اثر شوری بر برخی شاخص‌های میکروبی خاک در حضور و عدم حضور ریشه‌های زنده گیاه

مژگان بویراحمدی*، فایز رئیسی و جهانگرد محمدی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۲/۲۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۱۰/۲۶)

چکیده

همانند گیاهان، شور شدن خاک از راه‌های گوناگون موجب کاهش رشد، تکثیر و فعالیت موجودات خاکزی به ویژه میکروفلور خاک می‌شود. هدف از انجام این پژوهش، تعیین اثر سطوح مختلف شوری بر برخی شاخص‌های میکروبی خاک در حضور و عدم حضور ریشه زنده دو گیاه گندم و شبدر بود. در این تحقیق، پنج سطح شوری به صورت مخلوطی از نمک‌های کلرید سدیم، کلرید کلسیم، کلرید منیزیم و کلرید پتاسیم و سه محیط خاک (بدون کشت، تحت کشت گندم و تحت کشت شبدر) با سه تکرار در چارچوب طرح کاملاً تصادفی و به گونه فاکتوریل استفاده شد. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهند که افزایش شوری در هر سه محیط بدون کشت، خاک تحت کشت گندم و خاک تحت کشت شبدر موجب کاهش معنی‌دار تنفس میکروبی تجمعی، کربن زیتوده میکروبی، تنفس برانگیخته با سوبسترا و شاخص قابلیت دسترسی به کربن شد. هم‌چنین، شوری موجب افزایش معنی‌دار qCO_2 در هر سه محیط گردید. در سطوح بالای شوری، شاخص‌های میکروبی در خاک تحت کشت گندم و شبدر به میزان آنها در خاک بدون کشت نزدیک شد و تفاوت کمتری در فعالیت میکروبی بین سه محیط دیده شد، که نشان می‌دهد در سطوح بالای شوری، نقش محرک گیاه بر فعالیت میکروبی کم‌رنگ‌تر می‌گردد. نتایج به دست آمده از شاخص قابلیت دسترسی به کربن نیز نشان می‌دهد که در سطوح پایین شوری، محدودیت کربن در خاک تحت کشت گندم و شبدر وجود ندارد، اما با افزایش شوری، این شاخص به صفر نزدیک گردید که بیانگر محدودیت کربن برای تنفس میکروبی در این محیط‌هاست. هم‌چنین پایین‌تر بودن نسبت qCO_2 در خاک تحت کشت گندم و شبدر در مقایسه با خاک بدون کشت، نشان‌دهنده نقش حمایت کنندگی ریشه بر فعالیت میکروبی در محیط‌های شور است. بنابراین، وجود گیاه در محیط‌های شور ممکن است از راه افزودن پی‌درپی ترشحات ریشه و بازگشت ریشه‌های جوان، به کاهش آثار مضر شوری‌های کم تا متوسط بر فعالیت‌های میکروبی خاک کمک نماید.

واژه‌های کلیدی: شوری، تنفس میکروبی تجمعی، زیتوده میکروبی، تنفس برانگیخته با سوبسترا، شاخص قابلیت دسترسی به کربن، qCO_2.

۱. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و دانشیاران خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهر کرد

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mozhgan_boyrahmadi@yahoo.com

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

فرآیندهای میکروبی کنترل کننده فرآیندهای اکولوژیک در اکوسیستم و حاصلخیزی خاک می‌باشند. جمعیت میکروبی خاک مسئول تنظیم چرخه عناصر غذایی در خاک است و در فراهم ساختن عناصر غذایی برای گیاه نقش مهمی را برعهده داشته و بدین گونه در رشد گیاه و تولیدات کشاورزی کارایی بالایی دارند (۷).

متغیرهای زیستی و غیر زیستی گوناگونی می‌توانند بر فعالیت میکروبی خاک مؤثر باشند که به صورت دوره‌ای و یا دائمی در خاک، به عنوان محل زیست ریزجانداران، شرایط ویژه و تنش‌زایی را پدید می‌آورند که از این گروه می‌توان شوری خاک‌ها را یادآور شد (۱۱).

تنفس خاک، تنفس برانگیخته با سوبسترا و ضریب متابولیکی (qCO_2) شاخص‌های حساسی برای تعیین اثر متغیرهای محیطی بر فعالیت میکروبی خاک هستند و از این پارامترها برای تجزیه و تحلیل اثر عوامل محیطی و تنش‌های وارده بر جمعیت میکروبی خاک بهره‌گیری می‌شود (۱۱). آثار گوناگون نمک‌ها در خاک، بر تنفس میکروبی، به دلیل تنش اسمزی و سمیت یونی است که بر فیزیولوژی و مسیرهای متابولیکی یاخته‌های میکروبی تأثیر می‌گذارد (۱۹).

بررسی‌های گذشته نشان داده‌اند که میان EC خاک و بیوماس میکروبی (۴، ۱۷ و ۲۲)، تنفس میکروبی، تنفس برانگیخته با سوبسترا (۷)، سرعت تجزیه مانده‌های گیاهی (۱۳ و ۱۵) رابطه منفی وجود دارد. در برابر آنها، میان ضریب متابولیکی (qCO_2) و EC خاک رابطه مثبت گزارش شده است (۳). در حقیقت، با افزایش تنش شوری، ریزجانداران خاک، CO_2-C بیشتری در واحد زیتوده میکروبی در واحد زمان می‌سازند. در نتیجه، qCO_2 افزایش می‌یابد (۳). هنگامی که جمعیت میکروبی تحت تنش باشد، کربن بیشتر از راه تنفس از دست می‌رود و کمتر وارد فرآیندهای بیوسنتزی و رشد میکروبی می‌شود. روی هم رفته، گزارش‌ها نشان می‌دهند که شوری باعث ایجاد تنش در جمعیت میکروبی شده و راندمان متابولیکی آنها را کاهش می‌دهد.

ساریگ و همکاران (۲۳) نشان دادند که آبیاری با آب شور ($EC= 5 dS\ m^{-1}$) موجب افزایش کربن و نیتروژن زیتوده میکروبی شد، در برابر آن، سرعت معدنی شدن کربن و نیتروژن، با افزایش شوری کاهش پیدا کرد. در بررسی دیگری، ساریگ و استینبرگر (۲۲) مشاهده نمودند که شوری هیچ اثر مستقیمی بر زیتوده میکروبی در ریزوسفر گیاه هالوفیت ریوموریا نگونسیس (Reaumuria Negevensis) ندارد. در حقیقت، این یافته‌های ناهمخوان شاید به دلیل تفاوت در شرایط شوری (مثلاً طبیعی یا مصنوعی بودن شوری)، کمیت و کیفیت (مثلاً نوع و ترکیب) نمک‌های محلول، حضور یا عدم حضور گیاه در خاک و عملیات کشاورزی باشد. برای نمونه، تنفس میکروبی خاک و فعالیت فسفاتازها و بتا-گلوکوسیداز با افزودن شوری کاهش پیدا می‌کند، ولی افزودن پتاسیم موجب کاهش آثار شوری می‌شود (۱۶). هم‌چنین گزارش شده است که شوری پدید آمده از نمک NaCl، موجب کاهش تنفس در طی روزهای ۳-۱ گردید، در برابر آن، شوری پدید آمده از نمک Na_2SO_4، اثری بر تنفس میکروبی در طول این مدت نداشت (۱۲).

