مجله ترویجی مدیریت پایدار جنگل‌های هیرکانی، دوره ۴، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۱، صفحات: ۳۵- ۲۹

معرفی شاخص‌های زیستی مناسب جهت پایش کیفیت و سلامت خاک بوم‌سازگان‌های جنگلی

مهرداد زرافشار[۱]، مریم تیموری[*۲]

[۱] استادیار پژوهش، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

[*۲] استادیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران mteimouri@rifr-ac.ir

چکیده

کیفیت و سلامت خاک‌های جنگلی به تغییرات اقلیمی و دخالت‌های انسانی بستگی دارد. بوم‌سازگان‌های جنگلی با کارکردهای صحیح دارای خاک حاصل‌خیز و سالم هستند. ساختار و عملکرد جمعیت‌های میکروبی خاک نقش مهمی در کیفیت خاک‌های جنگلی دارند. لذا سنجش و پایش آنها با تکیه بر شاخص‌های کارآمد و قابل اعتماد می‌تواند اطلاعات مفیدی ارائه دهد تا برآیند اثر تغییرات اقلیمی و یا دخالت‌های مدیریتی صحیح‌تر قضاوت گردد. در این مقاله، شاخص‌های تنفس میکروبی پایه، تنفس میکروبی برانگیخته به انضمام کربن و نیتروژن موجود در زی‌توده میکروبی مورد بحث و تحلیل قرار گرفته است. همچنین تکنیک جدید MicroResp که اطلاعات ارزشمندی در رابطه با پروفایل متابولیکی و فیزیولوژیکی خاک ارائه داده، مورد معرفی و بحث قرار گرفته است. در نهایت لزوم انجام مطالعات سنجش و پایش کیفیت خاک‌های جنگلی شمال ایران با تکیه بر شاخص‌های زیستی معرفی شده بعد از هرگونه دخالت‌های مدیریتی یا آشفتگی‌های طبیعی توصیه شده است.

واژگان کلیدی: تنفس میکروبی، حاصلخیزی خاک، جمعیت‌های میکروبی، زی‌توده میکروبی، MicroResp

بیان مسأله

خاک هسته اصلی تمام بوم‌سازگان‌های زمینی محسوب می‌شود. بنابراین بیشتر دانشمندان و محققین معتقدند که سلامت خاک باید همواره مورد پایش و ارزیابی قرار گیرد، ولی نکته مهم این است که کدام صفات خاک می‌توانند بیشترین و معتبرترین اطلاعات را در اختیار ما قرار دهند. خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک دارای پیچیدگی‌های خاصی بوده ولی چون خصوصیات زیستی در انواع فعل و انفعالات خاک نقش دارند، بنابراین می‌توانند اطلاعات جامع، مفید و قابل اعتمادی ارائه دهند و به‌عنوان شاخص منطقی مورد توجه قرار گیرند. در این بین تنوع زیستی میکروارگانیسم‌های خاک نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است چرا که تمامی خدماتی که خاک به جوامع انسانی ارائه می‌کند به نوعی به تنوع و فراوانی میکروب‌های خاک بستگی دارد، در حالی‌که فعالیت‌های انسانی همچون آلودگی، شوری آب و خاک و تغییرات اقلیم حیات آن‌ها را تهدید می‌کند (Gardi *et al.*, 2013).

از آنجایی که میکروارگانیسم‌های خاک می‌توانند در کوتاه مدت نسبت به تغییرات اقلیمی و یا رویکردهای مدیریتی سازگار شوند. بنابراین مطالعه آنها می‌تواند ابزاری کلیدی برای پایش خاک‌های جنگلی باشد. برای دستیابی به روش‌های مدیریتی صحیح در بوم‌سازگان‌های جنگلی نیاز است که تنوع میکروارگانیسم‌های خاک و فعالیت آنها ارزیابی شود. مطالعه دقیق تنوع باکتری‌ها و قارچ‌های خاک با تکیه بر روش‌های مولکولی از جمله توالی‌یابی بسیار پرهزینه است بنابراین باید با روش و شاخص‌های قابل اعتماد قابل دسترس و به‌صرفه اقتصادی، تنوع و ساختار جوامع میکروبی تخمین زده شود.

