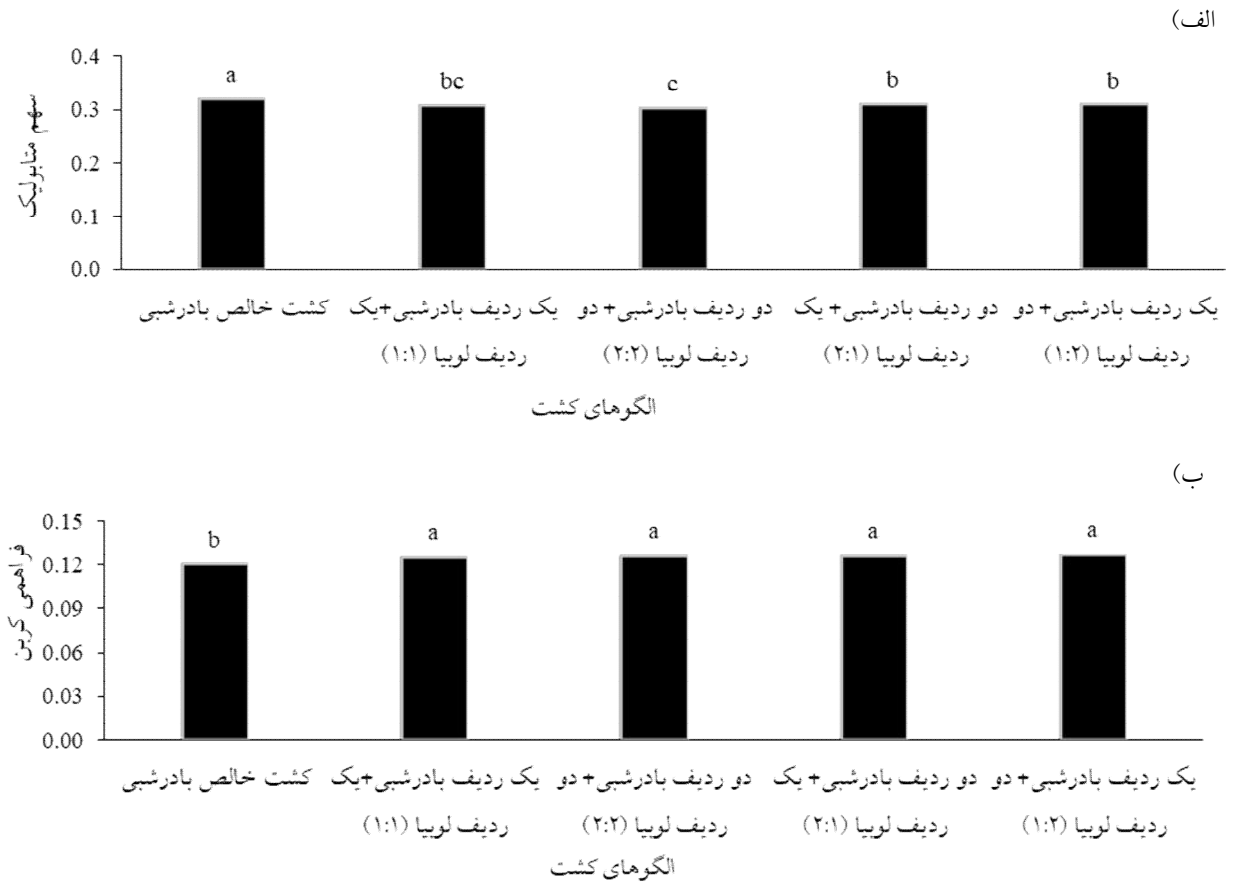
زیست‌توده میکروبی جزء زنده ماده آلی خاک بوده که شامل باکتری و قارچ و همچنین میکروفون و جلبک‌های ریز است و

