

اثرات تنش خشکی و تنوع گونه بر کربن و نیتروژن زیست توده میکروبی و فعالیت آنزیم بتاگلوکز آمینیداز خاک ریزوسفری گراس های چمنی

سعید عبدی اردستانی^۱، بنفشه خلیلی^{۱*} و محمدمهدی مجیدی^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۵/۲۹)

چکیده

خشکی بلندمدت یکی از فاکتورهای اصلی تغییرات جهانی اقلیم است که می تواند اثرات منفی قابل توجهی بر چرخه بیوژئوشیمیایی کربن و نیتروژن خاک و کارایی اکوسیستم خاک در شرایط تنش بر جای گذارد. در این تحقیق فرض شده است: (۱) خاک ریزوسفری سه گونه بروموس اینرمیس، داکتیلیس گلومراتا و فستوکا آروندیناسه در پاسخ به تنش خشکی متفاوت خواهد بود و (۲) گونه گیاهی در شرایط خشکی می تواند تأثیرات تعدیل کننده ای بر خصوصیات بیولوژیکی خاک داشته باشد. این فرضیه ها با اندازه گیری کربن و نیتروژن زیست توده میکروبی و فعالیت آنزیم بتاگلوکز آمینیداز خاک ریزوسفری گونه های گراس های بروموس، داکتیلیس و فستوکا در طرح تحقیقاتی بلندمدت خشکی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شد. پاسخ زیست توده میکروبی خاک به تنش خشکی بسته به نوع گونه گیاهی متفاوت بود، به طوری که زیست توده میکروبی خاک ریزوسفری گونه بروموس بیشترین و گونه داکتیلیس کمترین مقدار را داشت و نشان دهنده حساسیت بیشتر گونه داکتیلیس به تنش خشکی بود. پاسخ فعالیت آنزیم بتاگلوکز آمینیداز به تنش خشکی متأثر از نوع ژنوتیپ گیاهی (حساس و مقاوم به خشکی) سه گونه بروموس، داکتیلیس و فستوکا بود، اگر چه به تیمار تنش خشکی و نوع گونه گیاهی حساسیت نشان نداد. بنابراین در شرایط تنش خشکی تأثیرات مثبت ژنوتیپ گیاهی می تواند تأثیرات منفی خشکی بر زیست توده میکروبی و خصوصیات بیولوژیکی خاک را تعدیل کند.

واژه های کلیدی: کربن زیست توده میکروبی، نیتروژن زیست توده میکروبی، فعالیت آنزیم بتاگلوکز آمینیداز، بروموس، فستوکا، داکتیلیس، ژنوتیپ های حساس و مقاوم به خشکی

۱. گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان

۲. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: bkhalili@iut.ac.ir

مقدمه

اقلیم ایران در اکثر مناطق کشور خشک و نیمه‌خشک است و در چند دهه اخیر نشانه‌هایی از تغییرات اقلیمی در آن نمایان شده است. به طوری که این کشور با کسب متوسط شاخص خطر اقلیمی ۶۸/۵، رتبه ۵۹ را در بین ۱۷۹ کشور جهان دارد و بیشترین تأثیر را از تغییر اقلیم طی سال‌های ۲۰۱۳-۱۹۹۴ پذیرفته است (۲۰). خزانه‌داری و همکاران (۱۹) در سازمان ناسا با شبیه‌سازی میزان بارندگی کشور ایران طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ پیش‌بینی کردند که طی ۳۰ سال آینده شرایط خشکسالی در ایران افزایش خواهد یافت. بنابراین وجود شرایط کم‌آبی و خشکسالی در کشور ایران امری اجتناب‌ناپذیر و در حال گسترش است. الیسون و همکاران (۳) نشان دادند خشکسالی به‌طور مستقیم با ایجاد محدودیت رطوبت خاک و به‌طور غیرمستقیم با تغییر در اندازه و ساختار جمعیت میکروبی و ترکیب شیمیایی بقایای گیاهی موجب کاهش تجزیه بقایای گیاهی در خاک شد. در واقع هر چه رطوبت خاک کمتر شود مقدار آب در منافذ خاک کمتر و متعاقباً با کاهش دسترسی منابع مورد نیاز جمعیت میکروبی خاک، موجب کاهش سرعت تجزیه مواد آلی خاک و کاهش تصاعد CO_2 خواهد شد (۱۵، ۲۴ و ۳۳). با وجود این ایوانس و والش‌تین (۱۲) بیان کردند پاسخ ساختار جمعیت میکروبی به خشکی خاک به پیشینه نوسانات خشک و تر شدن خاک بستگی دارد. از سوی دیگر در اکوسیستم‌های علفزار، خشکی می‌تواند از طریق تغییر پوشش گیاهی به گونه‌های مقاوم به خشکی و به‌دنبال آن تغییر در جمعیت میکروبی همراه ریشه، تأثیراتی درازمدت بر جمعیت میکروبی داشته باشد (۱۶).

گیاهان برای مقابله با تنش خشکی مکانیسم‌هایی نظیر افزایش نسبت ریشه به شاخسار، ترشح هورمون‌ها و متابولیت‌های ثانویه را برای تعدیل شرایط خشکی به کار می‌گیرند که این مکانیسم‌ها در گیاه می‌تواند موجب تغییر در ترشح کربن از ریشه به خاک و به‌دنبال آن تغییر در جمعیت‌های میکروبی خاک ریزوسفری گیاه شود (۱۰ و ۲۵). پاسخ گونه‌ها

و حتی ژنوتیپ‌های مختلف گیاهان از نظر تنفس و ترشحات ریشه‌ای در شرایط متفاوت دما و رطوبت یکسان نیست. به‌عنوان مثال تحقیقات سان اله و همکاران (۳۱) نشان داده است که مقدار رطوبت خاک و پوشش گیاهی ۸۴ درصد از تغییرات کربن زیست‌توده میکروبی خاک را توجیه کرده و تحت تنش خشکی، خاک ریزوسفری گیاهان مقاوم به تنش خشکی، فعالیت و زیست‌توده میکروبی بیشتری نسبت به گیاهان حساس به خشکی داشته‌اند (۳۱).

ریزجانداران نقش مهمی در تولید و تجزیه ذخایر کربن خاک دارند به طوری که با مصرف و تجزیه منابع کربن خاک موجب کاهش این منابع شده و یا با تولید زیست‌توده میکروبی موجب تجمع کربن در منابع خاک می‌شوند. کربن زیست‌توده میکروبی به‌سرعت توسط آنزیم‌های خاک تجزیه شده و تنها کربن نکرومس (Necromass) حاصل بیومولکول‌های درون و برون سلولی بقایای میکروبی به شکل پلیمرهای پایدار در خاک تثبیت شده و به‌عنوان منابع پایدار کربن میکروبی خاک در نظر گرفته می‌شوند (۱۴). به‌عنوان مثال قندهای آمین‌دار به‌عنوان اجزای مهم تشکیل‌دهنده نکرومس میکروبی و منابع به‌نسبت پایدار کربن میکروبی در خاک پیشنهاد شده‌اند و می‌توان آنها را به‌عنوان نشانگر زیستی برای تعیین سهم بقایای میکروبی در منابع کربن خاک در نظر گرفت (۲۱، ۲۲ و ۳۴).