البته این نکته را نیز باید یادآور شد که پاسخ جمعیت میکروبی خاک در شرایطی که شوری به طور مصنوعی اعمال می‌گردد، در برابر شرایطی که ریزجانداران در محیط شور طبیعی زندگی می‌کنند با یکدیگر متفاوت خواهد بود. زیرا در شرایط اخیر، ریزجانداران نسبت به این شرایط سازگاری پیدا می‌کنند (۲۵). لونا-گایدو (۱۳) نشان داد که با افزودن نمک به خاک، برای بررسی اثر شوری بر فعالیت میکروبی، مسأله سازگاری ریزجانداران نسبت به تنش شوری در نظر گرفته نمی‌شود. در حالی که محیط‌های شور طبیعی، جمعیت میکروبی ویژه خود را داشته که نسبت به این شرایط سازگاری پیدا نموده‌اند.

نکته‌ای که باید به آن توجه داشت این است که برای تعیین پاسخ فعالیت میکروبی خاک نسبت به شوری، باید گیاه و خاک

www.SID.ir

و تمام اجزای آن را به عنوان یک پیکره واحد، با تمام آثار متقابل پیچیده‌اشان، در نظر گرفت تا امکان درک بهتر از چگونگی اثر اجزای مختلف بر یکدیگر وجود داشته باشد.

نوع و غلظت تراوشات ریشه‌ای بسته به گونه گیاه، سن و شرایط محیطی متفاوت است و حدود ۴۰ درصد (یا بیشتر) از ماده خشک تولید شده توسط گیاه را تشکیل می‌دهند (۱۴). هرگونه تغییر در ترکیب تراوشات ریشه‌ای، یقیناً باعث ایجاد تغییراتی در فعالیت میکروبی خاک ریزوسفری و دینامیک جمعیت آنها می‌شود (۵). زیرا این ترکیبات منبع مهمی برای تأمین کربن مورد نیاز ریزجانداران خاک ریزوسفری و فعالیت آنها به شمار آمده که بر چرخه کربن، نیتروژن و فسفر در محیط ریشه مؤثر می‌باشند (۸ و ۱۴).

در اغلب مطالعات انجام شده، اثر شوری بر فعالیت میکروبی، بدون حضور گیاه مورد بررسی قرار گرفته است. به نظر می‌رسد، حضور گیاه از طریق محیط خاک ریزوسفری و تراوشات ریشه‌ای شرایط لازم برای تعدیل یا کاهش اثر شوری بر میکروب‌های خاک را فراهم نماید.

پژوهش چنگ و همکاران (۶) نشان می‌دهد که شاخص قابلیت دسترسی به کربن (Carbon Availability Index) (CAI)، که از تقسیم تنفس پایه بر تنفس برانگیخته با سوبسترا به دست می‌آید، با افزایش فاصله از سطح ریشه کاهش می‌یابد و غلظت آن در خاک ریزوسفری چندین برابر خاک فاقد ریشه می‌باشد. آنها هم‌چنین نشان دادند که در خاک ریزوسفری، این شاخص به یک نزدیک بوده که نشان‌دهنده آن است که در این محیط، فراهمی کربن برای تنفس میکروبی عامل محدود کننده نمی‌باشد. ولی در خاک غیر ریزوسفری این شاخص کمتر از یک بوده که نشان‌دهنده وجود محدودیت کربن در این محیط است.

پاتاک و رآئو (۱۸) نشان دادند که کاهش رشد میکروب‌ها در خاک‌های سدیمی به دلیل کاهش فراهمی سوبسترا و در خاک‌های شور به دلیل تنش ناشی از فزونی نمک می‌باشد. با این وجود، احتمال دارد که شوری موجب کاهش کارآیی مصرف سوبسترا توسط زیتوده میکروبی گردد و در نتیجه جمعیت میکروبی را کاهش دهد. طبق نتایج منتشر شده توسط رآئو و پاتاک (۲۰) کربن فاکتور مهمی است که بر فعالیت میکروبی در خاک‌های شور مؤثر است. ولی هنور اطلاعات ما در زمینه فعالیت میکروبی در ارتباط با رشد گیاه کامل نمی‌باشد.

از آنجایی که فعالیت میکروبی در خاک، متأثر از زیتوده و تراوشات ریشه می‌باشد، لذا هر گونه کاهش در تراوشات ریشه‌ای موجب کاهش رشد و فعالیت میکروبی خاک می‌گردد. زیرا آزاد شدن ترکیبات آلی از ریشه عامل مهمی در فراهم کردن کربن در محیط ریزوسفر است. بنابراین هدف از اجرای این پژوهش، تعیین اثر سطوح مختلف شوری بر فعالیت میکروبی خاک در حضور و عدم حضور ریشه زنده دو گیاه گندم و شبدر بود. گندم به عنوان یک گیاه زراعی غیر لگوم و نیمه مقاوم نسبت به شوری، و شبدر به عنوان یک گیاه لگوم و در مقایسه با گندم حساس به شوری انتخاب شدند.

مواد و روش‌ها

این پژوهش با تیمارهای شوری در پنج سطح شامل شاهد (۰/۵)، ۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰ دسی‌زیمس بر متر (که به گونه مخلوطی از نمک‌های کلرید سدیم، کلرید کلسیم، کلرید منیزیم و کلرید پتاسیم به ترتیب با نسبت وزنی ۱:۱:۱:۲ آماده شده بود) و سه محیط (خاک بدون کشت، خاک تحت کشت گندم و خاک تحت کشت شبدر) با سه تکرار در چارچوب طرح کاملاً تصادفی و به گونه فاکتوریل در شرایط کنترل شده (گلخانه‌ای) در دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد به اجرا درآمد.

نمونه خاک از یک مزرعه شبدر در جنوب شهرکرد آماده و به آزمایشگاه رسانده شد. پس از هوا خشک شدن و گذراندن از غربال دو میلی‌متری، یک نمونه از خاک برای تجزیه شیمیایی برداشته و مانده آن به درون گلدان‌های یک کیلویی ریخته شد. هدف از استفاده از گلدان‌های کوچک یک کیلویی این بود که تمام خاک گلدان‌های تحت کشت با ریشه اشغال شود.

بافت خاک اولیه رس شنی بود. مقادیر pH، EC، N٪، P،

www.SID.ir

OC٪ و $CaCO_3$٪ خاک اولیه به ترتیب ۷/۸، ۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر، ۰/۰۷۸ درصد، ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، ۰/۸۴ درصد و ۳۰ درصد بود.

جوانه‌های دو روزه گندم و شبدر به تعداد ۶ عدد در هر گلدان در عمق ۲ سانتی‌متری خاک کاشته شدند. در زمان دو هفته اول رشد گیاهان، برای اطمینان از پا گرفتن همه جوانه‌ها و رشد آنها، تیمارهای شوری به کار نرفت و آبیاری گلدان‌ها با آب مقطر انجام گرفت. در این دوره، برای تعیین زمان آبیاری، گلدان‌ها توزین و مقدار آب مقطر کافی جهت رساندن رطوبت به حد گنجایش زراعی به آنها افزوده شد. آبیاری‌های بعدی نیز پس از رسیدن میزان رطوبت خاک گلدان‌ها به ۶۰ ٪ گنجایش زراعی (بیشینه تخلیه مجاز رطوبت برای گندم و شبدر) انجام می‌شد.

