شانزدهمین کنگره علوم خاک ایران

دانشگاه زنجان، ۵ تا ۷ شهریور ۱۳۹۸

محور مقاله: گرد و غبار، مسائل زیست‌محیطی و مهار آن

ارزیابی کارایی برخی سیانوباکترهای بومی ایران در کنترل فرسایش بادی

رویا سلیم‌زاده[۱] ، احمدعلی پوربابایی[۲*] ، منوچهر گرجی[۳]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

[۲] دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

[۳] استاد گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

چکیده

سیانوباکترها جزو پروکاریوت‌های فتوسنترکننده بوده و توانایی سازش با شرایط سخت محیطی را دارند. این موجودات در محیط‌های خشک، ترکیب غالب پوسته‌های زیستی را تشکیل می‌دهند. سیانوباکترها از طریق غنی‌سازی خاک با مواد آلی، بهبود فعّالیت زیستی و ترشح پلی‌ساکاریدهای خارج سلولی باعث پایداری خاکدانه و کاهش فرسایش می‌شوند. هدف کلّی این پژوهش ارزیابی کارایی سیانوباکترهای *Phormidium autumnale* و *Trichocoleus desertorum* در تثبیت خاک و کاهش فرسایش بادی در شرایط آزمایشگاهی توسط تونل باد بود. به این منظور ابتدا آزمایشی بر اساس طرح کاملاً تصادفی و با چهار تیمار (۱- شاهد ۲- تلقیح‌شده با سیانوباکتر *فورمیدیوم* ۳- تلقیح‌شده با سیانوباکتر *تریکوکولئوس* ۴- تلقیح‌شده با ترکیب دو سیانوباکتر) در سه تکرار طراحی شد. سیانوباکترها در حجم مورد نیاز تکثیر و مایه تلقیح سیانوباکتریایی همگنی تهیه و به طور یکنواخت به سطح خاک پاشیده شد. پس از گذشت هفت ماه برخی تجزیه‌های شیمیایی، زیستی و آزمایش تونل باد انجام گرفت. تأثیر مایه تلقیح سیانوباکتریایی در مقدار کربن آلی خاک و تنفس خاک معنی‌دار بود. در آزمایش تونل باد، تیمار مخلوط دو سیانوباکتر (۹۷/۰۲ ٪) و تیمار *فورمیدیوم* (۹۰/۰۸ ٪) کاهش هدر رفت خاک نسبت به شاهد داشتند. با توجه به نتایج به‌دست آمده، سیانوباکتر *Phormidium autumnale* به‌عنوان یک ریزجاندار مؤثّر برای تشکیل پوسته در راستای کاهش فرسایش بادی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی : ریزجانداران تثبیت‌کننده خاک، پوسته زیستی، تونل باد