جوامع میکروبی خاک نقش بسیار مهمی در تجزیه و پایدارسازی مواد آلی در خاک و همچنین معدنی‌کردن مواد مغذی آن داشته و به واسطه تنوع زیاد، خدمات بسیار مهمی در خاک ارائه می‌کنند. تنوع، ساختار و فعالیت جوامع میکروبی خاک به نوع کاربری زمین، میزان مواد آلی خاک، اسیدیته خاک (Creamer *et al.*, 2016)، نوع گونه گیاهی (Gartzia Bengoetxe *et al.*, 2016) و برخی عوامل دیگر مانند رطوبت خاک بستگی دارد (Pailler *et al.*, 2014).

بوم‌سازگان‌های جنگلی ایران به‌واسطه پدیده گرمایش جهانی با پیامدهای تغییرات اقلیمی روبرو هستند. این در حالی است که مدیریت‌های غیراصولی، تخریب‌های انسانی، حضور دام، تغییرکاربری‌ها و آلودگی‌های آب و خاک تاب‌آوری این بوم‌سازگان‌های ارزشمند را کاهش داده است. بی‌شک هر گونه تخریب در بوم‌سازگان جنگل می‌تواند سبب تغییر در سلامت و کیفیت خاک شود که به‌نوبه خود سبب اثرات سوء بر جمعیت‌های میکروبی خاک می‌شود. موارد یاد شده نشان دهنده ضرورت و اهمیت سنجش و پایش خاک‌های جنگلی با استفاده از شاخص های مناسب و کاربردی است. در این مقاله برخی از شاخص‌های زیستی خاک که می‌توانند اطلاعات معتبر و جامعی در مورد وضعیت کیفیت و سلامت خاک‌های جنگلی ارائه دهند معرفی و مورد بحث قرار گرفته است.

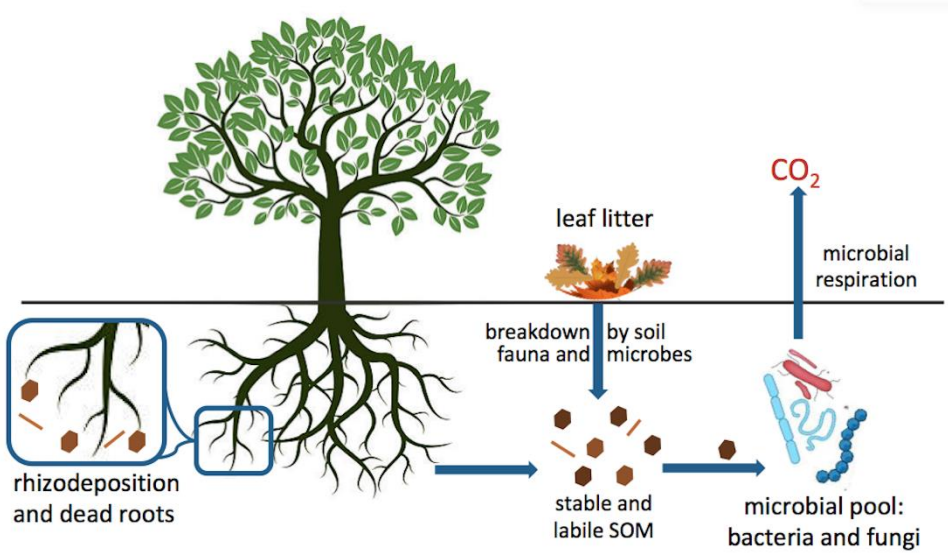
دستاوردها

تنفس میکروبی خاک

چرخه کربن نقش حیاتی در عملکرد خاک دارد (شکل ۱). میزان دی‌اکسید کربنی که از خاک آزاد می‌شود نتیجه فعالیت جوامع زیستی خاک بوده و می‌تواند به‌عنوان یک شاخص مناسب در شناخت چرخه کربن خاک مورد استفاده قرار گیرد.. تنفس میکروبی (تنفس خاک) با اندازه‌گیری دی‌اکسید کربن منتشر شده توسط میکروارگانیسم‌های خاک در طی تجزیه مواد آلی پایش می‌شود. اندازه‌گیری تنفس خاک در شرایط آزمایشگاهی و شرایط صحرایی (شکل ۲) صورت می‌گیرد. بنابراین تنفس خاک در شرایط صحرایی حاصل فعالیت ماکرو و میکروارگانیسم‌های خاک و ریشه گیاهان و در شرایط آزمایشگاهی به‌طور مطلق ناشی از فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک است. CO_2 تولیدی، توسط گیاهان جذب و به ترکیبات آلی در فرآیند