آنزیم بتاگلوکزآمینیداز یکی از آنزیم‌های تجزیه‌کننده کیتین است و قندهای آمین‌دار مانند گلوکزآمین، گالاکتوزآمین و پلی‌ساکاریدهای حلقوی را تجزیه می‌کند (۱۱). در شرایط تنش خشکی عواملی از جمله محدودیت دسترسی سوبسترای آنزیم و تغییر ساختار آنزیم موجب کاهش فعالیت آنزیم‌های خاک می‌شود (۲۵ و ۳۳). اگرچه پاسخ فعالیت‌های آنزیمی خاک به رطوبت خاک الگوی متفاوتی نشان داده است (۴ و ۳۳). اکوستامارتینز و همکاران (۲) با مطالعه تأثیرات خشکی و گرما بر فعالیت آنزیمی خاک در سیستم‌های مختلف مدیریتی، گزارش کردند در شرایط خشکی فعالیت آنزیمی خاک در مدیریت تناوب کشت افزایش یافته است که نشان‌دهنده اهمیت

دریا ۱۶۳۰ متر و طبق تقسیم بندی کوپن، دارای اقلیم نیمه خشک و خنک با تابستان های خشک است. میانگین بارندگی و دمای سالیانه به ترتیب ۱۴۰/۵ میلی متر و ۱۴/۵ درجه سانتی گراد است. ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم در این خاک به ترتیب ۲۳ و ۱۰ درصد وزنی است. بافت خاک لوم رسی با جرم مخصوص ظاهری ۱/۳ گرم بر سانتی متر مکعب بوده و متوسط pH آن حدود ۷/۵ است (۲۸ و ۲۹).

در طرح به نژادی مذکور، ۱۱ ژنوتیپ از هر سه گونه بروموس، داکتیلیس و فستوکا بر اساس مطالعات قبلی انتخاب شده اند. هر یک از ژنوتیپ ها از طریق تقسیم بوته کلون گیری و در دو طرح مجاور، هر کدام در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با ۶ تکرار برای ایجاد دو محیط رطوبتی در اسفند ۱۳۹۱ با فاصله بین بوته ای ۵۰ سانتی متر کشت شده اند (۲۹). عملیات داشت شامل آبیاری، کوددهی و وجین در طی فصل رشد به طور مرتب انجام گرفته و طی سال های ۹۲ تا ۹۵ تیمار بدون تنش و تنش خشکی اعمال شده است (۲۸، ۲۹ و ۳۰).

پس از کشت و استقرار گیاهان، رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه (عمق های ۰-۲۰، ۲۰-۴۰ و ۴۰-۶۰ سانتی متری) هر دو روز اندازه گیری شده و مقدار آب آبیاری مورد نیاز برای رسیدن به حد مورد نظر بر اساس ظرفیت زراعی مزرعه (برای تیمار نرمال ۵۰ درصد و برای تیمار تنش خشکی ۹۰ درصد) تعیین و سپس در هر دو تیمار آبیاری اعمال شده است برای تعیین زمان آبیاری دوم به بعد در هر تیمار و اعمال شرایط تنش خشکی، نیاز به اندازه گیری رطوبت خاک در هر دوره آبیاری بوده و به منظور کاهش تعداد اندازه گیری رطوبت خاک، از روش پیش بینی با استفاده از اندازه گیری تبخیر و تعرق تجمعی استفاده شده است، به طوری که پس از هر بار آبیاری مقدار تجمعی تبخیر و تعرق با استفاده از رابطه فائو- پنمن-مانتیت با اعمال ضریب گیاهی هر سه گونه طی دوره رشد محاسبه شد و پس از رسیدن مقدار تبخیر و تعرق تجمعی در تیمار مورد نظر به عمق مجاز تخلیه رطوبتی از عمق توسعه ریشه در تیمار مورد نظر رسید، آبیاری انجام گرفته است. زمان آبیاری برای دو

نوع مدیریت خاک در حفظ ذخایر آنزیمی و ظرفیت متابولیسی خاک در شرایط محدودیت رطوبتی خاک است. همچنین ساناله و همکاران (۳۱) نشان دادند که فعالیت آنزیم کیتیناز و لوسین آمینوپپتیداز خاک با پوشش گیاه *L. perenne* در تیمار خشکی نسبت به تیمار رطوبت بهینه بیشتر بوده است. این پژوهشگران وجود پوشش گیاهی در خاک و همچنین نوع و تنوع پوشش گیاهی خاک را از عوامل تأثیرگذار بر پاسخ فعالیت آنزیمی خاک به تنش خشکی دانسته اند (۲۸). مطالعات متا آنالیز عباسی و همکاران (۱) نشان داد فعالیت آنزیم های اوره آز، لوسین آمینوپپتیداز و بتاگلوکز آمینیداز خاک به تیمارهای افزایش و کاهش بارندگی پاسخ نشان ندادند و این طور جمع بندی کرده اند که تولید آنزیم های درگیر در چرخه نیتروژن خاک به رطوبت خاک حساس نیست.

با توجه به افزایش شدت و دوره های خشکسالی در ایران و نیاز به شناسایی فعالیت مدیریتی کارا برای تعدیل اثرات خشکی بر اکوسیستم خاکی، این تحقیق با فرض اینکه: (۱) خاک ریزوسفری سه گونه بروموس اینریمیس، داکتیلیس گلومراتا و فستوکا آروندیناسه در پاسخ به تنش خشکی متفاوت خواهد بود و (۲) انتخاب گونه گیاهی مناسب در شرایط خشکی می تواند آثار تعدیل کننده ای بر خصوصیات بیولوژیکی خاک داشته باشد، اجرا شده است.

مواد و روش ها

طرح تحقیقاتی به نژادی سه گونه چمنی علف باغ (*Dactylis glomerata L.*)، علف پشمکی (*Bromus inermis*) و فستوکا (*Festuca arundinacea Schreb.*) طی سال های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان واقع در منطقه لورک نجف آباد اجرا شده است (۲۸ و ۲۹). این مزرعه در ۴۰ کیلومتری جنوب غربی اصفهان در منطقه لورک شهرستان نجف آباد و در عرض جغرافیایی ۲۲ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۳ دقیقه شرقی واقع شده است. ارتفاع مزرعه از سطح

تیمار رطوبتی متفاوت بود. در تیمار نرمال پس از ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی از ظرفیت زراعی و در تیمار تنش پس از ۹۰ درصد تخلیه رطوبتی آبیاری با مقدار آب یکسان انجام شده است. برای اندازه‌گیری میزان آب ورودی به کرت‌ها از کنتور استفاده شده است. طبق محاسبات انجام شده در تیمار بدون تنش دوره آبیاری ۷ تا ۱۰ روز یکبار و در تیمار تنش خشکی ۱۳ تا ۱۸ روز یکبار (بسته به شرایط جوی طی فصل رشد از فروردین تا آذر هر سال) بوده است (۲۸، ۲۹ و ۳۰).