مقدمه

یکی از مهم‌ترین مسائل و مشکلات مناطق خشک و نیمه خشک، فرسایش بادی، طوفان‌های شن و پدیده گرد و غبار می‌باشند که در دهه-های گذشته به دلیل تخریب اراضی و بیابان زایی، در بیشتر مناطق خشک جهان تشدید یافته و به یک معضل بزرگ در این مناطق تبدیل شده و اثرات زیست محیطی بسیار مخرّبی را به وجود آورده‌اند. لذا توجه و سرمایه‌گذاری بر روی این پدیده و ارائه راهکارهایی برای حل این معضل و تثبیت خاک مناطق فرسایش‌پذیر ضروری می‌باشد. تاکنون برای کنترل و تثبیت خاک‌ها، روش‌های فیزیکی و شیمیایی بسیاری معرّفی و استفاده گردیده است. از جمله مصرف مواد شیمیایی پلیمر، مالچ‌های نفتی و غیره. بسیاری از این روش‌ها یا از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نمی‌باشند یا مانند کاربرد مواد شیمیایی، پیامدهای خطرناکی برای محیط زیست داشته‌اند. در زیست بوم‌های خشک و نیمه خشک، جوامع ریزجانداران خاصّی از قبیل جلبک، قارچ، سیانوباکتری و خزه وجود دارند که قادر به سازگاری با شرایط سخت چنین زیستگاه‌هایی هستند. مجموعه این ریزجانداران در نسبت‌های مختلف بر روی سطح خاک یا داخل چند میلی‌متر فوقانی خاک زندگی می‌کنند که ذرّات پراکنده خاک به واسطه حضور و فعّالیت این موجودات زنده، به همدیگر متصل می‌شوند و در نتیجه به صورت یک لایه منسجم سطح زمین را می‌پوشانند. تمام مطالعات نشان داده است که پوسته‌های زیستی خاک نقش معنی‌داری در کاهش از دست رفتن خاک بوسیله باد دارند. هرچه میزان توسعه و پیشرفت پوسته بیشتر باشد، به همان اندازه محافظت در برابر فرسایش بادی بیشتر می‌شود (بلنپ، ۲۰۰۱). یکی از تکنیک‌های جدید در راستای تشکیل پوسته‌های زیستی، کاربرد سیانوباکترها به عنوان جزء اصلی پوسته‌ها در تشکیل آنها در مناطق بیابانی است. سیانوباکترها توانایی رشد در تمام محیط‌ها و توانایی سازش با شرایط محیطی را دارند. این موجودات در محیط‌های خشک ترکیب غالب پوسته‌های زیستی را تشکیل می‌دهند. سیانوباکترها از طریق غنی‌سازی خاک با مواد آلی، بهبود فعّالیت زیستی و ترشّح پلی‌ساکاریدهای خارج سلولی باعث پایداری خاکدانه و کاهش فرسایش می‌شوند (چان هو پارک و همکاران، ۲۰۱۷). مواد آلی و پلی‌ساکاریدهای خارج سلولی به عنوان عامل پیوند ذرّات خاک عمل می‌کنند (نیشا و همکاران، ۲۰۰۷). هدف کلی این پژوهش ارزیابی کارایی سیانوباکترهای *Phormidium autumnale* و *Trichocoleus desertorum* در تثبیت خاک و کاهش فرسایش بادی در شرایط آزمایشگاهی توسط تونل باد بود.

* ایمیل نویسنده مسئول : pourbabaei@ut.ac.ir

مواد و روشها:

محل مورد مطالعه:

نمونـه‌برداری خاک از مناطق بیابانی اطراف شهر کاشان از منطقه ابوزیدآباد به مختصات N "۰۱/۱ '۵۷ °۳۳ و E "۱۴/۵ '۴۲ °۵۱ انجام شد. منطقه مورد مطالعه دارای میانگین بارندگـی سالیانه کمتر از ۱۵۰ میلی متر و متوسط دمای هوا ۱۹ درجـه سانتی‌گراد می‌باشد. نمونـه‌های خاک از عمق ۰ تا ۱۰ سانتی‌متری تهیه شد.

نتایج تجزیه اولیه نمونه خاک:

پس از انتقال نمونه ها به آزمایشگاه، تجزیه اولیه نمونه‌های خاک پس از هوا خشک شدن و عبور از الک ۲ میلی‌متری انجام و برخی خصوصیات فیریکی و شیمیایی خاک اولیه اندازه‌گیری شد. (جدول ۱)

جدول ۱ - نتایج تجزیه اولیه نمونه خاک

شن (٪)	سیلت (٪)	رس (٪)	بافت خاک	وزن مخصوص (گرم بر سانتیمترمکعب)	EC (دسی زیمنس بر متر)	pH	نیتروژن (٪)	ماده آلی (٪)
۸۸	۲	۱۰	شن لومی	۱/۶	۱۶/۲۴	۷/۴۳	۰/۰۲۵	۰/۲۴

تهیه زادمایه سیانوباکتریایی:

سیانوباکترهای مورد استفاده در این طرح توسط اعتمادی‌خواه و همکاران (۲۰۱۷) از خاک‌های فوق شور پارک ملی کویر واقع در دشت کویر جداسازی و شناسایی شده بود. ابتدا برای تهیه کشت تازه، سیانوباکترها در پلیت‌های حاوی محیط BG11 (ریپکا و همکاران، ۱۹۷۹) به مدت ۱۵ روز در دمای ۲۵-۲۲ درجه سانتی‌گراد، لامپ‌های فلورسنت سفید با نور ۵-۳ کیلولوکس و دوره روشنایی، تاریکی ۱۲/۱۲ کشت شدند(اعتمادی‌خواه و همکاران، ۲۰۱۷). برای تهیه زاد مایه سیانوباکتریایی ۵ پلاگ (مربع ۰/۵ در ۰/۵) از سیانوباکترهای رشد یافته در این محیط، به ارلن‌های ۲۵۰ میلی-لیتری حاوی محیط مایع BG11 بهینه‌سازی شده اضافه و به مدت دو هفته در دما و شرایط نوری ذکر شده کشت شدند. پس از رشد کافی، به ارلن-های بزرگ‌تر منتقل و در تمام مراحل رشد توسط پمپ هوا، هوا دهی شدند (فوگ و همکاران، ۱۹۷۹) و (شوبین و همکاران، ۲۰۱۵). برای سنجش زیست‌توده سیانوباکتریایی ابتدا وزن کاغذهای صافی واتمن ۴۲ اندازه‌گیری شد و سپس سوسپانسیون حاوی سیانوباکتر رشد یافته از کاغذ صافی عبور داده شد. جهت تعیین وزن خشک، صافی های حاوی زیست‌توده تر به مدت ۱۲ ساعت در آون با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. سپس وزن کاغذ صافی و سیانوباکتر اندازه‌گیری و از تفاضل آنها وزن زیست‌توده خشک سیانوباکتریایی تعیین گردید. میانگین وزن خشک به دست آمده از هر لیتر سوسپانسیون حاوی سیانوباکتر *فورمیدیوم* ۰/۲ گرم در لیتر و *تریکوکولئوس* ۰/۳۵ گرم در لیتر بود.

آماده سازی وتیمار نمونه های خاک:

این آزمایش بر اساس طرح کاملاً تصادفی و با چهار تیمار، شاهد (C)، تلقیح شده با سیانوباکتر *فورمیدیوم* (F)، تلقیح شده با سیانوباکتر *تریکوکولئوس* (T) و ترکیب دوجنس (M) در سه تکرار انجام شد.

برای انجام آزمایش، سینی‌هایی به طول یک متر و عرض ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۵ سانتی‌متر طراحی و ساخته شد. خاک پس از عبور از الک دو میلی متری داخل سینی‌ها پر و سطح آن کاملاً تسطیح شد. مایه تلقیح جلبکی یکنواختی با غلظت ۰/۵ گرم در لیتر تهیه (برای همگن سازی مایه تلقیح از همزن برقی استفاده شد) و در شش نوبت به فاصله یک هفته به سطح خاک داخل سینی‌ها اسپری شد. سینی‌ها به مدت ۵ ماه در گلخانه تحقیقاتی در نور ۳۰۰۰ لوکس و دمای ۳۰-۲۵ و به مدت ۲ ماه در فضای آزاد نگهداری و هفته‌ای یک بار آبیاری شد.

آزمایش های انجام شده در پایان دوره:

پس از این دوره نمونه برداری از خاک تیمار شده از عمق ۰-۱۰ میلیمتری برای اندازه‌گیری کربن آلی و تنفس خاک انجام شد.

اندازه‌گیری کربن آلی خاک به روش والکی و بلک(پیج و همکاران، ۱۹۸۲) و تنفس پایه خاک به روش تیتراسیون و از طریق اندازه‌گیری مقدار سود باقی‌مانده (اوهلینگر، ۱۹۹۶) انجام شد.