تیمارهای شوری، از آغاز هفته سوم کاشت گیاهان به کار رفت. گلدان‌های بدون کشت نیز به همین گونه آبیاری شدند تا شرایطی همانند گلدان‌های تحت کشت داشته باشند. به منظور ثابت نگه داشتن EC خاک در طول دوره رشد گیاهان، برای هر تیمار، دو گلدان اضافه (گلدان‌های تخریبی) نیز در نظر گرفته شد. پس از هر مرحله آبیاری، اقدام به نمونه‌برداری از خاک گلدان‌های تخریبی و تهیه نسبت ۱:۲ آب به خاک گردید و قابلیت هدایت الکتریکی خاک قرائت و با توجه به درصد اشباع (SP)، تبدیل به قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع شد. سپس، با استفاده از نسبت قابلیت هدایت الکتریکی هر تیمار شوری به قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع، نیاز آبشویی (LR) محاسبه و به مقدار آب محاسبه شده برای آبیاری افزوده شد. تعیین زمان آبیاری نیز، از طریق توزین گلدان‌ها و بر اساس حفظ رطوبت در حد ۶۰ ٪ رطوبت قابل استفاده انجام شد.

در پایان ماه چهارم رشد، اندام‌های هوایی گیاه از رویه خاک بریده شدند. سپس ریشه‌ها به آرامی از خاک گلدان‌ها جدا و پس از شستن با آب مقطر و خشک کردن، برای اندازه‌گیری وزن خشک آنها به درون پاکت‌های کاغذی منتقل و به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد آون گذاشته شدند.

لازم به ذکر است خاکی که برای اندازه‌گیری شاخص‌های میکروبی استفاده شد، به آرامی و با دست از ریشه‌ها جدا گردید و از غوطه‌ور کردن ریشه‌ها به درون آب اجتناب شد.

برای اندازه‌گیری تنفس میکروبی به روش اندرسون (۲)، خاک هر گلدان را آمیخته کرده و معادل ۱۰۰ گرم خاک خشک از آن برداشته و به درون ظروف پلاستیکی یک لیتری ویژه اندازه‌گیری تنفس ریخته شد. ظروف دارای خاک، در درون انکوباتور در دمای ۱± ۲۵ درجه سانتی‌گراد گذاشته شدند. گاز CO_2 پدید آمده از تنفس میکروبی در سود (NaOH) ۰/۵ نرمال گردآوری گردید. تیتراسیون نمونه‌ها هر هفت روز یک بار طی ۱۵ هفته انجام شد. در پایان، مقدار CO_2 آزاد شده محاسبه و بر حسب میلی‌گرم CO_2-C در کیلوگرم خاک خشک گزارش گردید.

برای اندازه‌گیری تنفس برانگیخته با سوبسترا (Substrate Induced Respiration) (SIR)، ۱۰۰ گرم خاک درون ظروف پلاستیکی یک لیتری ریخته شد. ۲ سی‌سی محلول گلوکز ۱٪ به عنوان سوبسترا به هر کدام از ظروف افزوده و بی‌درنگ ۱۰ سی‌سی سود (NaOH) ۰/۵ نرمال در درون ظروف یک لیتری دارای خاک گذاشته، درب آنها را محکم بسته و به مدت ۶ ساعت در انکوباتور با دمای ۱± ۲۵ درجه سانتی‌گراد گذاشته شدند. پس از ۶ ساعت، بر پایه روشی که در تنفس خاک یاد آور شد، تیتراسیون را انجام داده، مقدار CO_2 را محاسبه و میزان تنفس برانگیخته با سوبسترا (SIR) بر حسب میلی‌گرم CO_2-C در کیلوگرم خاک خشک در ساعت برآورد شد (۱).

از روش گازدهی (تدخین) با کلروفرم (۹) و سپس انکوباسیون، برای اندازه‌گیری کربن زیتوده میکروبی (Microbial Biomass Carbon) (MBC) بهره‌گیری شد. برای این کار، دو نمونه ۴۰ گرمی از خاک‌هایی که برای اندازه‌گیری تنفس به کار رفته بود، برداشته و درون بشرهای تخت قرار گرفت. سپس کلیه نمونه‌ها در دو دسیکاتور جداگانه چیده شدند. نمونه‌های درون یکی از دسیکاتورها به مدت ۲۴ ساعت

www.SID.ir

با کلروفرم گازدهی شد و نمونه‌های درون دسیکاتور دیگر در دمای معمولی آزمایشگاه نگهداری شدند. گاز کلروفرم در ۳ مرحله از داخل دسیکاتور خارج شد. سپس کلیه بشرهای گازدهی شده و گازدهی نشده را بیرون آورده و پس از مایه‌زنی دوباره با مقداری خاک مرطوب گازدهی نشده، در درون ظروف پلاستیکی ویژه گذاشته شدند. برای جمع‌آوری CO_2، یک ظرف حاوی سود ۰/۵ نرمال در درون ظروف ویژه‌ی تنفس گذاشته شد. پس از ۱۰ روز، مقدار CO_2 ساخته شده، همانند روش تنفس، اندازه‌گیری شد. اختلاف مقادیر به دست آمده برای نمونه‌های گازدهی شده و گازدهی نشده، به عنوان زیتوده میکروبی تعیین گردید. با تقسیم این عدد بر ضریب تصحیح (۰/۴۵) کربن زیتوده میکروبی به دست آمد.

برای برآورد ضریب متابولیکی (qCO_2)، تنفس پایه (مقدار CO_2-C به دست آمده از یک روز تنفس میکروبی برحسب میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) بر مقدار کربن موجود در زیتوده میکروبی تقسیم و برحسب $mg CO_2 - C\, g^{-1}\ MBC\ day^{-1}$ بیان گردید:

$$qCO_2 = \frac{Basal\ \mathrm{Respiration}}{MBC} = \frac{BR}{MBC} = mg\,CO_2 - C\,kg^{-1}\,day^{-1} \Big/ g\,C\,kg^{-1}$$

برای برآورد شاخص قابلیت دسترسی به کربن (CAI)، تنفس پایه (مقدار CO_2-C به دست آمده از یک روز تنفس میکروبی بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم خاک در روز) را بر مقدار CO_2-C به دست آمده از تنفس برانگیخته با سوبسترا بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک در روز تقسیم شد (۶).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها که شامل تجزیه واریانس (ANOVA) و مقایسه میانگین‌ها بود، به کمک نرم‌افزار آماری Statistica 6.0 انجام گرفت. میانگین تیمارها با استفاده از آزمون Fisher's LSD در سطح احتمال ۵ ٪ مقایسه شدند. برای اندازه‌گیری تغییرات نسبی شاخص‌های میکروبی خاک در پاسخ به افزایش شوری به گونه زیر عمل شد:

$$\text{تغییرات نسبی} = \frac{V_0 - V_X}{V_0} \times ۱۰۰$$

که در آن V_0 مقدار (شاخص اندازه‌گیری شده) در تیمار شاهد و V_X مقدار (شاخص اندازه‌گیری شده) در هر یک از تیمارهای شوری می‌باشد.