نمونه‌برداری خاک در اردیبهشت ماه ۱۳۹۶ و از عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری خاک ریزوسفری ۱۱ ژنوتیپ انتخاب شده (قسمت خاک ریزوسفری شامل خاک چسبیده به ریشه گیاه است که در اثر الک کردن ریشه‌های گیاه به دست می‌آید) از طرح آزمایشی به‌نژادی گراس‌ها و خاک شاهد (قسمت خاک غیرریزوسفری شامل خاک کنار بوته‌های گیاه که به ریشه نچسبیده و از ریشه فاصله دارد) در مزرعه لورک انجام گرفت. لازم به ذکر است که داده‌های هر تکرار از آزمایش در هر کدام از نواحی خاک ریزوسفری و شاهد، از میانگین سه نمونه خاک حاصل شد. سپس نمونه‌ها برای انجام آزمایش‌های بعدی در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌ها پس از عبور از الک ۲ میلی‌متری به شرح زیر اندازه‌گیری شد. بافت خاک به روش هیدرومتری تعیین شد (۱۳). pH و هدایت الکتریکی (EC) خاک در عصاره ۱ به ۵ خاک به آب به ترتیب با دستگاه pH متر مدل CP-501 و دستگاه هدایت‌سنج متر اهم مدل ۶۴۴ اندازه‌گیری شد. میزان کربن آلی خاک (OC) به روش والکی-بلک (۲۶)، نیتروژن کل خاک با استفاده از دستگاه کلدال مدل ۳۲۰۰ به روش کلدال (۷)، نیتروژن معدنی خاک به روش تقطیر با بخار آب (۱۸)، کربن زیست‌توده میکروبی به روش تدخین-انکوباسیون و نیتروژن زیست‌توده میکروبی به روش تدخین-عصاره‌گیری اندازه‌گیری شدند (۶ و ۸).

به‌منظور تعیین فعالیت آنزیم بتاگلوکزآمینیداز، از روش پرهام و دنگ استفاده شد (۲۷). ابتدا یک گرم خاک با ۰/۲۵

میلی‌لیتر تولوئن تیمار شده در حضور بافر استات ۰/۱ مولار (pH معادل ۵/۵) و یک میلی‌لیتر محلول سوبسترای پارا-نیتروفنول-ان-استیل-بتا-دی-گلوکزآمینیدین با غلظت ۰/۰۱ مولار به مدت ۲ ساعت در دمای ۳۷ درجه سلسیوس قرار گرفت. سپس یک میلی‌لیتر کلرید کلسیم ۰/۵ مولار به همراه ۴ میلی‌لیتر سود ۰/۵ مولار به‌عنوان متوقف‌کننده واکنش به آن افزوده شد و بلافاصله سانتریفیوژ (۱۲۰۰۰ دور بر دقیقه) شد. شدت رنگ محلول رویی حاصل از ترکیب پارا-نیتروفنول-ان-استیل-بتا-دی-گلوکزآمینیدین به‌عنوان سوبسترا با آنزیم مورد نظر با دستگاه اسپکتروفتومتر روی طول موج ۴۱۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (۲۷). در تیمار شاهد نمونه خاک وجود نداشته و پس از ۲ ساعت انکوباسیون سوبسترا به‌همراه متوقف‌کننده‌های واکنش افزوده شد. از تفاضل مقدار پارانیتروفنول نمونه‌ها از تیمار شاهد، فعالیت آنزیم بر حسب میکروگرم پارا-نیتروفنول بر گرم بر ساعت محاسبه شد.

به‌منظور انجام تجزیه و تحلیل‌های آماری، تأثیر تنش خشکی و سه گونه گراس چمنی پس از ۴ سال اعمال تنش خشکی، به‌صورت تجزیه مرکب دو محیط رطوبتی در قالب طرح بلوک کامل تصادفی بررسی شد. تجزیه واریانس با استفاده از نرم افزار SAS 9.4، مقایسه میانگین‌ها به روش LSD (حداقل اختلاف معنی‌دار فیششر) در سطح احتمال ۵ درصد، رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel 2013 و آنالیز مؤلفه‌های اصلی با استفاده از نرم‌افزار Statgraphics XVII انجام گرفت.

نتایج و بحث

برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. میانگین کربن آلی خاک ریزوسفری در شرایط تنش و بدون تنش خشکی برابر ۱/۰۲ درصد بود که به میزان ۲۰/۶ درصد بیشتر از خاک شاهد است و نشان‌دهنده افزایش مواد آلی خاک حاوی گیاه است.

تجزیه واریانس اثر دو تیمار رطوبتی، ۳ گونه گراس و اثر متقابل آنها بر فعالیت آنزیم بتاگلوکزآمینیداز، کربن زیست‌توده

جدول ۱. برخی مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه لورک

نوع مدیریت	pH	EC (dS m ⁻¹)	کربن آلی (%)	نیتروژن کل (%)	نسبت C/N	بافت خاک
بدون تنش	۸/۱۵۱	۰/۴۶	۱/۰۲	۰/۱۱۰	۹/۲۶	لوم رسی
شاهد* بدون تنش	۸/۰۲	۰/۵۱	۰/۸۱	۰/۱۰۳	۷/۹۵	لوم رسی
تنش خشکی	۸/۲۴	۰/۳۹	۱/۰۲	۰/۱۱۱	۹/۲۹	لوم رسی
شاهد تنش خشکی	۸/۰۲	۰/۵۱	۰/۸۱	۰/۱۰۳	۷/۹۵	لوم رسی

۱. کلیه عداد به صورت میانگین گزارش شده است.

*. خاک شاهد نماینده خاک غیرریزوسفری در دو محیط بدون تنش و تنش خشکی است.

ریزوسفری گیاه شود (۱۰ و ۱۷). در تحقیق حاضر نیز افزایش کربن زیست توده میکروبی در خاک ریزوسفری گونه بروموس می تواند به دلیل سیستم ریشه ای گسترده و رونده و افزایش ترشحات و حجم ریشه در شرایط تنش باشد که می تواند موجب افزایش جمعیت میکروبی در ریزوسفر شود (۲۹). این شرایط در مورد گونه های داکتیلیس و فستوکا متفاوت بوده و سیستم ریشه ای این دو گونه گیاهی کوچک و ضعیف است. ساناله و همکاران (۳۲) با استفاده از ردیابی کربن ۱۴ در شرایط تنش خشکی و بهینه آبیاری در سه گونه گیاهی چمنی از جمله فستوکا دریافتند در شرایط خشکی بخش قابل توجهی از کربن اتمسفر به ریشه اختصاص داده شده و به غیر از گیاهان لگوم در سایر گونه های گیاهی تنفس ریشه در شرایط تنش خشکی کاهش یافته است. همچنین نشان دادند فعالیت میکروبی نسبت به ریشه تأثیر کمتری از تنش خشکی پذیرفته است که دلیل آن می تواند هزینه ریشه گیاه برای حفظ جمعیت میکروبی در هنگام تنش و استرس باشد (۳۲). بر خلاف نتایج این پژوهش، این پژوهشگران افزایش معنی دار کربن زیست توده میکروبی در شرایط تنش خشکی در مقایسه با شرایط بدون تنش در خاک گیاه فستوکا را گزارش داده اند که می تواند به علت افزایش ترشحات ریشه برای جذب بیشتر عناصر غذایی و آب باشد (۳۱).