اندازه‌گیری هدررفت خاک در فرسایش بادی توسط دستگاه سنجش فرسایش بادی (تونل باد) صورت گرفت(اختصاصی، ۱۳۷۱). به این صورت که بعد از قرار دادن سینی داخل تونل(سه تکرار برای هر تیمار)، سرعت باد از مقادیر کم به تدریج افزایش داده تا ۱۰ متر بر ثانیه در ارتفاع ۱۰ سانتی-متری(معادل ۶۸/۴ کیلومتر در ساعت در ارتفاع ۱۰ متر) افزایش یافت و در این سرعت ثابت، وزش باد به مدّت ۲ دقیقه ادامه یافت و جرم رسوب جمع آوری شده در این مدت اندازه‌گیری شد و شدّت فرسایش بادی با استفاده از جرم رسوب تولیدی و سطح در معرض فرسایش و مدّت هر رخداد برحسب گرم در متـرمربـع بر دقیـقه محاسبه گردید.

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل‌های آماری به کمک نرم‌افزار SAS انجام و برای مقایسه میانگین تیمارها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد استفاده شد.

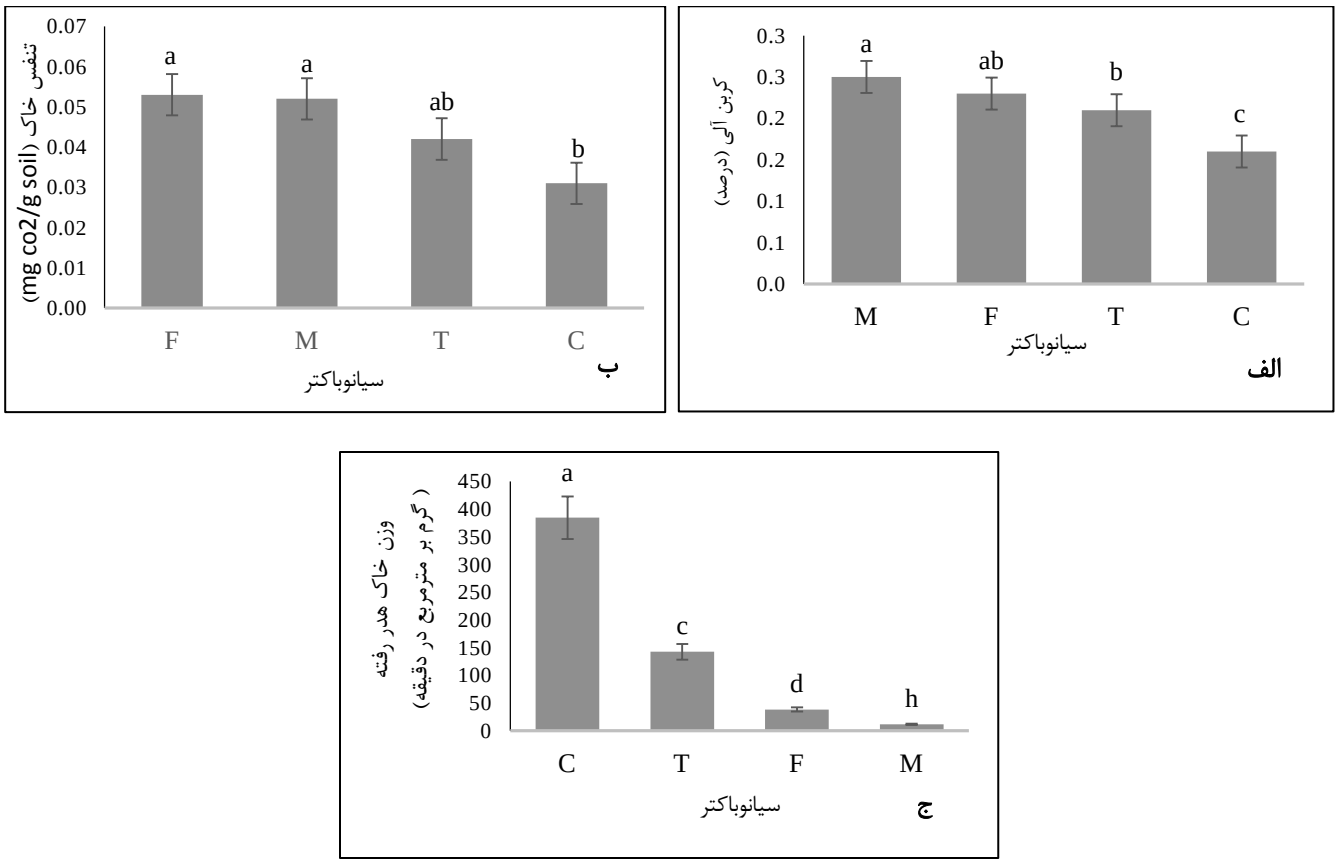
نتایج و بحث:

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که مقدار کربن آلی در تیمار مخلوط سیانوباکترها ۵۶/۲۵ درصد، در تیمار *فورمیدیوم* ۴۳/۷۵ درصد و در تیمار *تریکوکولئوس* ۳۱/۲۵ درصد نسبت به شاهد افزایش داشته‌اند. تأثیرتلقیح سیانوباکترها بر مقدار کربن آلی خاک معنی دار بود (شکل ۱).

طبق مقایسه میانگین داده‌ها بیشترین میزان تنفس خاک (۰/۰۵۳ میلی‌گرم دی‌اکسیدکربن در هر گرم خاک) و کمترین مقدار (۰/۰۳۱ میلی‌گرم دی‌اکسیدکربن در هر گرم خاک) به ترتیب در تیمارهای *فورمیدیوم* و شاهد مشاهده شد که تیمار تلقیح شده با سیانوباکتر *فورمیدیوم* ۷۰/۹۶ درصد نسبت به شاهد افزایش از خود نشان داد (شکل ۱).

جدول ۳ - تجزیه واریانس تأثیر تلقیح سیانوباکتر برکاهش هدر رفت خاک در فرسایش بادی

		میانگین مربعات
منبع تغییرات	درجه آزادی	هدر رفت خاک
سیانوباکتر	۳	۱۴۳۳۶/۷ **
خطا	۶	۴۶/۱
CV (درصد)		۱۰/۶۱



شکل ۱ – مقایسه میانگین تأثیر تلقیح سیانوباکتر بر میزان کربن آلی خاک (الف) ، تنفس خاک (ب) ، وزن خاک هدر رفته (ج)
(میانگین های با حروف مشابه اختلاف آماری معنی داری با هم ندارند)

با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها تأثیر استفاده از سیانوباکترها برکاهش میزان هدررفت خاک تحت تأثیر باد در سطح یک درصد معنی-دار می‌باشد (جدول ۳).

تغییرات میزان خاک از دست رفته با استفاده از مقایسه میانگین داده‌ها بررسی و مشاهده شد که کمترین مقدار خاک از دست رفته در تیمار مخلوط سیانوباکترها و بیشترین مقدار آن در تیمار شاهد مشاهده شد. به طوری که در تیمار مخلوط دو سیانوباکتر (۹۷/۰۲٪) و در تیمار *فورمیدیوم* (۹۰/۰۸٪) کاهش هدررفت خاک نسبت به شاهد دیده شد (شکل ۱).

مطالعات انجام شده نشان داده‌اند که سیانوباکترها از طریق تولید و ترشّح متابولیت‌های خارج سلولی (موگنای و همکاران ۲۰۱۷) و همچنین از طریق تثبیت کربن (بلنپ و همکاران، ۲۰۰۱) باعث افزایش سطح کربن آلی خاک می‌شوند. همچنین وضعیت میکروبی خاک، تحت تأثیر رطوبت و مواد آلی و فراهمی عناصر غذایی در خاک قرار می‌گیرد. به طور مثال در خاک‌های بیابانی، توزیع جمعیت میکروبی خاک با توزیع ماده آلی همبستگی مثبت دارد (بلنپ، ۲۰۰۳). پلی‌ساکاریدهای خارج سلولی ناشی از سیانوباکتری در بسیاری موارد لایه‌های لزج در اطراف سلول‌ها تشکیل می‌دهند که می‌توانند آب را جذب و از هدر رفت آن در خاک جلوگیری کنند. این حفظ رطوبت و فراهم کردن آب در دسترس در ایجاد زیستگاه مناسب برای جوامع میکروبی خاک نقش بسزایی دارد (ژیو و همکاران، ۲۰۱۲). پس می‌توان نتیجه گرفت که سیانوباکترها با جذب آب می‌توانند آثار مثبتی بر خصوصیات خاک داشته و انتظار می‌رود افزایش زیست‌توده سیانوباکترها توانایی جذب آب را در خاک افزایش دهد (بلنپ و همکاران، ۲۰۰۶).