نتایج و بحث

نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان می‌دهند که شوری در هر سه محیط بدون کشت، خاک تحت کشت گندم و خاک تحت کشت شبدر موجب کاهش معنی‌دار ($P < ۰/۰۰۱$) تنفس میکروبی تجمعی خاک پس از ۱۵ هفته انکوباسیون شد (جدول ۱). اما شدت کاهش در محیط‌های مختلف ناهمانند بود. به گونه‌ای که افزایش شوری خاک تا $۱۰\ dS\ m^{-1}$ در برابر تیمار شاهد ($۰/۵\ dS\ m^{-1}$)، موجب کاهش تنفس میکروبی تجمعی در محیط بدون کشت به میزان ۳۳٪، در خاک تحت کشت گندم ۳۴٪ و در خاک تحت کشت شبدر ۶۴٪ شد (جدول ۲). با توجه به این که با افزایش شوری از $۰/۵\ dS\ m^{-1}$ به $۱۰\ dS\ m^{-1}$، زیتوده ریشه‌ی شبدر ۹۸٪ و گندم ۸۶٪ کاهش نشان داد (جدول ۴)، شاید بتوان بخشی از کاهش بیشتر تنفس میکروبی در خاک تحت کشت شبدر در مقایسه با تنفس در خاک تحت کشت گندم را به کاهش بیشتر زیتوده ریشه این گیاه در روبه‌رو شدن با تنش شوری نسبت داد. با توجه به نتایج جدول ۳ در سطوح شوری ۰/۵، ۲/۵ و $۵\ dS\ m^{-1}$ بیشترین میزان تنفس میکروبی در خاک تحت کشت شبدر و کمترین آن مربوط به محیط بدون کشت می‌باشد و تفاوت معنی‌دار ($P<۰/۰۵$) در میزان تنفس خاک بین سه محیط مورد مطالعه وجود دارد که علت آن را می‌توان به فعالیت بیشتر ریزجانداران خاک تحت کشت شبدر نسبت به گندم و محیط بدون کشت در شوری‌های یاد شده نسبت داد. اما در سطوح شوری ۷/۵ و $۱۰\ dS\ m^{-1}$ میزان تنفس در خاک تحت کشت گندم بیشتر از شبدر و در خاک تحت کشت شبدر بیشتر از محیط بدون کشت بود. در این دو سطح شوری نیز تنفس خاک بین سه محیط تفاوت معنی‌دار ($P<۰/۰۵$) با یکدیگر داشتند که احتمالاً به دلیل مقاومت بیشتر گندم نسبت به تنش شوری در سطوح شوری بالا می‌باشد. زیرا

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۱. نتایج تجزیه واریانس (آماره F) اثر شوری، محیط و اثرات متقابل آنها برشاخص‌های میکروبی خاک

منبع تغییرات	تنفس‌میکروبی تجمعی	کربن زیتوده میکروبی	تنفس برانگیخته با سوبسترا	qCO_2	CAI
شوری	۴۰۶۴۳***	۶۱/۶۲***	۳۶۷/۳***	۲۴***	۲۶۶/۳***
محیط	۲۸۹۰۴***	۱۶۲/۳***	۳۲۷/۶***	۱۶۰***	۹۱۴/۷***
شوری× محیط	۹۰۸۸***	۱۶/۰۸***	۲۸/۲۰***	۲/۲۳^{ns}	۷۸/۰***

*** : P<۰/۰۰۱

ns: غیر معنی‌دار

جدول۲. تغییرات نسبی (٪) و نتایج تجزیه واریانس اثر شوری بر شاخص‌های میکروبی خاک برای هر سه محیط

محیط	شوری ($dS\ m^{-1}$)	تنفس میکروبی	کربن‌زیتوده میکروبی	تنفس برانگیخته با سوبسترا	qCO_2	CAI
	۰/۵	۰ A	۰ A	۰ A	۰ C	۰ A
	۲/۵	−۱۵ B	−۱۳/۹ A	−۶/۲۰ B	+۱۱/۴C	−۱/۸A
	۵/۰	−۱۹ C	−۷۱/۲ B	−۱۲/۷ C	+۱۱/۲C	−۵۵ AB
بدون کشت	۷/۵	−۲۹ D	−۸۹/۷ B	−۲۳/۳ D	+۲۷/۲B	−۷۵B
	۱۰	−۳۳ E	−۹۲/۱ B	−۳۳/۰ E	+۴۴/۸A	−۸۲B
	F	۳۵۰۲***	۲۳/۶***	۵۱/۹***	۳۶/۵***	*۳/۵
	$LSD_{۰/۰۵}$	۳/۵۰	۲۸/۲	۵/۷۹	۱۰/۸۵	۲۴/۴
	۰/۵	۰ A	۰ A	۰ A	۰ C	۰ A
	۲/۵	−۷/۳۰ B	−۲۲/۹ B	−۴/۸۰ B	+۲/۹۰CB	−۱۷/۴ B
	۵/۰	−۱۶/۰ C	−۳۲/۹ C	−۹/۶۰ C	+۶/۶۰ CB	−۲۲/۰ B
کشت‌گندم	۷/۵	−۲۶/۶ D	−۵۳/۶D	−۱۹/۶ D	+۱۲/۳ BA	−۳۵/۵ C
	۱۰	−۳۴/۰ E	−۸۶/۶ E	−۳۷/۹ E	+۲۳/۸ A	−۷۲/۹ D
	F	۵۰۱۱***	***۱۴۶	۱۱۵***	۶/۴**	۷۹/۹ ***
	$LSD_{۰/۰۵}$	۰/۶۰	۸/۵۳	۴/۴۱	۱۱/۷۳	۹/۶۰
	۰/۵	۰ A	۰ A	۰ A	۰ B	۰ A
	۲/۵	−۳۴/۳ B	−۲۱/۰B	−۵/۹۰ B	+۵/۶۰ B	−۱۳/۲ B
	۵/۰	−۴۷/۰ C	−۷۲/۴C	−۲۱/۰ C	+۵/۶۰ B	−۶۲/۷ C
کشت‌شبدر	۷/۵	−۶۱/۸ D	−۸۹/۰D	−۳۵/۴ D	+۱۱/۰ B	−۸۴/۸ D
	۱۰	−۶۴/۱ E	−۹۹/۶E	−۵۱/۳ E	+۲۸/۶ A	−۹۸/۵ E
	F	۵۳۸۴۳***	۶۵۶***	۲۶۹***	۴/۴*	۲۷۱***
	$LSD_{۰/۰۵}$	۲/۱۰	۵/۳۷	۴/۰۴	۱۷/۵	۸/۳۰

در هر ستون حروف ناهمانند نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار (P<۰/۰۵) بر پایه آزمون LSD در سطوح مختلف شوری است. هر عدد میانگین ۳ تکرار می‌باشد.

*** : P< ۰/۰۰۱ ؛ ** : P< ۰/۰۱ ؛ * : P<۰/۰۵

www.SID.ir

جدول ۳. مقایسه میانگین (n=۳) شاخص‌های میکروبی در بین محیط‌های مختلف در هر سطح شوری. اعداد داخل پرانتز مقادیر انحراف معیار را نشان می‌دهند.