مقدار نیتروژن زیست توده میکروبی در گونه بروموس در

میکروبی، نیتروژن زیست توده میکروبی، کربن آلی و نیتروژن معدنی در خاک ریزوسفری گراس ها، در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر اصلی تنش خشکی بر نیتروژن زیست توده میکروبی در سطح احتمال ۱ درصد و بر غلظت نیتروژن معدنی در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار بود (جدول ۲). اثر اصلی گونه بر کربن زیست توده میکروبی، نیتروژن زیست توده میکروبی، کربن آلی و نیتروژن معدنی و در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۲). در شرایط تنش خشکی کربن زیست توده میکروبی در گونه داکتیلیس کمترین (۲۴۵ میلی گرم کربن بر کیلوگرم خاک) و در گونه بروموس بیشترین مقدار (۳۷۴ میلی گرم کربن بر کیلوگرم خاک) بود (جدول ۳). بنابراین فراوانی جمعیت میکروبی ریزوسفر داکتیلیس بیشترین حساسیت را نسبت به دو گونه دیگر در تنش خشکی نشان داده است. مقدار کربن زیست توده میکروبی در خاک شاهد برابر ۱۶۶ میلی گرم کربن بر کیلوگرم خاک مشاهده شد که به طور معنی داری از مقدار تمام گونه ها در شرایط بدون تنش کمتر است (جدول ۳). گیاهان برای مقابله با تنش خشکی مکانیسم هایی نظیر افزایش نسبت ریشه به اندام هوایی، ترشح هورمون ها و متابولیت های ثانویه را برای تعدیل شرایط خشکی به کار می گیرند که این مکانیسم ها در گیاه، می تواند از طریق ترشحات ریشه موجب تغییر در ورودی کربن به خاک ریزوسفری و به دنبال آن تغییر جمعیت میکروبی در خاک

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در چهار تیمار (۳ گونه گراس و خاک شاهد) در شرایط بدون تنش و تنش خشکی

میانگین مربعات						
منابع تغییرات	درجه آزادی	کربن زیست‌توده میکروبی	نیترژن زیست‌توده میکروبی	بتاگلوکز آمینیداز	کربن آلی	نیترژن معدنی
تنش خشکی	۱	۶۵۷۹	۳۷۱۶*	۳۸/۷	۰/۰۰۰	۳۴۶*
خطا	۴	۱۴۶۸۳	۴۲۶	۶۰/۵	۰/۰۶۱	۱۱۵
تیمار	۳	۶۲۹۰۵**	۵۸۳۵**	۴۱/۹	۰/۱۹۵**	۸۰۶**
گونه × تنش خشکی	۳	۲۱۸۷۹	۱۸۱۳	۱۱/۷	۰/۰۲۷	۱۴۳
خطا کل	۶۰	۱۴۵۲۲	۸۳۹	۴۵/۶	۰/۰۲۸	۱۰۲/۳
ضریب تغییرات (%)		۳۸/۲	۳۳/۸	۲۲/۸	۱۶/۸	۳۹/۷

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد (سایر موارد از لحاظ آماری معنی‌دار نیست).

جدول ۳. مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه در خاک ریزوسفری گونه‌های گیاهی در دو محیط رطوبتی تنش خشکی و بدون تنش خشکی

صفات	واحد	گونه‌های گیاهی					
		فستوکا		داکتیلیس		بروموس	
		بدون تنش	تنش خشکی	بدون تنش	تنش خشکی	بدون تنش	تنش خشکی
کربن زیست‌توده میکروبی (Cmic)	mg C/kg soil	۳۶ ^a	۳۲۴ ^{abc}	۳۴۶ ^a	۲۴۵ ^{bc}	۳۲۹ ^{ab}	۳۷۴ ^a
نیترژن زیست‌توده میکروبی (Nmic)	mg N/kg soil	۱۰۹ ^{ab}	۷۲ ^c	۶۴ ^c	۶۵ ^c	۱۱۸ ^a	۸۶ ^{bc}
آنزیم بتاگلوکز آمینیداز	μgPNP/g.h	۳۱ ^a	۳۱ ^a	۳۰ ^a	۲۷ ^a	۳۲ ^a	۲۹ ^a
کسر متابولیک (qCO ₂)	mg CO ₂ -C (mgCmic) ⁻¹ h ⁻¹	۰/۳۹ ^b	۰/۵ ^{ab}	۰/۳۴ ^b	۰/۵۶ ^{ab}	۰/۴۱ ^b	۰/۴۹ ^{ab}
کربن آلی	درصد	۱/۱۵ ^a	۱/۰۹ ^{ab}	۰/۹ ^c	۰/۹۸ ^{bc}	۱/۰۶ ^{ab}	۰/۹۹ ^{bc}
نیترژن معدنی	mg N/Kg soil	۲۱ ^c	۳۳ ^{ab}	۲۳ ^c	۲۳ ^c	۱۹ ^c	۲۶ ^{bc}
نیترژن کل	درصد	۰/۱۲ ^a	۰/۱۱ ^a	۰/۱ ^b	۰/۱ ^{ab}	۰/۱۲ ^a	۰/۱۲ ^a

حروف یکسان در هر صفت نشانه عدم تفاوت معنادار تیمارها با یکدیگر است.

نیترژن بر کیلوگرم خاک) را به‌خود اختصاص داده است (جدول ۳). نیترژن زیست‌توده میکروبی در ریزوسفر گونه فستوکا روند مشابهی با گونه بروموس در دو محیط رطوبتی نشان داد و به‌طور معنی‌داری در حالت تنش خشکی نسبت به حالت عدم تنش خشکی کاهش یافته است (جدول ۳). نسبت کربن زیست‌توده میکروبی به نیترژن زیست‌توده میکروبی (Cmic/Nmic) در ریزوسفر بروموس و فستوکا در شرایط

شرایط تنش خشکی (۸۶ میلی‌گرم نیترژن بر کیلوگرم خاک) نسبت به بدون تنش (۱۱۸ میلی‌گرم نیترژن بر کیلوگرم خاک) کاهش معنی‌داری نشان داد (جدول ۳). در گونه داکتیلیس، بین میانگین نیترژن زیست‌توده میکروبی در حالت تنش خشکی و بدون تنش خشکی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، اما در مقایسه با سایر گونه‌ها کمترین مقدار نیترژن زیست‌توده میکروبی در شرایط تنش و بدون تنش (۶۴ و ۶۵ میلی‌گرم

ندادند. اما کسر متابولیک خاک شاهد نسبت به خاک ریزوسفری همه گونه‌ها در شرایط بدون تنش به‌طور معنی‌داری (سطح احتمال ۵٪) بیشتر بود. هیو و همکاران (۱۵) نشان دادند با کاهش رطوبت خاک کسر متابولیکی به‌طور خطی افزایش می‌یابد و علت احتمالی این افزایش را مقاومت میکروبی به خشکی و یا تغییر ساختار جمعیت میکروبی به جمعیتی با سرعت فعالیت متابولیکی متفاوت دانسته‌اند.