فتوسنتز تبدیل می‌شود. تنفس میکروبی پایه (تنفس خاک) یکی از شاخص‌های مهم در پایش خاک است، زیرا نشان دهنده میزان فعالیت میکروبی، ماده آلی و میزان تجزیه آن می‌باشد. به‌علاوه با اندازه‌گیری میزان تنفس میکروبی خاک می‌توان اطلاعات ارزشمندی در رابطه با تنوع، اندازه، ساختار و ترکیب و فعالیت میکروب‌های خاک بدست آورد. تنفس خاک به عوامل متعددی از جمله مقدار و نوع ماده آلی، رطوبت خاک، دما، شوری و اسیدیته خاک بستگی دارد.

میزان تنفس پایه خاک را می‌توان با افزودن ترکیباتی که به آسانی تجزیه می‌شوند مانند گلوکز افزایش داد. که از آن به‌عنوان تنفس برانگیخته خاک نام برده می‌شود. تنفس برانگیخته خاک در واقع روشی برای ارزیابی جمعیت میکروبی دخیل در تجزیه گلوکز و زی‌توده میکروبی خاک است که قادرند بقایای گیاهی با ترکیبات مختلف را تجزیه کنند. تنفس برانگیخته می‌تواند به‌عنوان یک شاخص اطلاعات مفیدی در رابطه با کل جوامع میکروبی ارائه دهد (Ritz *et al.*, 2019). رطوبت خاک از مهم‌ترین عومل موثر بر تنفس برانگیخته خاک است.



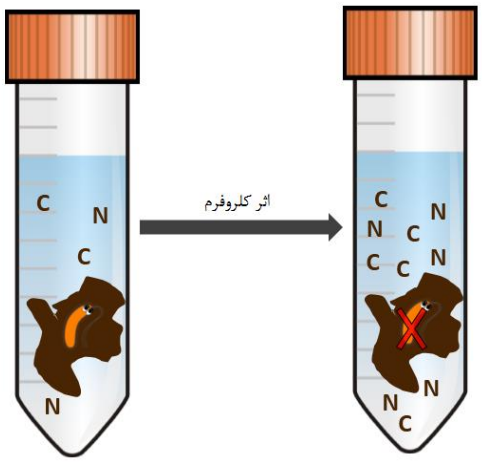
شکل ۱- نقش تنفس میکروبی در چرخه کربن خاک‌های جنگلی

شکل ۲- اندازه‌گیری میزان تنفس کلی خاک (تنفس میکروارگانیسم‌ها و ریشه درختان) توسط دستگاه قابل‌حمل.
توضیح: تصاویر مربوط به تحقیقات نگارنده اول در جنگل‌های فرانسه است.

کربن و ازت زی‌توده میکروبی خاک

میکروارگانیسم‌های خاک به‌عنوان بخش زنده و مهم بوم‌سازگان‌های جنگلی به تغییرات محیطی حساس بوده و با وجود اندازه کوچک نقش بسیار مهمی در تجزیه مواد آلی، چرخه مواد غذایی و چرخه‌های بیوژئوشیمیایی ایفا می‌کنند. میکروارگانیسم‌های خاک بخش مهمی از کربن آلی و ذخیره مواد غذایی در خاک هستند که زی‌توده میکروبی نامیده می‌شوند. زی‌توده میکروبی خاک عمدتاً از باکتری‌ها و قارچ‌ها تشکیل شده است. با توجه به نقش اصلی زی‌توده میکروبی در عملکرد بوم‌سازگان و اثر مستقیم فعالیت میکروبی خاک بر پایداری و حاصلخیزی بوم‌سازگان، از تغییر زی‌توده میکروبی برای ارزیابی کیفیت خاک در انواع مختلف پوشش‌های گیاهی و نیز ارزیابی آسیب و یا اصلاح خاک استفاده می‌شود. کربن و ازت زی‌توده میکروبی خاک از شاخص‌های سلامت خاک به‌شمار می‌روند، زیرا هر چقدر میزان آنها بالا باشد، سرعت تجزیه مواد آلی خاک و تبدیل آنها به مواد معدنی مورد نیاز گیاهان بیشتر است. کربن و ازت زی‌توده میکروبی بترتیب ۵-۱ ٪ و ٦-۲ ٪ از کل کربن و ازت خاک را تشکیل می‌دهند (Anderson, 2003). زی‌توده میکروبی خاک به عوامل مختلفی مانند محدویت کربن و ازت، بقایای گیاهی، مدیریت مواد غذایی در خاک، تفاوت درگونه گیاهی، بافت خاک رطوبت و دما بستگی دارد. مطالعه انجام شده توسط Allen و Schlesinger (۲۰۰٤) نشان داد که اضافه کردن کربن و نیترات آمونیوم بـه خاک باعث افزایش کربن زی‌توده میکروبی شد. کیفیت لاشبرگ تولیدی (نسبتC/N) گونه‌های گیاهی متفاوت بوده و در نتیجه زی‌توده میکروبی خاک گونه‌های مختلف با هم فرق دارند. معمولاً بیشترین زی‌توده میکروبی در خاک های جنگلی وجود دارد. رطوبت فاکتور اصلی در کنترل زنده‌مانی و فعالیت میکروارگانیسم‌ها در خاک و در نتیجه میزان زی‌توده میکروبی خاک است.