محیط	EC (dS m^{-1}) ۰/۵	۲/۵	۵	۷/۵	۱۰
	تنفس میکروبی تجمعی (پس از ۱۵ هفته) ($C_{Respired.}$) (mg CO_2-C kg^{-1})				
بدون کشت	۵۳۰(۱۳/۷) C	۴۵۲(۲۷/۲)C	۴۲۶(۱۴/۰)C	۳۷۵(۱۶/۱) C	۳۵۴(۲۷/۳) C
کشت‌گندم	۶۲۰(۱۳/۷) B	۶۱۲(۱۵/۰)B	۵۲۰(۲۷/۲)B	۴۵۵(۲۷/۳)A	۴۰۹(۳۱/۱) A
کشت‌شبدر	۱۰۴۸(۱۴/۰)A	۶۸۸ (۱۳/۹)A	۵۵۷(۱۳/۹)A	۴۰۱(۲/۷) B	۳۷۶(۳۰/۰) B
F	۱۲۰۵۴۱***	۱۱۳۷***	۳۵۹۳***	۸۹۸***	۳۴۰***
$LSD_{0.05}$	۲۷/۶	۳۹/۷	۳۳/۰	۴۷/۳	۱۸/۰
	کربن زیتوده میکروبی (MBC) (mg CO_2–C kg^{-1})				
بدون کشت	۴/۲۸(۱/۰۰)B	۳/۶۱(۱/۷۰)C	۱/۱۳(۱/۰۰) C	۰/۴۳(۰/۱) C	۰/۳۳(۰/۱) B
کشت‌گندم	۱۱۲(۴/۰۳)A	۸۶/۲(۴/۹۹)B	۷۴/۹(۵/۸۶) A	۵۱/۸(۵/۴) A	۱۵/۰(۱/۱) A
کشت‌شبدر	۱۲۰(۷/۳۰)A	۹۵/۰(۱/۳۴)A	۳۳/۲ (۵/۶۸)B	۱۳/۳(۵/۱) B	۰/۴۸(۰/۲) B
F	۵۳۷***	۸۲۳***	۵۰۲***	۷۶۴***	۵۶۱***
$LSD_{0.05}$	۹/۶۸	۶/۰۸	۵/۷۱	۳/۳۵	۱/۲۳
	تنفس برانگیخته با سوبسترا (SIR) (mg CO_2-C kg^{-1} h^{-1})				
بدون کشت	۰/۶۶(۰/۰۱۱)C	۰/۲۶(۰/۰۱۷)C	۰/۵۸(۰/۰۲۷) C	۰/۵۱(۰/۰۲)B	۰/۴۴(۰/۰۲۹)A
کشت‌گندم	۰/۷۶(۰/۰۱۱)B	۰/۷۲(۰/۰۲۱)B	۰/۶۹(۰/۰۲۳) B	۰/۶۱(۰/۰۲)A	۰/۴۷(۰/۰۰۹)A
کشت‌شبدر	۰/۹۸(۰/۰۱۴)A	۰/۹۲ (۰/۰۲۳)A	۰/۷۷(۰/۰۴۰) A	۰/۶۳(۰/۰۱)A	۰/۴۸(۰/۰۱۱)A
F	۵۴۱***	۱۶۹***	۳۱***	۳۸***	۳/۱ns
$LSD_{0.05}$	۰/۰۲۴	۰/۰۴۱	۰/۰۶۱	۰/۰۳۸	۰/۰۳۸
	ضریب متابولیکی (qCO_2) (mg $C_{Respired}$ g^{-1}MBC day^{-1})				
بدون کشت	۰/۰۵۵(۰/۰۰۳)A	۰/۰۶۲(۰/۰۰۲)A	۰/۰۶۱(۰/۰۰۴) A	۰/۰۷۱(۰/۰۰۵)A	۰/۰۸۰(۰/۰۰۴)A
کشت‌گندم	۰/۰۳۸(۰/۰۰۱)C	۰/۰۳۹(۰/۰۰۱)C	۰/۰۴۰(۰/۰۰۳) C	۰/۰۴۲(۰/۰۰۵)B	۰/۰۴۷(۰/۰۰۱)C
کشت‌شبدر	۰/۰۴۶(۰/۰۰۳)B	۰/۰۴۷ (۰/۰۰۳)B	۰/۰۴۹(۰/۰۰۴) B	۰/۰۵۲(۰/۰۰۶)B	۰/۰۶۰(۰/۰۰۶)B
F	۳۵/۳***	۹۳/۲***	۲۵/۲**	۲۰/۹**	۴۶/۹***
$LSD_{0.05}$	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۶	۰/۰۱۸	۰/۰۰۷
	شاخص قابلیت دسترسی به کربن (CAI)				
بدون کشت	۰/۰۶(۰/۰۴) B	۰/۰۶(۰/۰۲)B	۰/۰۲(۰/۰۰۶)C	۰/۰۱(۰/۰۰۴)C	۰/۰۱(۰/۰۰۲)B
کشت‌گندم	۰/۹۴(۰/۰۴) A	۰/۷۷(۰/۰۴)A	۰/۷۳(۰/۰۶)A	۰/۶۰(۰/۰۷) A	۰/۲۵(۰/۰۵۰)A
کشت‌شبدر	۰/۹۵(۰/۰۲) A	۰/۸۱(۰/۰۳)A	۰/۳۵(۰/۰۷)B	۰/۱۸(۰/۰۶)B	۰/۰۱(۰/۰۰۵)B
F	۶۹۵***	۶۱۰***	۱۳۸***	۱۰۹***	۵۸***
$LSD_{0.05}$	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۰۶

در هر ستون حروف ناهمانند نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار (P<۰/۰۵) بر پایه آزمون LSD بین محیط‌های مختلف است.

*** : ۰/۰۰۱ >P؛ ** : ۰/۰۱ >P ؛ ns: غیر معنی‌دار

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۴. اثر سطوح مختلف شوری بر زیتوده (وزن خشک) ریشه گندم و شبدر

سطح شوری ($dS\ m^{-1}$)	زیتوده ریشه گندم	زیتوده ریشه شبدر
۰/۵	۰A	۰ A
۲/۵	−۲۵B	−۱۸B
۵/۰	−۲۷B	−۷۴C
۷/۵	−۳۷C	−۸۸D
۱۰	−۸۶D	−۹۸E
F	۳۳۵***	۱۸۳۳***
$LSD_{0.05}$	۵/۴۶	۳/۲۵

***: P<۰/۰۰۱

در سطح شوری ۷/۵ $dS\ m^{-1}$ زیتوده ریشه گندم در برابر شاهد (۰/۵ $dS\ m^{-1}$) ۳۷٪ کاهش پیدا نمود در حالی که زیتوده ریشه شبدر ۸۸٪ کاهش نشان داد (جدول ۴). در شوری ۱۰ $dS\ m^{-1}$ نیز زیتوده ریشه گندم در مقایسه با سطح شوری ۰/۵ $dS\ m^{-1}$، ۸۶٪ و زیتوده ریشه شبدر ۹۸٪ کاهش یافت (جدول ۴). هم‌چنین هم‌بستگی معنی‌دار بین تنفس خاک و زیتوده ریشه هر دو گیاه گندم ($r=۰/۸۶^{*}$) و شبدر ($r=۰/۹۳^{**}$) دیده شد (جدول ۵). افزون بر این، اثرات متقابل شوری× محیط نیز بر این شاخص معنی‌دار (P<۰/۰۰۱) می‌باشد (جدول ۱).

کاهش فعالیت میکروبی خاک بر اثر شوری، با نتایج مطالعات دیگر پژوهشگران نیز همخوانی دارد. یافته‌های آنان نشان می‌دهد که شوری موجب کاهش تنفس خاک (۲۱ و ۲۴)، تجزیه گلوکز نشان‌دار شده با ^{14}C (۱۳) و تجزیه مانده‌های ذرت (۱۲) می‌گردد. پژوهش انجام شده توسط قول‌لرعطا و رئیسی (۷) در زمینه اثر شوری بر فعالیت میکروبی در خاک تحت کشت شبدر برسیم نیز نشان داد که افزایش شوری موجب کاهش معنی‌دار (P <۰/۰۵) تنفس میکروبی خاک می‌شود.

