

تأثیر گوگرد، فسفر و نقش گیاه بر زیست توده میکروبی و فعالیت فسفاتازهای خاک

شکوفه رضائی^{1*}، کاظم خاوازی، محمدطاهر نظامی و سعید سعادت

دانشجوی دکتری دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، گروه خاکشناسی تهران، ایران؛ Rezaee_sh@yahoo.com

عضو هیأت علمی موسسه تحقیقات خاک و آب کشور؛ Kkhavazi@yahoo.com

عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی، گروه خاکشناسی، کرج، ایران؛ Taher.nezami@yahoo.com

عضو هیأت علمی موسسه تحقیقات خاک و آب کشور؛ Saedsaadat@yahoo.com

چکیده

آنزیم‌های خاک و زیست توده میکروبی نقش اساسی در چرخه عناصر غذایی ایفا کرده و در مقایسه با بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی به تغییرات محیطی و مدیریتی حساستر می‌باشند. از این رو همواره در مواجهه با ورود هر گونه مواد به خاک و یا تغییرات اعمال شده به عنوان شاخص‌های مهم کیفیت خاک مورد ارزیابی و پایش قرار می‌گیرند. گوگرد که از محصولات فرعی پالایشگاه‌های گاز و پتروشیمی است که بالاخص در کشورهای نفت خیز به عنوان اصلاح کننده خاک مطرح می‌باشد. در سال‌های اخیر مصرف گوگرد با فرض کاهش pH خاک‌های آهکی و افزایش قابلیت فراهمی عناصر مهمی چون فسفر، روی و آهن در خاک، مصرف صورتی همگانی در خاک‌های کشاورزی به خود گرفته است. هدف از این مطالعه بررسی تأثیر گوگرد و فسفر و نقش گیاه بر زیست توده میکروبی و فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز اسیدی و قلیایی خاک بوده است. آزمایش به صورت اسپلینت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با 4 سطح گوگرد (0، 500، 1000 و 2000 کیلوگرم در هکتار) و 3 سطح فسفر (شاهد، بر اساس آزمون خاک و 65 درصد آزمون خاک) و دو سطح گیاه (با و بدون کاشت ذرت) در 3 تکرار در شرایط مزرعه اجرا شد. نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که وجود گیاه، کربن زیست توده میکروبی، آنزیم فسفاتاز قلیایی و اسیدی را به طور معنی‌دار افزایش داد. افزایش گوگرد باعث کاهش معنی‌دار کربن زیست توده میکروبی، فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی و اسیدی نسبت به تیمار شاهد شد. افزایش فسفر، کربن زیست توده میکروبی را به طور معنی‌دار کاهش داد ولی کاهش فعالیت فسفاتازها با افزایش فسفر معنی‌دار نبود.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های خاک، کیفیت خاک، زیست توده میکروبی

مقدمه

نزدیک گوگرد تولیدی یکی از معضلات اساسی پالایشگاه‌های کشور به شمار آید. این در حالی است که بخش عمده خاک‌های کشور آهکی بوده (دیوان و فاموری، 1964) و با مصرف گوگرد و متعاقباً اکسیداسیون آن توسط اکسیدکننده‌های گوگرد، ضمن تأمین سولفات مورد نیاز گیاه (آنانند هام و همکاران، 2007)، pH در

گوگرد یکی از محصولات فرعی پالایشگاه‌های گاز و پتروشیمی می‌باشد (جانسون و همکاران، 1999) که در کشورهای تولیدکننده نفت و گاز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در ایران نیز با آغاز تولید گوگرد در حوزه گازی پارس جنوبی و اجرای فازهای بعدی افزایش تولید در پالایشگاه گاز خانگیران، تولید سالانه

¹ نویسنده مسئول، آدرس: تهران، انتهای بلوار شهید اشرفی اصفهانی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

* دریافت: 91/6/21 و پذیرش: 91/8/30

میکروسایتهای خاک کاهش یافته و اختلالات تغذیه‌ای مانند جذب روی، فسفر و آهن نیز مرتفع می‌گردد.

pH خاک ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد (بردی و ویل، 2002). اخیراً مطالعات زیادی در خصوص تأثیر pH خاک بر میکروارگانیسم‌ها، زیست توده میکروبی، فعالیت میکروبی و سایر صفات زیستی خاک انجام شده است. بیشتر مطالعات در این زمینه روی خاک‌های جنگلی متمرکز بوده (بث و همکاران، 1992 و 1995؛ پنانن، 2001؛ بلاگاداتسکایا و اندرسون، 1998؛ فراستگارد و همکاران، 1993؛ بث و اندرسون، 2003) و کمتر به خاک‌های زراعی پرداخته شده است (آراو، 1999؛ بارد گت و همکاران، 2001؛ اسکاتر و فارمن، 2001).