این روند در مورد میانگین کربن آلی نیز صادق بود، به گونه‌ای که اختلاف معنی‌داری در میانگین کربن آلی بین دو محیط رطوبتی و همچنین بین گونه‌های گیاهی مورد نظر مشاهده نشد. بیشترین مقدار نیتروژن معدنی (نیترات و آمونیوم) در خاک شاهد و برابر ۴۴ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک بود که به‌طور معنی‌داری مقدار آن در خاک ریزوسفری گونه‌ها به‌ویژه در تیمار بدون تنش کاهش یافته است که این کاهش در گونه فستوکا معنی‌دار (۳۳ در مقابل ۲۱ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک) بود (جدول ۳) و نشان‌دهنده تجمع نیتروژن معدنی در خاک شاهد بدون پوشش گیاهی و مصرف بیشتر نیتروژن معدنی توسط گیاه و جمعیت میکروبی در خاک ریزوسفری است (۵). نیتروژن کل نیز مانند آنزیم بتاگلوکزآمینیداز روند مشابهی داشتند و در اکثر موارد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳).

نتایج مقایسه میانگین دو محیط رطوبتی نشان داد در اثر تنش خشکی نیتروژن زیست توده میکروبی ۲۲/۹ درصد کاهش ولی غلظت نیتروژن معدنی ۲۸/۶ درصد افزایش یافته، همچنین کربن زیست توده میکروبی و آنزیم بتاگلوکزآمینیداز تحت تأثیر تیمار رطوبتی قرار نگرفته‌اند (جدول ۴).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد تأثیر ژنوتیپ و برهم‌کنش ژنوتیپ و تنش خشکی بر فعالیت آنزیم بتاگلوکزآمینیداز به‌ترتیب در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین انجام شده به‌روش LSD در سطح احتمال ۵ درصد بوده و اختلاف دو عدد در هر صفت بیشتر از مقدار LSD، نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار آن دو عدد با یکدیگر است (جدول ۶). در اثر

تنش نسبت به بدون تنش به ترتیب از ۲/۸ به ۴/۳۴ و از ۳/۳ به ۴/۵ افزایش یافته است. اما در ریزوسفر داکتلیس تنش خشکی موجب کاهش Cmic/Nmic از ۵/۴ به ۳/۷ شده است (جدول ۳). نسبت Cmic/Nmic معمولاً به‌عنوان شاخص ساختار و وضعیت جمعیت میکروبی خاک به‌کار می‌رود. به‌طوری که هر چه این نسبت بیشتر باشد سهم قارچ‌های خاکزی بیشتر از جمعیت باکتری‌ها است و بالعکس (۲۳). نسبت Cmic/Nmic جمعیت میکروبی خاک تحت تأثیر رطوبت و مقدار مواد آلی خاک و همچنین تراکم و عمق ریشه و نوع ترشحات ریشه است (۲۳ و ۳۵). بنابراین با توجه به تغییر نسبت Cmic/Nmic در گونه‌های مختلف تحت شرایط رطوبتی متفاوت در این تحقیق، به‌نظر می‌رسد ساختار جمعیت میکروبی ریزوسفر بسته به نوع گونه گیاه به تنش خشکی پاسخ متفاوت نشان داده است.

میانگین فعالیت آنزیم بتاگلوکزآمینیداز بین گونه‌های مختلف با شاهد و همچنین در شرایط مختلف تنش و بدون تنش خشکی اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۳). مطالعات پیشین عدم تغییر و یا افزایش فعالیت آنزیم بتاگلوکزآمینیداز را در شرایط تنش خشکی گزارش کرده‌اند (۱ و ۲). از مکانیزم‌های احتمالی پاسخ به خشکی این آنزیم‌ها می‌توان به کاهش تولید و فعالیت آنزیم پروتئاز و تخریب خاکدانه‌ها در اثر خشکی اشاره کرد که تجزیه سایر آنزیم‌ها را کاهش و در معرض سوبسترا قرار گرفتن آنزیم‌های تثبیت شده بر سطوح رس‌ها و مواد آلی را افزایش می‌دهد (۲). همچنین بخشی از این آنزیم‌ها از منبع سلول‌های متلاشی شده در اثر خشکی به خاک افزوده می‌شوند. پژوهشگران یکی از دلایل تأثیر نپذیرفتن آنزیم‌هایی از جمله آنزیم بتاگلوکزآمینیداز از تنش خشکی را تغییر ساختار جمعیت میکروبی و افزایش جمعیت قارچ‌های خاکزی که بقایای آنها سوبسترای اصلی این آنزیم هستند، دانسته‌اند (۲ و ۹).

کسر متابولیک در شرایط تنش خشکی و بدون تنش در خاک ریزوسفری گونه‌های مطالعه شده تفاوت معنی‌دار نشان

جدول ۴. مقایسه میانگین دو تیمار بدون تنش و تنش خشکی در خاک ریزوسفری گونه‌های گیاهی

محیط رطوبتی		واحد	صفات
بدون تنش	تنش خشکی		
۳۱۲a	۳۴۳a	mg C/kg soil	کربن زیست‌توده میکروبی
۷۴b	۹۶a	mg N/kg soil	نیتروژن زیست‌توده میکروبی
۲۸a	۳۱a	µgPNP/g.h	آنزیم بتاگلوکزآمینیداز
۲۷a	۲۱b	mgN/kg soil	نیتروژن معدنی

حروف یکسان نشان‌دهنده نبود تفاوت معنی‌دار در هر ردیف بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد است.

جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس فعالیت آنزیم بتاگلوکزآمینیداز در ۱۱ ژنوتیپ از سه گونه گراس تحت شرایط بدون تنش و تنش خشکی

میانگین مربعات	درجه آزادی	منابع تغییرات
آنزیم بتاگلوکزآمینیداز		
۹۹/۱	۱	تنش خشکی
۶۵/۰	۴	خطا
۸۱/۱**	۱۰	ژنوتیپ گیاهی
۶۰/۱*	۱۰	ژنوتیپ × تنش خشکی
۲۹/۸	۴۰	خطا کل
۱۸/۳		ضریب تغییرات (%)

***, ** به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد.

پاسخ فعالیت آنزیمی خاک‌ها به نوع پوشش گیاهی آنها وابسته است و بیشتر در خاک‌هایی که تنوع پوشش گیاهی زیاد است با افزایش ورودی مواد آلی به خاک مقاومت آنزیم‌های خاک به تخریب و یا هیدرولیز پروتئاز در شرایط خشکی افزایش می‌یابد.