از آن‌جایی که شوری به عنوان عامل کاهنده فعالیت میکروبی به حساب می‌آید، ممکن است عوامل دیگری از جمله فراهمی سوبسترا، اثر چشم‌گیری بر تنفس میکروبی در سطوح بالای شوری داشته باشد. این عامل را می‌توان به صورت تنفس برانگیخته با سوبسترا (SIR) اندازه‌گیری کرد. هم‌چنین از روی این شاخص می‌توان به میزان جمعیت " فعال" میکروبی نیز پی برد. آزمون داده‌ها نشان می‌دهد که شوری اثر معنی‌دار (P<۰/۰۰۱) بر تنفس برانگیخته با سوبسترا در هر سه محیط بدون کشت، خاک تحت کشت شبدر و خاک تحت کشت گندم داشته است (جدول ۲). افزایش شوری خاک تا ۱۰ $dS\ m^{-1}$ در برابر تیمار شاهد (۰/۵ $dS\ m^{-1}$)، موجب کاهش این شاخص در محیط بدون کشت به میزان ۳۳٪، در خاک تحت کشت شبدر ۵۱/۳٪ و در خاک تحت کشت گندم ۳۷/۹٪ شد. هم‌چنین در سطوح شوری ۰/۵، ۲/۵ و ۵ $dS\ m^{-1}$، این شاخص روند مشابهی با تنفس خاک نشان داد و دیده شد که بیشترین میزان تنفس برانگیخته با سوبسترا مربوط به خاک تحت کشت شبدر می‌باشد و خاک تحت کشت گندم و محیط بدون کشت به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار دارند (جدول ۳). اما در شوری ۷/۵ $dS\ m^{-1}$ میزان تنفس برانگیخته با سوبسترا در خاک تحت کشت گندم و شبدر با یکدیگر تفاوت معنی‌دار نداشتند، در حالی که در مقایسه با محیط بدون کشت تفاوت معنی‌دار (P<۰/۰۵) بود. در شوری ۱۰ $dS\ m^{-1}$ تفاوت معنی‌دار در میزان تنفس برانگیخته با سوبسترا بین سه محیط دیده نشد (P>۰/۰۵). هم‌چنین هم‌بستگی معنی‌دار بین تنفس برانگیخته با سوبسترا و زیتوده ریشه هر دو گیاه گندم ($r=۰/۹۵^{**}$) و شبدر ($r=۰/۹۴^{**}$) وجود داشت (جدول ۵). اثرات متقابل شوری× محیط نیز بر این شاخص معنی‌دار (P<۰/۰۰۱) بود (جدول ۱).

www.SID.ir

جدول۵ . ضرایب هم‌بستگی (r) بین شاخص‌های میکروبی خاک و وزن خشک ریشه شبدر و گندم (n=۱۵)

شاخص‌های میکروبی	وزن خشک ریشه شبدر	وزن خشک ریشه گندم
تنفس میکروبی تجمعی	۰/۹۳**	۰/۸۶*
تنفس برانگیخته با سوبسترا	۰/۹۴**	۰/۹۵**
کربن زیتوده میکروبی	۰/۹۴ **	۰/۹۵**
نسبت ضریب متابولیکی (qCO_2)	$-۰/۶۲^{ns}$	-۰/۸۱*
شاخص قابلیت دسترسی به کربن (CAI)	۰/۹۹***	۰/۹۸***

*** : P< ۰/۰۰۱؛ ** : P< ۰/۰۱؛ * : P<۰/۰۵، ns: غیر معنی‌دار

یافته‌های این پژوهش، تأثیرپذیری فعالیت میکروبی خاک از کاهش رشد ریشه گیاه در روبه‌رو شدن با تنش شوری را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در جدول ۳ دیده می‌شود، میزان تنفس برانگیخته با سوبسترا در خاک تحت کشت گندم و شبدر با افزایش شوری به میزان این شاخص در محیط بدون کشت نزدیک می‌گردد. این یافته نشان‌دهنده آن است که با افزایش شوری جمعیت فعال میکروبی کاهش می‌یابد و کاهش رشد گیاه اثر کاهنده شدیدی بر فعالیت میکروبی در این خاک‌ها دارد. دیگر پژوهش‌های انجام شده نیز نشان می‌دهند که شوری موجب کاهش معنی‌دار تنفس برانگیخته با سوبسترا گردیده است که بیان‌گر آن است که سوبسترای اضافه شده (گلوکز) برای مصرف ریزجانداران خاک به سهولت در دسترس نبوده است (۷). از سوی دیگر، کاهش کارآیی کاربرد سوبسترا توسط ریزجانداران خاک، خود می‌تواند از عوامل مؤثر در کاهش تنفس بر اثر شوری باشد. رآئو و پاتاک (۲۰) و پاتاک و رآئو (۱۸) گزارش کردند که فراهمی و قابلیت دسترسی به سوبسترا عامل مهمی است که بر فعالیت میکروبی در خاک‌های شور تأثیر می‌گذارد. قول‌لرعطا و رئیسی (۷) نیز نشان دادند که شوری موجب کاهش معنی‌دار (P<۰/۰۰۱) تنفس برانگیخته با سوبسترا در خاک تحت کشت شبدر ترسیم گردید.

نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان می‌دهد که شوری در هر سه محیط اثر معنی‌دار بر کربن زیتوده میکروبی دارد (P<۰/۰۰۱، جدول ۲). به گونه‌ای که افزایش شوری خاک از ۰/۵ dS m^{-1} تا ۱۰ dS m^{-1} موجب کاهش این شاخص در محیط بدون کشت به میزان ۹۲٪، در خاک تحت کشت گندم ۸۶٪ و در خاک تحت کشت شبدر ۹۹٪ گردید. در سطح شوری ۰/۵ dS m^{-1}، اثر نوع محیط بر این شاخص معنی‌دار (P<۰/۰۰۱) بود (جدول ۳) و دیده شد که میزان کربن زیتوده میکروبی در خاک تحت کشت شبدر و گندم بیشتر از خاک بدون کشت می‌باشد. اما تفاوت معنی‌دار در میزان کربن زیتوده میکروبی بین خاک تحت کشت گندم و خاک تحت کشت شبدر وجود نداشت (P>۰/۰۵). در سطوح شوری ۲/۵، ۵ و ۷/۵ dS m^{-1} این شاخص در بین سه محیط تفاوت معنی‌دار با یکدیگر داشتند، به طوری که در شوری ۲/۵ dS m^{-1} بیشترین کربن زیتوده میکروبی مربوط به خاک تحت کشت شبدر، اما در سطوح شوری ۵ و ۷/۵ dS m^{-1} مربوط به خاک تحت کشت گندم بود. در سطح شوری ۱۰ dS m^{-1} دیده شد که کربن زیتوده میکروبی در خاک تحت کشت شبدر و محیط بدون کشت تفاوت معنی‌دار با یکدیگر ندارند اما با خاک تحت کشت گندم تفاوت معنی‌دار بود. در حقیقت، به دلیل مقاومت بیشتر گندم نسبت به تنش شوری، کربن زیتوده میکروبی در این محیط بیش از دو محیط دیگر می‌باشد. هم‌چنین هم‌بستگی معنی‌دار بین کربن زیتوده میکروبی و زیتوده ریشه شبدر ($r=۰/۹۴^{**}$) و گندم ($r=۰/۹۵^{**}$) دیده شد (جدول ۵). آثار متقابل شوری × محیط نیز بر این شاخص معنی‌دار بود (جدول ۱).

قول‌لرعطا و رئیسی (۷) در پژوهش خود نشان دادند که گرچه شوری موجب کاهش کربن زیتوده میکروبی در خاک تحت کشت شبدر برسیم می‌گردد، اما اثر آن از نظر آماری

Archive of SID

www.SID.ir

معنی‌دار نمی‌باشد. سایر پژوهش‌هایی که در زمینه اثر شوری بر زیتوده میکروبی خاک انجام شده، نتایج ناهماننـدی را ارائه می‌دهند. برای مثال، ساریگ و استینبرگر (۲۲) نشان دادند که شوری اثر مستقیمی بر کربن زیتوده میکروبی در ریزوسفر گیاه هالوفیت ریوموریا نگونسیس ندارد. اما بررسی‌های باترا و مانا (۴)، کور و همکاران (۱۰) و ساردینها و همکاران (۲۱) نشان داد که شوری به طور معنی‌دار موجب کاهش کربن زیتوده میکروبی در خاک‌های شور طبیعی می‌گردد.