یکی از روش‌های متداول برای اندازه‌گیری میزان کربن و ازت زی‌توده میکروبی خاک روش تدخین- استخراج[1] است (شکل ۳). برای این منظور نمونه‌ها با کلروفرم به مدت ۱۸ تا ٢٤ ساعت تیمار می‌شوند تا جامعه میکروبی خاک از بین رفته و کربن و ازت موجود در پیکره آنها به خاک اضافه گردد. اختلاف بین اندازه‌گربن و ازت در نمونه‌های تیمار شده با کلروفرم و نمونه‌های تیمار نشده نشان‌دهنده اندازه کربن و ازت زی‌توده میکروبی است (Schinner *et al*., 1996).

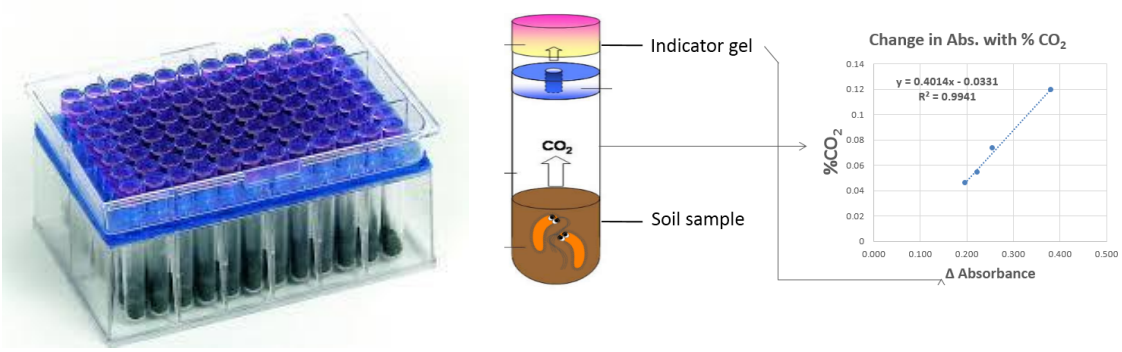


شکل ۳- اصول روش تدخین- استخراج به‌منظور مطالعه زی‌توده میکروبی. بعد از تیمار خاک با کلروفرم، میکروارگانیسم‌های خاک از بین رفته و کربن و ازت موجود در زی‌توده آنها به کربن و ازت خاک اضافه می‌شود که شاخص مناسبی برای اندازه‌گیری اندازه جوامع میکروبی خاک خواهد بود.

[1] Fumigation- extraction

تعیین پروفایل متابولیکی میکروارگانیسم‌های خاک با استفاده از تکنیک MicroResp

یکی از خصوصیات مهم جوامع میکروبی، توانایی آنها در تجزیه انواع مختلفی از منبع کربن است که در چرخه کربن در خاک نقش مهمی دارد. بنابراین اندازه‌گیری تنوع میکروبی اطلاعات مفیدی را در زمینه جوامع میکروبی در اختیار قرار می‌دهد. یکی از روش‌های معتبر مطالعه ساختار و تنوع جوامع میکروبی خاک، ارزیابی پروفایل متابولیکی جوامع میکروبی است. از تکنیک MicroResp (شکل ٤) برای تعیین پروفایل متابولیکی جوامع میکروبی استفاده می‌شود که برای اولین بار توسط Campbell و همکاران (۲۰۰۳) معرفی گردید. اساس این روش رنگ سنجی[۲] بوده و میزان دی‌اکسید کربن آزاد شده از جوامع میکروبی خـاک در حضور منابـع مختلف کربن اندازه‌گیری می‌شود. در این روش اغلب از ١٦ منبع کـربن مختلف استفاده می‌شود که اسامی آنها در جدول ۱ ارائه شده است. این منابع کربن بر اساس اصول اکولوژیک خاک انتخاب شده و باید قابلیت انحلال در آب را داشته باشند. تکنیک MicroResp یک روش مناسب، سریع و حساس در مطالعه تنوع و ساختار جوامع میکروبی خاک است.