نقش کلیدی در پویای مواد آلی و چرخه عناصر غذایی خاک ایفا می‌کند (۱۴). با توجه به اینکه سیستم‌های کشت مخلوط ماده آلی خاک را افزایش می‌دهند (۳۲). بنابراین زیست‌توده میکروبی به‌سرعت و در کوتاه‌مدت به ورود کربن آلی از منابع مختلف پاسخ می‌دهد و چون خاک مورد بررسی (جدول ۱) با محدودیت کربن روبه‌رو هستند، مقدار آن معمولاً با افزودن منابع حاوی کربن سهل‌الوصول به خاک افزایش می‌یابد (۱۴). تانگ و همکاران (۲۷) با بررسی فعالیت میکروبی خاک در سیستم‌های مختلف کشت به این نتیجه رسیدند که افزایش تنوع محصولات به‌صورت کشت مخلوط منجر به افزایش زیست‌توده میکروبی نسبت به سیستم‌های تک کشتی می‌شود. آنها دلیل زیست‌توده میکروبی بیش‌تر در سیستم‌های کشت مخلوط را تنوع بیش‌تر ریزجانداران و پیچیدگی روابط شکارگری و باکتری‌خواری در بین ریزجانداران موجود در ریزوسفر خاک بیان کردند. تنوع گیاهی در کشت مخلوط منجر به افزایش جمعیت ریزجانداران خاک شده و در نتیجه فعالیت میکروبی خاک که منجر به ایجاد چرخ‌های عناصر غذایی و در نتیجه بهبود حاصلخیزی خاک می‌شود، به‌عنوان یکی از کارکردهای اکوسیستمی بهبود می‌یابد (۲۷). علاوه بر اثر تلقیح میکروبی بر میزان کربن زیست‌توده میکروبی، گیاهان نیز ترکیباتی مانند قندها، اسیدهای آمینه، ویتامین‌ها، دی‌اکسید کربن، اسیدهای آلی و آنزیم‌های مختلف را به ریزوسفر ترشح کرده و به واسطه ترشحات ریشه‌ای، سبب افزایش کربن زیست‌توده می‌شوند. علاوه بر این، ترشحات ریشه‌ای، محیط ریزوسفر را برای فعالیت میکروبی مساعد کرده و انواع جمعیت میکروبی و تولید متابولیت‌های آنها را افزایش می‌دهد، که این امر نیز در افزایش میزان تنفس میکروبی و کربن زیست‌توده مؤثر است (۱۸). رایوست و همکاران (۲۶) نیز گزارش کردند که سیستم‌های چندکشتی در مقایسه با کشت خالص گونه‌ها، از جمعیت و زیست‌توده میکروبی بیش‌تری برخوردارند. آنها دلیل اصلی بیش‌تربودن زیست‌توده و جمعیت میکروبی خاک در سیستم‌های کشت مخلوط را، فراهمی بیش‌تر عناصر غذایی (به‌ویژه فسفر) برای ریزجانداران بیان کردند. افزایش تنفس و کربن زیست‌توده میکروبی در کشت مخلوط نخود و یولاف توسط جانئورا و همکاران (۱۵) و در کشت مخلوط ذرت و سویا توسط البرمانن و همکاران (۲۴) نیز گزارش شده است.

- سهم متابولیک

روابط آماری حاصله در جدول (۴) نشان داد که بیش‌ترین سهم متابولیک در بین تیماهار کشت مخلوط و تلقیح میکروبی در خاک لوبیا مربوط به کشت خالص تیمار شاهد بود که ۱/۱۳ برابر بیش‌تر از تیمار تلفیقی بود. همچنین کم‌ترین میزان نیز در ارتباط با کشت مخلوط ۲:۲ در شرایط تلقیح همزمان باکتری و قارچ مشاهده شد. مقایسه میانگین سهم متابولیک در بین الگوهای مختلف کشت، نشان داد که کشت خالص بادرشبی سبب افزایش ۱/۰۵ برابر این شاخص کیفیت خاک نسبت به کشت مخلوط ۲:۲ شد (شکل ۱-الف). از میان تیمارهای مختلف تلقیح میکروبی، بیش‌ترین سهم متابولیک (۰/۳۲) در تیمار شاهد و کم‌ترین آن (۰/۳۰) در تیمار ترکیبی قارچ میکوریزا + باکتری‌های PGPR مشاهده شد (شکل ۲-الف).