از دیگر شاخص‌های مورد بررسی در این پژوهش، ضریب متابولیکی (qCO_2) است. این ضریب، شاخص مناسبی برای ارزیابی اثر تنش‌های محیطی، از جمله شوری، بر جمعیت و فعالیت میکروبی خاک است (۳). نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که افزایش شوری خاک از ۰/۵ $dS\ m^{-1}$ به ۱۰ $dS\ m^{-1}$ موجب افزایش معنی‌دار qCO_2 در محیط بدون کشت ($P<0/001$)، خاک تحت کشت گندم ($P<0/01$) و خاک تحت کشت شبدر ($P<0/05$) شد (جدول ۲). به طوری که این شاخص، با افزایش شوری از ۰/۵ $dS\ m^{-1}$ تا ۱۰ $dS\ m^{-1}$ در محیط بدون کشت ۴۴/۸٪، در خاک تحت کشت گندم ۲۳/۸٪ و در خاک تحت کشت شبدر ۲۸/۶٪ افزایش پیدا نمود. نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که در سطوح شوری ۰/۵، ۲/۵، ۵ و ۱۰ $dS\ m^{-1}$ اثر نوع محیط بر این شاخص معنی‌دار ($P<0/001$) بود و محیط بدون کشت بیشترین qCO^2 و خاک تحت کشت گندم کمترین qCO^2 را داشت. در سطح شوری ۷/۵ $dS\ m^{-1}$ نیز همچون سایر سطوح شوری، اثر محیط بر این شاخص معنی‌دار ($P<0/01$) بود و اگرچه بین خاک تحت کشت شبدر و گندم تفاوت معنی‌دار دیده نشد، ولی با محیط بدون کشت تفاوت معنی‌دار ($P<0/05$) نشان داد. هم‌چنین هم‌بستگی معنی‌دار بین این شاخص و زیتوده ریشه گندم ($r=-0/81^*$) وجود داشت، اما با زیتوده ریشه شبدر هم‌بستگی معنی‌دار نبود ($r=-0/62ns$) (جدول ۵). هم‌چنین رابطه منفی بین کربن زیتوده میکروبی و qCO^2 در محیط بدون کشت ($r=-0/80^*$)، خاک تحت کشت گندم و خاک تحت کشت شبدر ($r=-0/88^*$) دیده شد که نشان‌دهنده ورود سوبسترای آلی به مسیر متابولیکی (به جای مسیر کاتابولیکی) به منظور غلبه بر تنش شوری می‌باشد. کاهش معنی‌دار تنفس نیز این فرضیه را تقویت می‌نماید. اثرات متقابل شوری× محیط نیز بر این شاخص معنی‌دار ($P<0/001$) می‌باشد (جدول ۱). بررسی‌های قول‌لرعطا و رئیسی (۷) نیز نشان داد که شوری اثر معنی‌دار ($P<0/05$) بر این شاخص در محیط تحت کشت شبدر دارد و موجب افزایش آن می‌گردد.

همان‌طور که قبلاً اشاره گردید، شاخص قابلیت دسترسی به کربن (CAI) برای پی بردن به درجه محدودیت سوبسترا بویژه در خاک تحت کشت بسیار مفید است. زیرا شوری بر فراهمی کربن در محیط‌های شور تأثیر گذار است (۲۰). نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان می‌دهد که شوری در محیط‌های تحت کشت موجب کاهش معنی‌دار ($P<0/001$) این شاخص گردید که نشان می‌دهد افزایش شوری موجب محدود شدن قابلیت دسترسی به کربن در خاک تحت کشت می‌گردد. هم‌چنین دیده شد که افزایش شوری از ۰/۵ $dS\ m^{-1}$ تا ۱۰ $dS\ m^{-1}$ موجب کاهش این شاخص در خاک تحت کشت گندم به میزان ۷۳٪ و در خاک تحت کشت شبدر ۹۸٪ گردید (جدول ۲). در خاک تحت کشت شبدر، این شاخص در بین سطوح مختلف شوری تفاوت معنی‌دار ($P<0/05$) با یکدیگر داشتند. در خاک تحت کشت گندم نیز روند مشابهی مشاهده گردید با این تفاوت که بین سطوح شوری ۲/۵ و ۵ $dS\ m^{-1}$ تفاوت معنی‌دار وجود نداشت (جدول ۳). هم‌چنین، هم‌بستگی معنی‌دار بین شاخص قابلیت دسترسی به کربن (CAI) و وزن خشک ریشه گندم ($r=0/98^{***}$) و شبدر ($r=0/99^{***}$) دیده شد (جدول ۵). با توجه به این که با افزایش شوری از ۰/۵ $dS\ m^{-1}$ به ۱۰ $dS\ m^{-1}$ زیتوده ریشه شبدر ۹۸ ٪ و گندم ۸۶٪ کاهش نشان می‌دهد (جدول ۴)، کاهش بیشتر قابلیت دسترسی به کربن در خاک تحت کشت شبدر در مقایسه با خاک تحت کشت گندم با افزایش شوری را می‌توان به کاهش بیشتر زیتوده ریشه این گیاه در روبه‌رو شدن با تنش شوری نسبت داد. زیرا ریشه مهم‌ترین منبع تولید کننده کربن برای ریزجانداران هتروتروف

www.SID.ir

خاک می‌باشد. بر اساس نتایج جدول ۳، در سطوح شوری ۰/۵ و ۲/۵ $dS\ m^{-1}$ شاخص قابلیت دسترسی به کربن در خاک تحت کشت گندم و شبدر تفاوت معنی‌دار با یکدیگر نداشتند ($P>0/05$) اما با محیط بدون کشت تفاوت معنی‌دار ($P<0/05$) بود. در این سطوح شوری، شاخص یاد شده در دو محیط خاک تحت کشت گندم و شبدر به یک نزدیک بود که نشان دهنده آن است که در محیط‌های غیر شور و یا با شوری اندک، در خاک‌های تحت کشت محدودیت کربن وجود ندارد. اما این شاخص در محیط بدون کشت به صفر نزدیک شد که بیانگر وجود محدودیت کربن خاک در این محیط می‌باشد. در سطوح شوری ۵ و ۷/۵ $dS\ m^{-1}$ اختلاف معنی‌دار ($P<0/05$) در این شاخص بین هر سه محیط مشاهده گردید. به طوری که در خاک تحت کشت گندم بیشتر از خاک تحت کشت شبدر و در خاک تحت کشت شبدر بیشتر از محیط بدون کشت بود. با توجه به این که در شوری ۷/۵ $dS\ m^{-1}$، زیتوده ریشه گندم ۳۷٪ و زیتوده ریشه شبدر ۸۸ ٪ کاهش نشان می‌دهد (جدول ۴)، می‌توان کاهش بیشتر قابلیت دسترسی به کربن در خاک تحت کشت شبدر در این سطح شوری را نیز به دلیل کاهش بیشتر زیتوده ریشه این گیاه در مقایسه با زیتوده ریشه گندم دانست. در شوری ۱۰ $dS\ m^{-1}$ تفاوت معنی‌دار در این شاخص بین دو محیط خاک تحت کشت شبدر و محیط بدون کشت مشاهده نشد ($P>0/05$) اما با خاک تحت کشت گندم تفاوت معنی‌دار بود. در این سطح شوری، این شاخص در خاک تحت کشت شبدر به صفر نزدیک شد که بیانگر وجود محدودیت کربن در این محیط می‌باشد. یافته‌های به دست آمده نشان می‌دهند که در شوری‌های زیاد، شاخص قابلیت دسترسی به کربن در خاک‌های تحت کشت به شاخص یاد شده در محیط بدون کشت نزدیک می‌گردد (عدد صفر) که نشان دهنده آن است که شوری با تأثیر بر زیتوده ریشه و کاهش رشد و احتمالاً ترشحات آن موجب می‌شود تا در این محیط‌ها ریزجانداران با محدودیت کربن برای تنفس روبه‌رو شوند.