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در تیمار تنش خشکی نشان داد که سه مؤلفه اول در مجموع ۷۷/۱۶ درصد از تغییرات کل متغیرها را توجیه کردند (شکل ۱ و جدول ۷). مؤلفه اول ۳۴/۸۲ درصد از تغییرات را توجیه کرد که بیشترین بار مؤلفه‌ای مربوط به کربن زیست‌توده میکروبی، نیتروژن کل، فعالیت آنزیم بتاگلوکزآمینیداز بود. هرچه مؤلفه اول بیشتر باشد کربن زیست‌توده میکروبی و فعالیت آنزیم بتاگلوکزآمینیداز در آن ژنوتیپ

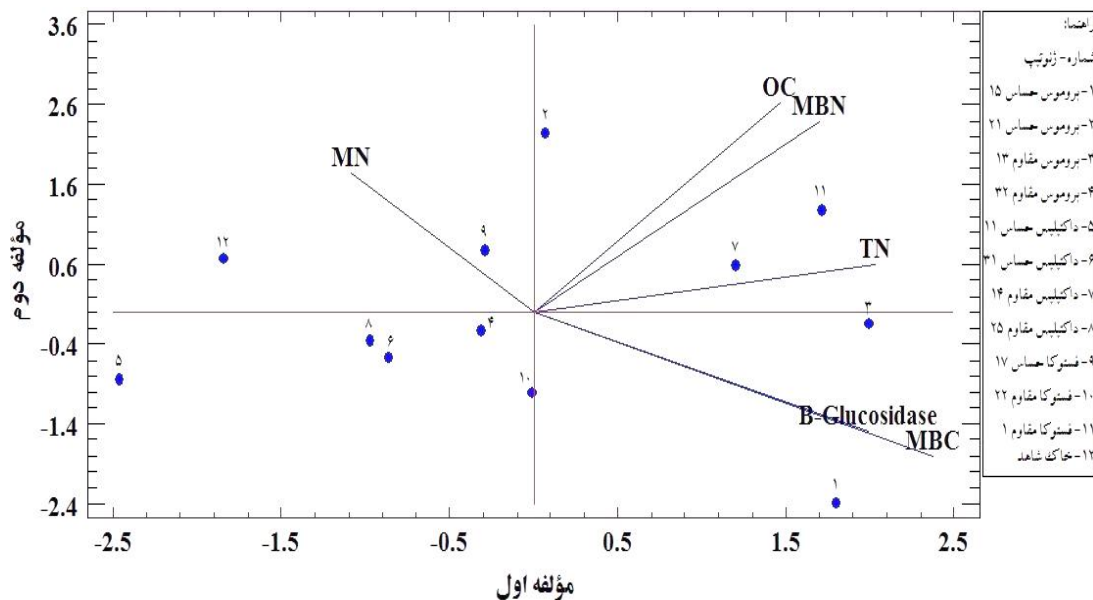
تنش خشکی فعالیت آنزیم بتاگلوکزآمینیداز در اکثر ژنوتیپ‌ها کاهش ولی در ژنوتیپ‌های بروموس اس ۱۵ و ۲۱، داکتیلیس تی ۲۵ و فستوکا تی میان‌رس ۱ افزایش یافت. بیشترین میزان کاهش در ژنوتیپ داکتیلیس اس ۱۱ (۳۶/۴ درصد کاهش) مشاهده شد. بیشترین میزان افزایش فعالیت آنزیم بتاگلوکزآمینیداز در اثر تنش خشکی در ژنوتیپ فستوکا تی میان‌رس ۱ (۴۸/۶ درصد) بود.

بیشترین و کمترین فعالیت آنزیم بتاگلوکزآمینیداز در تیمار بدون تنش به ژنوتیپ‌های فستوکا تی دیررس ۲۲ و فستوکا تی میان‌رس ۱ تعلق داشت (جدول ۶). بنابراین پاسخ فعالیت آنزیم بتاگلوکزآمینیداز به تنش خشکی بسته به نوع گونه گیاه متفاوت است. اکوستامارتینز و همکاران (۲) گزارش کردند

جدول ۶. مقایسه میانگین فعالیت آنزیم بتاگلوکزآمینیداز در خاک ریزوسفری تحت ترکیبات تیمارهای مختلف

در شرایط بدون تنش و تنش خشکی

ژنوتیپ - کد	مقاومت به خشکی	آنزیم بتاگلوکزآمینیداز ($\mu\text{gPNP/g.h}$)
	بدون تنش	تنش خشکی
بروموس-اس-۱۵	۳۴/۱	۳۶/۹
بروموس-اس-۲۱	۲۶/۳	۲۶/۵
بروموس-تی-۱۳	۳۴/۰	۲۹/۲
بروموس-تی-۳۲	۳۱/۲	۲۲/۹
داکتیلیس-اس-۱۱	۳۴/۹	۲۲/۲
داکتیلیس-اس-۳۱	۳۱/۴	۲۹/۹
داکتیلیس-تی-۱۴	۳۱/۱	۲۷/۴
داکتیلیس-تی-۲۵	۲۳/۹	۲۶/۶
فستوکا-اس-زودرس-۱۷	۳۱/۶	۲۶/۳
فستوکا-تی-دیررس-۲۲	۴۰/۲	۳۳/۳
فستوکا-تی-میانرس-۱	۲۱/۸	۳۲/۴
شاهد	۲۶/۶	۲۶/۶
	۶/۳	LSD %۵



شکل ۱. بای پلات مؤلفه‌های اصلی اول و دوم برای ۶ صفت اندازه‌گیری شده و سه گونه گراس بروموس، داکتیلیس و فستوکا در شرایط تنش خشکی (MBC: کربن زیست توده میکروبی، MBN: نیتروژن زیست توده میکروبی، B-Glucosidase: فعالیت آنزیم بتاگلوکزآمینیداز، TN: نیتروژن کل، OC: درصد کربن آلی و MN: نیتروژن معدنی)

جدول ۷. نتایج تجزیه مؤلفه‌ها برای صفات مورد مطالعه در خاک ریزوسفری در سه گونه گراس و نسبت واریانس توجیه شده توسط هر عامل در تیمار تنش خشکی

مؤلفه اول	مؤلفه دوم	مؤلفه سوم	مؤلفه چهارم	صفات
۰/۵۳	-۰/۳۸	۰/۱۷	۰/۲۱	کربن زیست‌توده میکروبی
۰/۳۸	۰/۵۱	۰/۲۵	۰/۰۱	نیتروژن زیست‌توده میکروبی
۰/۴۴	-۰/۳۲	۰/۴۹	-۰/۲۸	فعالیت آنزیم بتاگلوکزآمینیداز
۰/۳۲	۰/۵۶	-۰/۱۵	-۰/۴۹	کربن آلی
-۰/۲۴	۰/۳۷	۰/۶۴	۰/۴۸	نیتروژن معدنی
۰/۴۵	۰/۱۲	-۰/۴۶	۰/۶۲	نیتروژن کل
۳۴/۸۲	۲۴/۲۷	۱۸/۰۶	۱۰/۹۵	واریانس توجیه شده
۳۴/۸۲	۵۹/۰۹	۷۷/۱۶	۸۸/۱۴	واریانس توجیه شده تجمعی

مقدار مؤلفه اول کمتری نسبت به اکثر ژنوتیپ‌ها داشت (شکل ۱، جدول ۷).

نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر با مطالعه تأثیر همزمان نوع گونه گیاهی و تنش خشکی بر پاسخ فعالیت آنزیم بتاگلوکزآمینیداز و زیست‌توده میکروبی خاک ریزوسفری نشان داد پاسخ زیست‌توده میکروبی خاک به تنش خشکی بسته به نوع گونه گیاهی متفاوت است. به طوری که زیست‌توده میکروبی خاک ریزوسفری گونه بروموس کمترین حساسیت به تنش خشکی و گونه داکتیلیس بیشترین حساسیت به تنش خشکی را نشان دادند که بیانگر این نکته است در شرایط تنش خشکی نوع پوشش گیاهی خاک می‌تواند تأثیرات منفی خشکی بر زیست‌توده میکروبی خاک و به دنبال آن چرخه بیورژوشیمیایی خاک را تعدیل کند. پاسخ فعالیت آنزیم بتاگلوکزآمینیداز به تنش خشکی متأثر از نوع ژنوتیپ گیاهی (حساس و مقاوم به خشکی) سه گونه بروموس، داکتیلیس و فستوکا بود اگرچه به تیمار تنش خشکی و نوع گونه گیاهی حساسیت نشان نداد. بنابراین احتمالاً با انتخاب ژنوتیپ مناسب در شرایط تنش خشکی می‌توان ظرفیت‌های متابولیک خاک در شرایط استرس‌زا را حفظ و اثرات تنش را تعدیل کرد.

گیاهی بیشتر بوده و انتخاب بر اساس این مؤلفه موجب گزینش ژنوتیپ‌های گیاهی با جمعیت میکروبی و تجزیه میکروبی بیشتر خواهد شد. مؤلفه دوم ۲۴/۲۷ درصد تغییرات را توجیه کرد که بیشترین تغییرات مربوط به صفات نیتروژن زیست‌توده میکروبی، کربن آلی و نیتروژن معدنی بود و همبستگی منفی با کربن زیست‌توده میکروبی و مقدار آنزیم بتاگلوکزآمینیداز دارد، هرچه مؤلفه دوم بیشتر باشد تجزیه میکروبی کمتر است و انباشته شدن نیتروژن و کربن آلی بیشتر است.

در مجموع انتخاب ژنوتیپ‌های گیاهی با مؤلفه اول بیشتر و مؤلفه دوم نزدیک به صفر حداکثر کارایی در تولید زیست‌توده میکروبی و تولید آنزیم در خاک را خواهند داشت. با توجه به شکل بای پلات تیمار تنش خشکی بر اساس مؤلفه‌های اصلی اول و دوم برای ۶ صفت اندازه‌گیری شده در ریزوسفر سه گونه گراس صفات کربن زیست‌توده میکروبی و فعالیت آنزیم بتاگلوکزآمینیداز بیشترین همبستگی را نشان دادند (شکل ۱، جدول ۷). پراکنش ژنوتیپ‌های سه گونه گراس بروموس، داکتیلیس و فستوکا در شرایط تنش خشکی نشان داد که ژنوتیپ‌های بروموس مقاوم ۱۳، داکتیلیس مقاوم ۱۴ و فستوکا مقاوم ۱ مؤلفه اول بالا و مؤلفه دوم نزدیک به صفر داشتند. خاک شاهد در برابر بقیه تیمارها رفتار کاملاً متفاوتی نشان داد و

منابع مورد استفاده

1. Abbasi, A. O., A. Salazar, Y. Oh, S. Reinsch, M. del Rosario Uribe, J. Li, I. Rashid and J. S. Dukes. 2020. Soil responses to manipulated precipitation changes: A synthesis of meta-analyses. *Biogeosciences* 17(14): 3859-3873.
2. Acosta-Martinez, V., J. Moore-Kucera, J. Cotton, T. Gardner and D. Wester. 2014. Soil enzyme activities during the 2011 Texas record drought/heat wave and implications to biogeochemical cycling and organic matter dynamics. *Applied Soil Ecology* 75: 43-51.
3. Allison, S. D., Y. Lu, C. Weihe, M. L. Goulden, A. C. Martiny, K. K. Treseder and J. B. H. Martiny. 2013. Microbial abundance and composition influence litter decomposition response to environmental change. *Ecology* 94: 714-725.
4. Alster, C. J., D. P. German, Y. Lu and S. D. Allison. 2013. Microbial enzymatic responses to drought and to nitrogen addition in a southern California grassland. *Soil Biology and Biochemistry* 64: 68-79.
5. Aragno, M. 2005. The rhizosphere: a hot spot of bacterial diversity? PP. 261-284. In: Satyanarayana, T. and B. N. Johri (Eds.), *Microbial Diversity: Current Perspectives and Potential Applications*. International Publishing House Pvt. Ltd, New Delhi.
6. Beck, T., R. G. Joergensen, E. Kandeler, F. Makeschin, E. Nuss, H. R. Oberholzer and S. Scheu. 1997. An inter-laboratory comparison of ten different ways of measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry* 29(7): 1023-1032.
7. Bremner, J. M. and C. S. Mulvaney. 1982. Nitrogen-Total 1. PP. 595-624. In: Weaver, R. W., J. S. Angel and P. S. Bottomley (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 2*. American Society of Agronomy, Madison WI, USA.
8. Brookes, P. C., A. Landman, G. Pruden and D. S. Jenkinson. 1985. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biology and Biochemistry* 17: 837-842.
9. Chung, H., D. R. Zak, P. B. Reich and D. S. Ellsworth. 2007. Plant species richness, elevated CO₂, and atmospheric nitrogen deposition alter soil microbial community composition and function. *Global Chang Biology* 13: 980-989.
10. de Vries, F. T., A. Williams, F. Stringer, R. Willcocks, R. McEwing, H. Langridge and A. L. Straathof. 2019. Changes in root exudate induced respiration reveal a novel mechanism through which drought affects ecosystem carbon cycling. *New Phytologist* 224: 132-145.
11. Ekenler, M. and M. A. Tabatabai. 2002. β -glucosaminidase activity of soils: Effect of cropping systems and its relationship to nitrogen mineralization. *Biology and Fertility of Soils* 36: 367-376.
12. Evans, S. and M. Wallenstein. 2011. Soil microbial community response to drying and rewetting stress: do microorganisms adapt to altered rainfall timing. *Biogeochemistry* 109: 101-116.
13. Gee, G. W. and J. W. Bauder. 1986. Particle-size analysis 1. PP. 383-411. In: Klute, A. (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. American Society of Agronomy, Madison WI.
14. Glaser, B., M. B. Turrión and K. Alef. 2004. Amino sugars and muramic acid - Biomarkers for soil microbial community structure analysis. *Soil Biology and Biochemistry* 36: 399-407.
15. Hou, J., F. A. Dijkstra, X. Zhang, C. Wang, X. Lü, P. Wang, X. Han and W. Cheng. 2019. Aridity thresholds of soil microbial metabolic indices along a 3,200 km transect across arid and semi-arid regions in Northern. *PeerJ* 7: e6712.
16. Jansson, J. K. and K. S. Hofmockel. 2019. Soil microbiomes and climate change. *Nature Reviews Microbiology* 18: 35-46.
17. Karcher, D. E., M. D. Richardson, K. Hignight and D. Rush. 2008. Drought tolerance of tall fescue populations selected for high root/shoot ratios and summer survival. *Crop Science* 48: 771-777.
18. Keeney, D. R. and D. W. Nelson. 1983. Nitrogen-inorganic forms. *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties* 9: 643-698.
19. Khazanedari, L., F. Zabol Abbasi, Sh. Ghandhari, M. Kouhi and S. Malbousi. 2009. Drought prediction in Iran during next 30 years. European Conference on Applications of Meteorology.
20. Kreft, S., D. Eckstein, L. Junghans, C. Kerestan and U. Hagen. 2014. Global climate risk index 2015: Who suffers most from extreme weather events?. Weather-related Loss Events in 2013 and 1994 to 2013. *NASA*.
21. Liang, C., J. L. M. Gutknecht and T. C. Balser. 2015. Microbial lipid and amino sugar responses to long-term simulated global environmental changes in a California annual grassland. *Frontiers in Microbiology* 6: 385.
22. Liang, C., R. Fujinuma and T. C. Balser. 2008. Comparing PLFA and amino sugars for microbial analysis in an Upper Michigan old growth forest. *Soil Science Society of America Journal* 40: 2063-2065.
23. Moore, J. M., S. Klose and M. A. Tabatabai. 2000. Soil microbial biomass carbon and nitrogen as affected by cropping systems. *Biology and Fertility of Soils* 31(3-4): 200-210.
24. Moyano, F. E., S. Manzoni and C. Chenu. 2013. Responses of soil heterotrophic respiration to moisture availability: An exploration of processes and models. *Soil Biology and Biochemistry* 59: 72-85.
25. Naylor D. and D. Coleman-Derr. 2018. Drought stress and root-associated bacterial communities. *Frontiers in Plant*