در پژوهش حاضر طبق آنچه گزارش شد، میزان تنفس و کربن زیست‌توده میکروبی، در تیمارهای کشت مخلوط همراه با کاربرد کودهای زیستی زیاد بود. بنابراین دور از انتظار نبود که این تیمارها موجب کاهش سهم متابولیک شوند. نسبت دی‌اکسید کربن متصاعدشده به زیست توده میکروبی شاخصی از (سهم متابولیک) کارایی استفاده از بستره توسط ریزجانداران است (۴). با افزایش سهم متابولیک، قسمت اعظم بستره معدنی و از طریق فعالیت و تنفس ریزجانداران خارج می‌شود. همچنین سهم متابولیک زیاد نشان‌دهنده پویایی کربن آلی خاک است. هر چه این شاخص در خاک بیش‌تر شود، احتمال هدرروی کربن آلی بیش‌تر است. کوچک‌بودن آن نیز بیانگر ذخیره کربن آلی در خاک است (۱۰). در پژوهش حاضر، احتمالاً استفاده از کشت مخلوط و تلقیح میکروبی سبب افزایش جمعیت قارچ‌ها و باکتری‌ها در خاک شده، از این طریق باعث

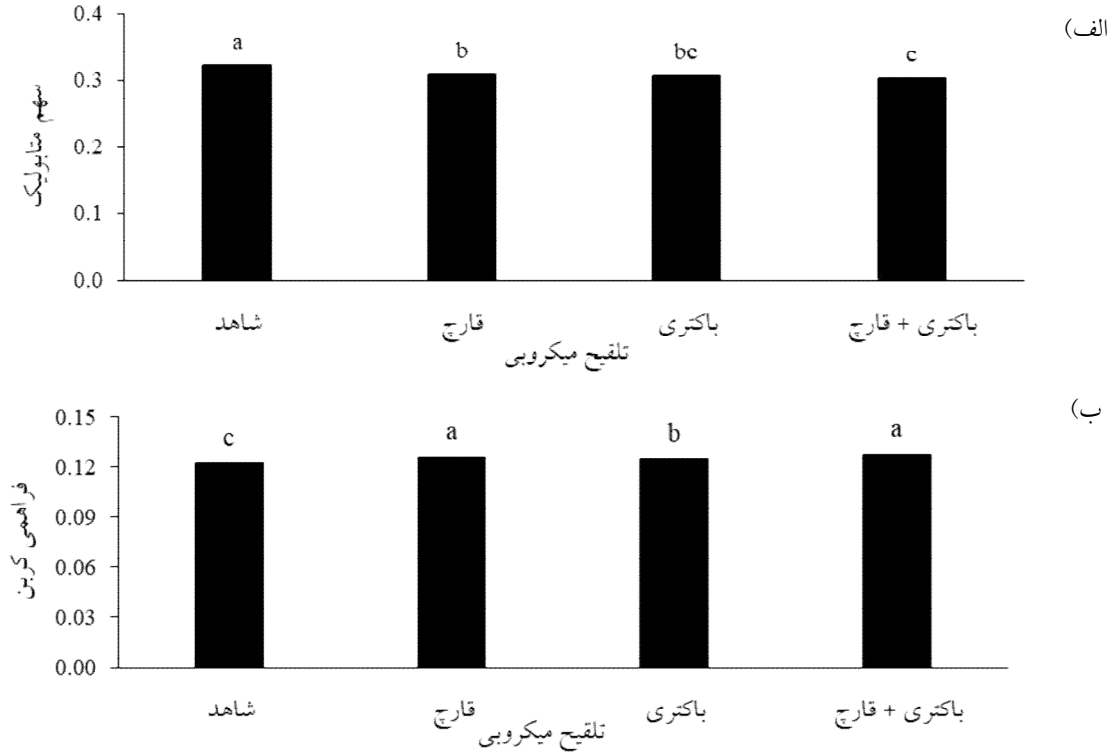


شکل ۱. مقایسه میانگین‌های سهم متابولیک و فراهمی کربن خاک در الگوهای کشت مورد بررسی؛ میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معناداری ندارند.

افزایش کربن زیست‌توده میکروبی شده و در نتیجه از افزایش سهم متابولیک جلوگیری شده است. سهم متابولیکی کم‌تر در تیمارهای ترکیبی قارچ و باکتری نسبت به مصرف جداگانه آنها نیز نشان‌دهنده کارایی بیش‌تر این تیمارها در تبدیل کربن به زیست‌توده جدید است که می‌تواند به‌دلیل آثار برهم‌کنش مثبت بین این ریزجانداران باشد. کاهش سهم متابولیک خاک در اثر تلقیح میکروبی توسط کاظم علیلو و رسولی صدقیانی (۱۸) نیز گزارش شده است.