نتیجه‌گیری

به طور کلی، نتایج به دست آمده از بررسی اثر شوری بر شاخص‌های میکروبی در سه محیط خاک تحت کشت شبدر، گندم و محیط بدون گیاه نشان داد که در سطوح بالای شوری، شاخص‌های میکروبی خاک تحت کشت گندم و شبدر به شاخص‌های میکروبی خاک بدون کشت نزدیک می‌شوند و تفاوت کمتری در فعالیت میکروبی بین سه محیط مختلف مشاهده می‌گردد که نشان‌دهنده آن است که در شوری‌های زیاد، نقش محرک گیاه بر فعالیت میکروبی کم‌رنگ‌تر می‌گردد. داده‌های به دست آمده از بررسی شاخص قابلیت دسترسی به کربن نیز این مطلب را تأیید می‌کند. زیرا دیده شد که در سطوح پایین شوری محدودیت کربن در خاک تحت کشت گندم و شبدر وجود ندارد اما با افزایش شوری این شاخص به صفر نزدیک شده که بیانگر وجود محدودیت کربن برای تنفس در این محیط‌ها می‌باشد. هم‌چنین، پایین‌تر بودن نسبت qCO_2 در خاک تحت کشت گندم و شبدر در مقایسه با خاک بدون گیاه، نشان دهنده نقش حمایت کنندگی ریشه و احتمالاً ترشحات آن بر فعالیت میکروبی در محیط‌های شور می‌باشد. وجود هم‌بستگی معنی‌دار ($P<0/05$) بین شاخص‌های میکروبی و زیتوده ریشه گندم و شبدر نیز این مطلب را به طور مضاعف تأیید می‌کند. به طور کلی، نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد که حضور گیاه اثر تنش شوری بر فعالیت ریزجانداران خاک را، به‌ویژه در سطوح متوسط شوری، تا اندازه‌ای تعدیل می‌نماید. اما میزان این تعدیل به نوع گیاه و سطح شوری بستگی دارد.

منابع مورد استفاده

1. Alef, K. and P. Nannipieri. 1995. Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry. Academic Press, London.
2. Anderson, J. P. E. 1982. Soil respiration. PP. 831-871. *In*: Methods of soil analysis. Part 2: Chemical and Microbiological Propertiese, Page A.L. and Miller, R.H. (Eds.), American Society of Agronomy. Madison. 831-871.

Archive of SID
www.SID.ir

3. Anderson, TH. and KH. Domsch. 1993 .The metabolic quotient for CO_2 (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. Soil Biol. Biochem. 25:393-395.
4. Batra, L. and M.C. Manna. 1997. Dehydrogenase activity and microbial biomass carbon in salt-affected soils of semiarid and arid regions. Arid Soil Res. Rehab. 11:295- 303.
5. Bowen, G. D. and A. D. Rovira. 1976. Microbial colonization of plant roots. Annu. Rev. Phytopathol. 14:121-144.
6. Cheng, W., D. C. Coleman, C. R. Carroll and C. A. Hoffman. 1993. In situ measurements of root respiration and soluble carbon concentrations in the rhizosphere. Soil Biol. Biochem. 25:1189-1196.
7. Ghollarata, M. and F. Raiesi. 2007. The adverse effect of soil salinization on the growth of *Trifolium alexandrinum* L. and associated microbial and biological properties in a soil from Iran. Soil Biol. Biochem. 39:1699-1702.
8. Graystone, S.J., D. Vaughan and D. Jones. 1997. Rhizosphere carbon flow in trees, in comparison with annual plants: The importance of root exudations and its impact on microbial activity and nutrient availability. Appl. Soil Ecol. 5:29-56.
9. Jenkinson, D. S. and D. S. Powelson. 1976. The effect of biocidal treatments of metabolism in soil-V: A method for measuring soil biomass. Soil Biol. Biochem. 8:209-213.
10. Kaur, B. A. K. Aggarwal and S. R. Gupta. 1998. Soil microbial biomass and nitrogen mineralization in salt-affected soils. J. Ecol. Exp. Sci. 24:103-111.
11. Killham, K. 1994. Soil Ecology. Cambridge University Press, UK.
12. Li, X. F. Li, B. Singh, Z. Cui and Z. Rengel. 2006. Decomposition of maize straw in saline soil. Biol. Fert. Soils 42:366-370.
13. Luna-Guido, M. L. R.I. Beltran-Hernandez and L. Dendooven. 2001. Dynamics of 14C- labelled glucose in alkaline saline soil. Soil Biol. Biochem. 33:707-719.
14. Lynch, J.M. and J.M. Whipps. 1990. Substrate flow in the rhizosphere. Plant Soil 129: 1-10.
15. Nelson, P.N. J.N. Ladd and J.M. Oades. 1996. Decomposition of 14C-labelled plant material in a salt-affected soil. Soil Biol. Biochem. 28:433-441.
16. Okur, N., M. Cengel and S. Goemez. 2002. Influence of salinity on microbial respiration and enzyme activity of soils. Proceedings of the International Symposium on Techniques to Control Salinization of Horticultural Productivity. 573:198-194.
17. Pankhurst, C. E., S. Yu, B. G. Hawke and B. D. Harch. 2001. Capacity of fatty acid profiles and substrate utilization patterns to describe differences in soil microbial communities associated with increased salinity or alkalinity on three locations in south Australia. Soil Biol. Biochem. 33:204-217.
18. Pathak, H. and D. L. N. Rao. 1998. Carbon and nitrogen mineralization from added organic matter in saline and alkali soils. Soil Biol. Biochem. 35 :695 – 702.
19. Rietz, D. N. and R.J. Haynes. 2003. Effects of irrigation–induced salinity on soil microbial activity. Soil Biol Biochem. 35:845-854.
20. Rao, D. L. N. and H. Pathak. 1996. Ameliorative influence of organic matter on the biological activity of salt-affected soils. Arid Soil Res. Rehab. 10:311-319.
21. Sardinha, M., Y. Muller, H. Schmeisky and R. G. Joergensen. 2003. Microbial performance in soils along a salinity gradient under acidic conditions. Appl. Soil Ecol. 23:237-244.
22. Sarig, S. and Y. Steinberger. 1994. Microbial biomass response to seasonal fluctuation in soil salinity under the canopy of desert halophytes. Soil Biol. Biochem. 26:1405-1408.
23. Sarig, S., A. Fliessbach and Y. Stinberger. 1996. Microbial biomass reflects the nitrogen and phosphorous economy of halophytes grown in salty desert soil. Biol. Fert. Soils 21:128-130.
24. Tripathi, S., S. Kumari, A. Chakraborty, A. Gupta, K. Chakraborty and B. K. Bandyapadhyay. 2006. Microbial biomass and its activities in salt-affected coastal soils. Biol. Fert. Soils 42:273-277.
25. Zahran, H.H. 1997. Diversity, adaptation and activity of the bacterial flora in saline environments. Biol. Fert. Soils 25:211-223.

Archive of SID

www.SID.ir