تنفس میکروبی فرآیند تولید دی‌اکسیدکربن در نتیجه متابولیسم موجوداتی مثل باکتری‌هاست. مقدار تنفس همانند جمعیت میکروبی به مقدار ماده آلی، رطوبت، دما، قابلیت دسترسی عناصر غذایی و ساختمان خاک بستگی دارد و با افزایش عمق میزان تنفس کاهش می‌یابد.

در این آزمایش نیز احتمالاً افزایش ماده آلی در نتیجه ترشح متابولیت‌های سیانوباکترها و تثبیت کربن می‌باشد که باعث افزایش جمعیت ریزجانداران خاک شده و در نتیجه تنفس خاک افزایش یافت و با گذشت زمان می‌تواند این روند ادامه پیدا کرده و باعث افزایش بیشتر ماده آلی و جمعیت هتروتروف‌های خاک و فعّالیت متابولیکی این گروه شود.

بررسی تغییرات میزان هدررفت خاک نشانگر تأثیر مثبت سیانوباکترها در کاهش هدررفت خاک بود و نشان داد که سیانوباکترها با ترشح متابولیت-های خارج سلولی باعث به‌هم چسبیدن ذرّات خاک سطحی، تثبیت خاک و در نتیجه کاهش هدررفت خاک شده‌اند.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق افزودن مایه تلقیح سیانوباکتریایی بر خاک شنی، برخی از خصوصیات خاک مانند مقدار کربن آلی خاک و تنفس را تحت تأثیر قرار داده و همچنین باعث کاهش هدررفت خاک در آزمایش تونل باد شد که از این نظر حائز اهمیت می‌باشد.

در واقع سیانوباکترها باعث افزایش کربن آلی خاک شدند که یک عامل بسیار مهم در مناطق خشک و نیمه خشک به حساب می‌آید. افزایش مقدار کربن آلی خاک از نظر پایداری خاک و بهبود ساختمان آن اهمیت دارد. همچنین منبع غذایی برای ریزجانداران خاک بوده و باعث فراهمی عناصر غذایی برای ریزجانداران خاک می‌شود. در نتیجه باعث افزایش جمعیت میکروبی و میزان تنفس خاک می‌شود. در اثر افزایش جمعیت و فعّالیت ریزجانداران خاک انتظار می‌رود که چرخه عناصر غذایی ادامه یافته و باعث افزایش بیشتر ماده آلی خاک شود.

با توجه به نتایج آزمایشات انجام گرفته، تیمارهای مخلوط دو سیانوباکتر و جنس *فورمیدیوم* تأثیر بیشتری بر بهبود خصوصیات خاک و کاهش فرسایش بادی داشته است. در این بین سهم سیانوباکتر *فورمیدیوم* خیلی بیشتر از جنس *تریکوکولئوس* بود و *فورمیدیوم* می‌تواند به عنوان یک ریزجاندار مؤثّر برای تشکیل پوسته در خاک‌های تحت تأثیر فرسایش بادی مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

اختصاصی، م. ۱۳۷۱. گزارش طراحی و ساخت دستگاه سنجش فرسایش بادی. مجموعه مقالات اولین سمینار بررسی مسائل بیابانی و کویری کشور. دانشگاه تهران.

Belnap, J., Lange, O.L. 2001. Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management; With 30 Tables. Springer Science & Business Media.

Belnap, J., Phillips, S.L., Troxler, T., 2006. Soil lichen and moss cover and species richness can be highly dynamic: the effects of invasion by the annual exotic grass Bromus tectorum and the effects of climate on biological soil crusts. Applied Soil Ecology 32: 63-76.