- فراهمی کربن

با وجود اینکه بین الگوهای مختلف کشت مخلوط در برهم‌کنش با باکتری‌ها و قارچ‌ها اختلاف آماری معناداری از نظر میزان فراهمی کربن در خاک لوبیا مشاهده نشد، ولی این تیمارها بیش‌ترین میزان فراهمی کربن را در مقایسه با سایر تیمارها داشتند. به‌طوری که کشت مخلوط ۲:۲ در حضور ریزجانداران باعث افزایش ۱/۰۴ برابری شاخص ذکرشده نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۴). در خاک بادرشبی نیز در بین الگوهای کشت مخلوط اختلاف آماری معناداری مشاهده نشد، ولی تمامی تیمارهای کشت مخلوط بیش‌ترین میزان این شاخص کیفیت خاک را در مقایسه با کشت خالص نشان دادند (شکل ۱-ب). همچنین در بین تیمارهای مختلف تلقیح میکروبی نیز تیمار تلفیقی قارچ + باکتری‌های سبب افزایش ۱/۰۸ برابری در مقایسه با تیمار شاهد شد. هر چند بین این تیمار با تیمار قارچ تفاوت معناداری مشاهده نشد (شکل ۲-ب).



شکل ۲. مقایسه میانگین‌های سهم متابولیک و فراهمی کربن در تیمارهای تلقیح میکروبی مورد بررسی؛ میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معناداری ندارند.

فراهمی کربن شاخص مهمی برای پی بردن به درجه محدودیت بستره به‌ویژه در خاک‌های تحت کشت است. هر چه میزان این شاخص بیش‌تر باشد نشان‌دهنده فراوانی کربن برای تنفس میکروبی است. با توجه به اینکه ریشه مهم‌ترین منبع تولید کربن برای ریزجانداران هترتروف خاک است، با افزایش زیست‌توده ریشه و در نتیجه افزایش ترشحات ریشه‌ای، میزان این شاخص کیفیت خاک نیز افزایش می‌یابد (۹). بنابراین استفاده از کشت مخلوط و تلقیح میکروبی می‌تواند با افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاهان، باعث افزایش زیست‌توده ریشه و ترشحات ریشه‌ای شده و از این طریق سبب افزایش این شاخص در خاک شود. افزایش شاخص فراهمی کربن در اثر مصرف قارچ‌های میکوریزا و باکتری‌های محرک رشد گیاه توسط ریمی و همکاران (۱۷) نیز گزارش شده است.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تیمارهای کشت مخلوط همراه با کاربرد تلقیح میکروبی، موجب افزایش تنفس پایه، تنفس برانگیخته با بستره و کربن زیست‌توده میکروبی در ریزوسفر لوبیا و بادرشبی شدند. الگوی کشت مخلوط دو بادرشبی + یک ردیف لوبیا همراه با کاربرد ترکیبی قارچ میکوریزا و باکتری‌های محرک رشد گیاه، بیش‌ترین میزان این شاخص‌ها را دارا بود. همچنین الگوهای مختلف کشت مخلوط و تلقیح میکروبی به‌صورت جداگانه، سبب افزایش شاخص فراهمی کربن و کاهش سهم متابولیکی خاک شدند. از این‌رو افزایش تنوع گیاهی از طریق کشت مخلوط در شرایط حضور ریزجانداران می‌تواند به‌عنوان یکی از راهکارهای مؤثر برای افزایش و بهبود فعالیت میکروبی و کاهش تنش‌های محیطی برای فعالیت‌ها و در نهایت کاهش کسر متابولیک در مقایسه با کشت خالص شود. بنابراین کشت مخلوط در تلقیح با ریزجانداران موجب بهبود کیفیت و سلامت خاک می‌شود.