شکل ٤- پلیت‌های مورد استفاده در روش MicroResp (سمت راست) و مبانی این روش (سمت چپ)

جدول ۱- مهم‌ترین منابع کربن مورد استفاده در تکنیک MicroResp برای مطالعه پروفایل متابولیکی خاک.

منبع کربن				
کربوهیدرات	اسیدهای کربوکسیلیک	اسیدهای آمینه	قندهای آمینه	اسیدهای فنل‌دار
D- ترهالوز	اسید سیتریک	L- آرژینین	N- استیل گلوکز آمین	اسیدپروتوکتوکوئیک
D- گالاکتوز	اسید اکسالیک	γ- اسید آمینوبوتیریک		
L- آرابینوز	L- اسید مالئیک	L- لیزین		
D- گلوکز	α- اسید کتوگلوتاریک	L- آلانین		
D- فروکتوز		L- سیستئین		

[2] Colorimetric

مروری بر کاربرد شاخص‌های زیستی در مطالعات خاک‌شناسی در جنگل های شمال ایران

علیرغم اهمیت غیرقابل انکار بوم‌سازگان‌های جنگلی شمال ایران، بیشتر مطالعات خاک‌شناسی با تکیه بر شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی متداول انجام گرفته است. این در حالی است که استفاده از شاخص‌های زیستی معتبر و قابل اعتماد می‌تواند اطلاعات دقیق‌تری در اختیار مدیران جنگل قرار دهد. به‌عنوان مثال مطالعه انجام شده توسط حبشی (۱۳۹٤) نشان دهنده رابطه قوی و مثبت بین تنفس میکروبی خاک و کربن زی‌توده میکروبی با ماده آلی خاک در تیپ‌های راش خالص، راش- ممرز، راش- افرا آمیخته بود. بر اساس شاخص‌های میکروبی کیفیت و سلامت خاک رویشگاه در تیپ راش- ممرز به واسطه همراهی ممرز حداکثر بود، بنابراین در نشانه‌گذاری جنگل حین عملیات جنگل‌شناسی بر حفظ ممرز توصیه شد.

کوچ و پارساپور (۱۳۹۵) برخی شاخص‌های میکروبی خاک پوشش‌های جنگلی پهن برگ (توسکای ییلاقی، ون، افراپلت، بلوط بلندمازو) و سوزنی برگ (زربین و کاج سیاه) را بررسی و مقایسه کردند. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار مشخصه‌های تنفس میکروبی، کربن زی‌توده میکروبی، نسبت زی‌توده میکروبی کربن به ازت و ضریب متابولیکی به پوشش جنگلی کاج سیاه اختصاص داشت، در حالی که بالاترین مقدار ازت زی‌توده میکروبی خاک در توده جنگلی توسکای ییلاقی مشاهده شد. بنابراین نتیجه گرفتند که انتخاب گونه مناسب می‌تواند با تغییر و بهبود شاخص‌های میکروبی باعث بهبود کیفیت خاک شود.

رفیعی و همکاران (۱۳۹٦) تأثیر اجرای شیوهٔ گزینشی بر شاخص‌های میکروبی خاک و عوامل مؤثر بر آنها را در بخشی از جنگل‌های شمال مطالعه کردند. نتایج نشان داد که میزان تنفس در زیر تاج پوشش بیش از روشنه بود، در حالی که اختلاف معنی‌داری در میزان کربن آلی نداشتند که نشان دهنده تأثیر آشفتگی بر شاخص‌های زیستی خاک است. بیرانوند و همکاران (۱٤۰۰) اثر ارتفاع از سطح دریا را بر خصوصیات زیستی خاک در حوزهٔ آبخیز و از استان مازندران مطالعه کردند. نتایج آنها نشان داد که با افزایش ارتفاع از سطح دریا، شاخص کیفیت خاک و به همین ترتیب فعالیت قارچ‌های اکتومیکوریزی به‌واسطهٔ نبود گونه‌های درختی همزیست و نیز فعالیت آنزیم‌های وابسته به چرخهٔ کربن و نیتروژن کاهش می‌یابد.