Etemadi-Khah A. , Pourbabaee A. , Alikhani H. , Noroozi M. & Bruno L. 2017. Biodiversity of Isolated Cyanobacteria from Desert Soils in Iran. Geomicribiology Journal. 34: 784-794

Fogg GE, Stewart WDP, Fay P, Walsby AE. 1973. The blue–green algae. Academic Press, London, New York.

Mugnai, G., Rossi, F., Felde, V. J. M. N. L., Colesie, C., Büdel, B., Peth, S., Kaplan, A., De Philippis, R. 2017. Development of the polysaccharidic matrix in biocrusts induced by a cyanobacterium inoculated in sand microcosms. Biology and Fertility of Soils, 1-14.

Nisha, R., Kaushik, A., and Kaushik, C.P. 2007. Effect of indigenous cyanobacterial application on structural stability and productivity of an organically poor semi-arid soil. Geoderma, 138: 49–56.

Ohlinger, R. 1996. Soil respiration. In: Page AL, Miller RH, Keeney DR (Eds) References Methods of soil analysis, part 2. Am Soc Agron, Soil Sci Soc Am, Madison, Wisconsin, pp.831-871.

Page AL, Miller RH, Keeney DR. 1982. Methods of soil analaysis. USA.

Rippka R, Deruelles J, Waterbury JB, Herdman M, Stanier RY. 1979. Journal of General Microbiology, 111: 1-61.

Park C-H, Li XR, Zhao Y, Jia RL, Hur J-S (2017) Rapid development of cyanobacterial crust in the field for combating desertification. PLoS ONE 12(6): e0179903

Shubin Lan, Li Wu, Delu Zhang, Chunxiang Hu (2015) Effects of light and temperature on open cultivation of desert cyanobacterium *Microcoleus vaginatus*. Bioresource Technology 182: 144-150.

Xu, Y., Rossi, F., Colica, G., Deng, S., De Philippis, R., Chen, L. 2012. Use of cyanobacterial polysaccharides to promote shrub performances in desert soils: a potential approach for the restoration of desertified areas. Biol. Fertil. Soils 49: 143-152.

16th Iranian Soil Science Congress

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

Topic for submission: Dust, Environmental Problems and Controlling Methods

Evaluation efficiency of some Iranian native cyanobacteria on wind erosion control

Salimzadeh Roya[1], pourbabaee Ahmad Ali[2*], Gorji Manouchehr[3]

[1] M. Sc. Student, Department of Soil Science, College of Agricultural & Natural Resources, University of Tehran

[2] Associate Prof., Department of Soil Science, College of Agricultural & Natural Resources, University of Tehran

[3] Professor, Department of Soil Science, College of Agricultural & Natural Resources, University of Tehran

Abstract

Cyanobacteria belong to photosynthetic prokaryote microorganisms and enable to adapt to severe environmental conditions. These organisms form the dominant component of the biological crust in dry environments. Cyanobacteria, by enriching the soil with organic matter, improving bioactivity and secreting extracellular polysaccharides, enhance the soil aggregate stability and reduce the soil erosion. This research was conducted to assess the effectiveness of cyanobacteria *Phormidium autumnale* and *Trichocoleus desertorum* on soil stabilization and reduce the wind erosion in the laboratory by wind tunnel. A completely randomized design experiment with four treatments was used with treatments of (1- control, 2- inoculated with *Phormidium*, 3- inoculated with *Trichocoleus*, and 4- inoculated with a mixture of two cyanobacter), and three replications. Cyanobacteria were produced in the required volume. The homogeneous cyanobacterial inoculant sprayed uniformly on the soil surface. After seven months some chemical, biological analyses and wind tunnel test were performed. The effect of cyanobacterial inoculant on organic carbon content and soil respiration was significant. Soil loss in the mixed treatment (97.02%) and in the *phormidium* treatment (90.08%), was less than control in wind tunnel test. According to the results, *Phormidium autumnale* is recommended as an effective microorganism for biocrust formation in order to reduce wind erosion.

Keywords : Soil stabilizer microorganisms, Biocrust, Wind tunnel.

Corresponding author, Email: pourbabaei@ut.ac.ir *