منابع مورد استفاده

1. Alef, K. and P. Nannipieri. 1995. Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry. pp. 194. Academic Press, London.
2. Ali, S., T.C. Charles and B.R. Glick. 2014. Amelioration of high salinity stress damage by plant growth-promoting bacterial endophytes that contain ACC deaminase. Soil Biol. Biochem. 80: 160–167.
3. Anderson, J.P.E. 1982. Soil respiration. pp. 831□872, In: A. L. Page et al. (eds.), Methods of Soil Analysis. American Society of Agronomy, USA.
4. Anderson, T.H. and K.H. Domsch. 1990. Application of eco-physiological quotients (qCO_2 and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. Soil Biol. Biochem. 22: 251–255.
5. Azizi, G., A. Koocheki, M. Nasiri Mahallati and P. Rezvani Moghaddam. 2013. Effect of plant diversity and nutrition source on soil microbial respiration and density of weeds in different planting patterns. In: 5th Congress of Weed Science, Karaj, Iran. pp. 1068. (In Farsi).
6. Button, D.K. 1991. Biochemical basis for whole-cell uptake kinetics-specific affinity, oligotrophic capacity, and the meaning of the Michaelis constant. Appl. Environ. Microbiol. 57: 2033–2038.
7. Cakmakci, R., M.F. Donmez and U. Erdogan. 2007. The Effect of plant growth promoting rhizobacteria on barley seedling growth, nutrient uptake, some soil properties, and bacterial counts. Turk. J. Agric. For. 31: 189–199.
8. Chen, Y.L and Q.Z. Li. 2007. Prediction of the subcellular location of apoptosis proteins. J. Theor. Biol. 245(4): 775–783.
9. Dai, J., T. Becquer, J.H. Rouille, G. Reversat, F. Bernhard-Reversat and P. Lavelle. 2004. Influence of heavy metals on C and N mineralization and microbial biomass in Zn-, Pb-, Cu- and Cd-contaminated soils. Appl. Soil Ecol. 25(2): 99–109.
10. Froughifar, H., A. Jafarzadah, H. Torabi Gelsefidi and N. Aliasgharzadah. 2011. Effect of different landforms on spatial variability and frequency distribution of soil biological properties in Tabriz plain. Water Soil Sci. 21(4): 35–52. (In Farsi).
11. Garcia Orenes, F., A. Roldan, C. Guerrero, J. Mataix Solera, J. Navarro Pedreno, I. Gomez and J. Mataix Beneyto. 2007. Effect of irrigation on the survival of total coliforms in three semiarid soils after amendment with sewage sludge. Waste Manage. 27(12): 1815–1819.
12. Ghaffari, M., G. Ahmadvand, M. Ardakani, M.R. Mosaddeghi, F. Yeganehehpoor, M. Gaffari and M. Mirakhori. 2012. Effect of cover crop residues on some physicochemical properties of soil and emergence rate of potato. Crop Ecophysiol. 6(21): 79–90 (In Farsi).
13. Gil-Sotres, F., C. Trasar-Cepeda, M.C. Leiros and S. Seoane. 2005. Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties. Soil Biol. Biochem. 37: 877–887.
14. Gregorich, E.G., M.R. Carter., J.W. Doran, C.E. Dankhyrst and L.M. Dwyer. 1997. Biological attributes of soil quality. pp. 81–104, In: E. G. Gregorich and M. R. Catrer (eds.), Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health. Developments in Soil Science. Canada, New York,
15. Jannoura, R., R. Georg Joergensen and C. Bruns. 2014. Organic fertilizer effects on growth, crop yield, and microbial biomass indices in sole and intercropped peas and oats under organic farming conditions. Eur. J. Agron. 52: 259–270.
16. Jenkinson, D.S. and J.N. Ladd. 1981. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. pp. 415–417, In: E.A. Powl and J.N. Ladd (eds.), Soil Biochemistry. Dekker, New York.
17. Karimi, A., H. Khodaverdiloo, M.H. Rasooli Sadaghiani and S. Khajavi. 2018. Changes of microbial indices of inoculated fungi and bacteria at *Hyoscyamus niger L.* rhizosphere at different levels of soil lead (Pb) pollution. Iranian J. Soil Water Res. 49(1): 59–69. (In Farsi).
18. Kazemalilou, S., M.H. Rasouli-Sadaghiani, H. Khodaverdiloo and M. Barin. 2013. Soil Cd contamination and evaluation of its effects on soil biological quality and plant growth. Appl. Soil Res. 1(1): 17–27. (In Farsi).
19. Lewandowski, A. and M. Zumwinkle. 1999. Assessing the soil system a review of soil quality literature. Minnesota Department of Agriculture, Energyand Sustainable Agriculture Program: St. Paul, Minnesota.
20. Lin, Y.J., F. Gao, J.L. Zhang, L.Y. Zhou, X.M. Zhang, B.L. Li, H.J. Zhao and X.D. Li. 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.
21. Luo, Y. and X. Zhou. 2006. Soil Respiration and the Environment. pp.328, Academic press.
22. Meyer, J.R and R.G. Linderman. 1986. Response of subterranean clover to dual inoculation with vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and a plant growth-promoting bacterium, *Pseudomonas putida*. Soil Biol. Biochem. 18: 185–190.