توصیه ترویجی

- هر گونه تغییرات مدیریتی در عرصه‌های جنگلی یا اجرای شیوه‌های جنگل‌شناسی، جنگل‌داری و یا بهره‌برداری باید در جهت حفظ جمعیت‌های میکروبی خاک و فعالیت آنها باشد تا کیفیت و سلامت خاک آسیب نبیند.
- با توجه به اهمیت میکروارگانیسم‌های خاک در ارائه کارکردهای بوم‌سازگان‌های جنگلی، ارزیابی شاخص‌های زیستی (میکروبی) در مطالعات خاکشناسی جنگل اولویت داشته باشند. بنابراین پیشنهاد می‌گردد که شاخص‌های زیستی در طول زمان سنجش و پایش گردند تا نتایج آنها برای بخش‌های مدیریتی و اجرایی مفید واقع گردد.
- تجهیز آزمایشگاه‌های مراکز تحقیقاتی و دانشگاه‌های کشور با دستگاه‌های مورد نیاز برای تکنیک MicroResp، تا محققین علوم جنگل بتوانند اطلاعات جامع‌تری در اختیار مدیران جنگل قرار دهند.
- به هنگام ارزیابی و پایش کیفیت و سلامت خاک، مطالعه یک شاخص کافی نبوده لذا پیشنهاد می‌شود که مجموعه‌ای از شاخص‌های تنفس پایه و برانگیخته همراه با میزان کربن و ازت زی‌توده میکروبی مدنظر قرار گیرند.

فهرست منابع

حبشی، ه. ۱۳۹٤. رابطه تنفس میکربی و کربن زی‌توده میکربی با ماده آلی خاک در تیپ‌های مختلف جنگل راش آمیخته. پژوهش و توسعه جنگل، ۱ (۲): ۱٤٤-۱۳۵.

رفیعی، ف.، حبشی، ه.، رحمانی، د و ثاقب‌طالبی، خ. ۱۳۹٦. تأثیر شیوه گزینشی بر تغییرات برخی شاخص‌های میکروبیولوژیکی خاک توده راش آمیخته جنگل‌های هیرکانی. پژوهش و توسعه جنگل، ۳ (۳): ۲۰۵-۱۹۱.

کوچ، ی. و پارساپور، م.ک. ۱۳۹۵. اثر پوشش‌های جنگلی پهن‌برگ و سوزنی‌برگ بر شاخص‌های میکروبی خاک. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۲ (۲): ۲۱۰-۱۹۵.

Anderson T.H. 2003. Microbial eco-physiological indicators to asses soil quality. Agriculture, Ecosystems & Environment, 98: 285 -293.

Campbell C.D, Chapman S.J., Cameron, C.M., Davidson, M.S. and Potts, J.M. 2003. A rapid microtiter plate method to measure carbon dioxide evolved from carbon substrate amendments so as to determine the physiological profiles of soil microbial communities by using whole soil. Applied and Environmental Microbiology, 69(6): 3593–3599.

Creamer, R.E., Stone, D., Berry, P. and Kuiper, I. 2016. Measuring respiration profiles of soil microbial communities across Europe using MicroRespTM method. Applied Soil Ecology, 97: 36–43.

Gardi, C., Jeffery, S. and Saltelli, A. 2013. An estimate of potential threats levels to soil biodiversity in EU. Global Change Biology, 19 (5): 1538–1548.

Gartzia-Bengoetxe, N., Kandeler, E., Martínez de Arano, I. and Arias-González, A. 2016. Soil microbial functional activity is governed by a combination of tree species composition and soil properties in temperate forests. Applied Soil Ecology, 100: 57–64.

Pailler, A., Vennetier, M., Torre, F, Ripert, C., Guiral, D. 2014. Forest soil microbial functional patterns and response to a drought and warming event: Key role of climate -plant- soil interactions at a regional scale. Soil Biology and Biochemistry, 70: 1-4.

Ritz, K., Black, H.I.J. Campbell, C. D. Harris, J, A. and Wood, C. 2009. Selecting biological indicators for monitoring soils: A framework for balancing scientific and technical opinion to assist policy development. Ecological Indicators, 9 (6): 1212–1221.