- Science* 8: 2223.
26. Nelson, D. W. and L. Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter 1. PP. 539-579. In: Weaver, R. W., J. S. Angel and P. S. Bottomley. (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. American Society of Agronomy, Madison WI, USA.
 27. Parham, J. A. and S. P. Deng. 2000. Detection, quantification and characterization of β -glucosaminidase activity in soil. *Soil Biology and Biochemistry* 32: 1183-1190.
 28. Saeidnia, F., M. M. Majidi, A. Mirlohi and B. Ahmadi. 2018. Physiological responses of drought tolerance in orchardgrass (*Dactylis glomerata*) in association with persistence and summer dormancy. *Crop and Pasture Science* 69: 515-526
 29. Saeidnia, F., M. M. Majidi and A. Mirlohi. 2016. Physiological and tolerance indices useful for selection drought tolerance in smooth brome grass. *Crop Science* 57: 282-288.
 30. Saeidnia, F., M. M. Majidi, A. Mirlohi and M. Manafi. 2017. Productivity, persistence and traits related to drought tolerance in smooth brome grass. *Plant Breed* 136: 270-278.
 31. Sanaullah, M., E. Blagodatskaya, A. Chabbi, C. Rumpel and Y. Kuzyakov. 2011. Drought effects on microbial biomass and enzyme activities in the rhizosphere of grasses depend on plant community composition. *Applied Soil Ecology* 48: 38-44.
 32. Sanaullah, M., A. Chabbi, C. Rumpel and Y. Kuzyakov. 2012. Carbon allocation in grassland communities under drought stress followed by ^{14}C pulse labeling. *Soil Biology and Biochemistry* 55: 132-139.
 33. Schimel, J. P. 2018. Life in dry soils: effects of drought on soil microbial communities and processes. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 49: 409-432.
 34. Zeglin, L. H., L. A. Kluber and D. D. Myrold. 2013. The importance of amino sugar turnover to C and N cycling in organic horizons of old-growth Douglas-fir forest soils colonized by ectomycorrhizal mats. *Biogeochemistry* 112: 679-693.
 35. Zhao, H., J. Sun, X. Xu and X. Qin, X., 2017. Stoichiometry of soil microbial biomass carbon and microbial biomass nitrogen in China's temperate and alpine grasslands. *European Journal of Soil Biology* 83: 1-8.

Effects of Drought Stress and Species Variation on Carbon and Nitrogen Microbial Biomass and β -glucosaminidase Activity in the Rhizosphere of Grasses

S. Abdi Ardestani¹, B. Khalili^{1*} and M. M. Majidi²

(Received: December 27-2019; Accepted: August 19-2020)

Abstract

Long-term drought effect is one of the main factors of global climate change, with consequences for soil biogeochemical cycling of carbon and nitrogen and the function of soil ecosystem under drought conditions. We hypothesized that 1) the *Bromus inermis*, *Dactylis glomerata* and *festuca arundinacea* species would differ in their rhizosphere responses to drought and 2) combined plant species and drought would have offsetting effects on the soil biological traits. We tested these hypotheses at the long-term drought field experiment at the Lavark Farm of Isfahan University of Technology by analyzing soil microbial biomass carbon and nitrogen and activity of β -glucosaminidase in the rhizosphere of *Bromus inermis*, *Dactylis glomerata* and *festuca arundinacea* species. Soil microbial biomass carbon and nitrogen responses to drought depended on plant species, such that the highest MBC was recorded in the *Bromus inermis* rhizosphere, while the lowest was in the *Dactylis glomerata* rhizosphere, thereby suggesting the greater microbial sensitivity to drought in the *Dactylis glomerata* rhizosphere. Genotype variations (drought tolerate and sensitive) mostly affected the change in the β -glucosaminidase activity, but they were not significantly affected by drought treatment and plant species. In general, the positive effects of the plant genotype could offset the negative consequences of drought for soil microbial biomass and traits.

Keywords: Microbial biomass carbon, Microbial biomass nitrogen, β -glucosaminidase activity, *Bromus inermis*, *Dactylis glomerata*, *Festuca arundinacea*, Drought tolerate and sensitive genotypes.

1. Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

2. Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Corresponding author, Email: bkhalili@iut.ac.ir