23. Ndakidemi, P.A. 2006. Manipulating legume/cereal mixtures to optimize the above and below ground interactions in the traditional African cropping systems. Afr. J. Biotechnol. 5: 2526–2533.
24. Oelbermann, M., A. Regehr and L. Echarte. 2015. Changes in soil characteristics after six seasons of cereal-legume intercropping in the Southern Pampa. Geoderma Reg. 4: 100–107.
25. Ouma, G. and P. Jeruto. 2010. Sustainable horticultural crop production through intercropping: The case of fruits and vegetable crops: A review. Agr. Biol. J. N. Am. 1(5): 1098–1105.
26. Rivest, D., A. Cogliastro, R.L. Bradley and A. Olivier. 2010. Intercropping hybrid poplar with soybean increases soil microbial biomass, mineral N supply and tree growth. Agrofor. Sys. 80: 33–40.
27. Tang, X., L. Bernard, A. Brauman, T. Daufresne, P. Deleporte, D. Desclaux, G. Souche, S.A. Placella and P. Hinsinger. 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.
28. Vahedi, R., M.H. Rasouli Sadaghiani and M. Barin. 2019. The effect of fruit trees pruning waste biochar on some soil biological properties under rhizobox conditions. J. Water Soil Sci. 23 (1): 321–336 (In Farsi).
29. Vahedi, R., M.H. Rasouli-Sadaghiani and M. Barin. 2019. Evaluation of the qualitative characteristics of the treated calcareous soils with compost and biochar in the presence of plant growth promoting bacteria. Iran. J. Soil Water Res. 50(2): 259–272 (In Farsi).
30. Walker, S. and H.O. Ogindo. 2003. The water budget of rainfed maize and bean intercrop. Phys. Chem. Earth 28: 919–926.
31. Zarea, M.J., N. Karimi, E. Mohammadi Goltapeh and A. Ghalavand. 2011. Effect of cropping systems and arbuscular mycorrhizal fungi on soil microbial activity. J. Saudi Soc. Agric. Sci. 10: 109–120.
32. Zougmor, R., F.N. Kambou, K. Ouattara and S. Guillobez. 2000. Sorghum–cowpea intercropping: An effective technique against run off and soil erosion in the Sahel (Saria, Burkina faso). Arid Soil Res. Rehab. 14: 329–342.

Evaluation of Some Soil Quality Indices as Influenced by the Intercropping Patterns of Bean and Moldavian Balms, and Microbial Inoculation

M. Bagheri[1], M.H. Rasouli-Sadaghiani[1*], M. Barin[1] and E. Rezaei[2]

(Received: 10 March 2020; Accepted: 28 October 2020)

Abstract

Intercropping under microbial inoculation has been suggested as a method to improve the soil quality indices. The objective of this study was to evaluate the effect of microbial inoculation on some soil quality indices of moldavian balms- and bean-planted soils in sole cropping and intercropping. This experiment was carried out in the form of a factorial based on a randomized complete block design with three replications in greenhouse condition. Studied factors were microbial inoculation (AMF, PGPR, AMF+PGPR and without microbial inoculation) and planting patterns (sole cropping of moldavian balms and bean, 1 row moldavian balms + 1 row bean (1:1), 2 row moldavian balms + 2 row bean (2:2), 2 row moldavian balms + 1 row bean (2:1) and 1 row moldavian balms + 2 row bean (1:2)). At the end of the growth period, microbial respiration (BR), substrate-induced respiration (SIR), microbial biomass carbon (MBC), metabolic quotient (qCO_2) and carbon availability index (CAI) in moldavian balms- and bean-planted soils were determined. The results showed that the intercropping patterns and microbial inoculation had a significant effect on all soil quality indices, in moldavian balms and bean plantation. The BR and SIR in the 2:1 intercropping moldavian balm under PGPR+AMF inoculation were measured to be 1.21 and 1.17 times higher than those of sole cropping, respectively. The 2:1 intercropping with PGPR+AMF inoculation increased MBC by 1.11 and 1.24 times, as compared to sole cropping of bean- and moldavian balm-planted soils, respectively. Different intercropping patterns and microbial inoculation increased soil CAI and decreased qCO_2. In general, the application of intercropping and the potential use of microorganisms could improve the soil quality indices.

Keywords: Sustainable agriculture, Soil biological indices, Microorganisms, Intercropping.

1. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.
2. Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.
* Corresponding Author, Email: m.rsadaghiani@urmia.ac.ir