آسیگوپتری و بروک (2008) نشان دادند که بین pH خاک و کربن زیست توده میکروبی همبستگی معنی‌دار وجود داشته و در pH بالای 7 مقدار کربن زیست توده میکروبی حداکثر بود. وانگ و همکاران (2006) نیز طی آزمایشی ارتباط بین pH و فعالیت بیولوژیکی را مورد بررسی قرار دادند. در این آزمایش کاهش pH خاک، موجب افزایش فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی و کاهش معنی‌دار فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی و تنفس شد. جوما و طباطبایی (1977) نیز بیان کردند فعالیت فسفاتاز اسیدی همبستگی معنی‌دار ولی منفی و فعالیت فسفاتاز قلیایی همبستگی مثبتی با pH خاک دارد. با این وجود ویزکوفسکایا و همکاران (2001) گزارش کردند که با افزایش مقدار گوگرد و کاهش pH خاک، فعالیت هر دو نوع فسفاتاز قلیایی و اسیدی کاهش یافته است.

با توجه به آنکه ممکن است در آینده نزدیک گوگرد به طور گسترده‌ای در خاک‌های زراعی ایران مصرف شود ضرورت داشت تا اثرات مصرف آن در سطح مزرعه بر فعالیت آنزیم‌های مهمی چون فسفاتاز قلیایی و اسیدی و زیست توده میکروبی که از جمله شاخص‌های مهم برای ارزیابی کیفیت خاک می‌باشند (ریفالدی و همکاران، 2002؛ میرالس و همکاران، 2007) مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌های مورد استفاده در این تحقیق از آزمایش مزرعه‌ای برداشته شد که در سال 1390 در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی زرقان فارس اجرا گردید. این آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتور اول گوگرد همراه با باکتری‌های اکسیدکننده در 4 سطح شامل: شاهد بدون مصرف گوگرد (S_0)، مصرف

آن به بالغ بر دو میلیون تن رسیده است. با رشد سریع صنایع مذکور در ایران به نظر می‌رسد در آینده ای بسیار در خصوص تأثیر گوگرد در کاهش pH خاک‌های ایران (کریمی‌نیا و شعبانپور، 1382) و نقش آن در جذب عناصر غذایی، تحقیقات گسترده‌ای انجام شده است (نجف زاده و همکاران، 1384؛ کریمی‌نیا و شعبانپور، 1382) ولی تأثیرات آن بر شاخص‌های زیستی خاک به ندرت مورد بررسی قرار گرفته است (آقابابائی و همکاران، 1386).

فعالیت آنزیمی و زیست توده میکروبی از مهم‌ترین شاخص‌های زیستی خاک محسوب می‌شوند. نقش زیست توده میکروبی به عنوان مخزن قابل توجه عناصر غذایی (ویگ و همکاران، 2003) و تغییر و تبدیلات مواد آلی خاک مسلم است، به طوری که گردش و معدنی شدن پیش ماده‌های آلی اغلب ناشی از فعالیت زیست توده میکروبی خاک می‌باشد. زیست توده میکروبی جزء زنده ماده آلی خاک (رایت و همکاران، 2005) و در برگ‌گیرنده باکتری‌ها، اکتینومایست‌ها، قارچ‌ها، پروتوزوا، جلبک‌ها و ریزجانوران خاک می‌باشد و در نهایت حدود 2 درصد کل کربن آلی خاک و 5 درصد نیتروژن آلی را شامل می‌شود (لندی و همکاران، 2000؛ هو و کاو، 2007). معمولاً کربن زیست توده میکروبی را به عنوان برآوردی از فعالیت و حیات توده میکروبی خاک محسوب می‌کنند (پیچ و همکاران، 1982). آنزیم‌ها اساساً از میکروارگانیسم‌های خاک تولید می‌شوند و با وجود مقادیر کم از نقش قابل ملاحظه‌ای در کنترل چرخه عناصر غذایی (نیتروژن، کربن، فسفر و گوگرد) برخوردارند (اون و همکاران، 2002؛ مکوثی و همکاران، 2008). در این میان فسفاتازها گروه وسیعی از آنزیم‌ها می‌باشند که از بین آنها فسفاتاز اسیدی و قلیایی به علت اهمیتی که در معدنی شدن فسفر آلی خاک و تغذیه گیاهان دارند بیش از سایر گروه‌های فسفاتاز مورد توجه قرار گرفته‌اند. فسفاتاز اسیدی در خاک‌های اسیدی و فسفاتاز قلیایی در خاک‌های قلیایی غالب هستند (جوما و طباطبایی، 1977). بسیاری از فاکتورها مانند دما (نیکولاردوت و همکاران، 1994؛ واردل، 1992)، رطوبت (گستل و همکاران، 1993)، مقدار رس (کیسر و همکاران، 1993)، قابلیت دسترسی عناصر غذایی (کلارهولم و راس وال، 1980)، شوری (فول لرعطا و همکاران، 2008)، عناصر سنگین (دیانی و رئیس، 1390)، کودهای شیمیایی و آلی (فریدونی و همکاران، 1389) و pH (آسیگو پتری و بروک، 2008) زیست توده میکروبی و فعالیت آنزیمی را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

گیاه فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک را از طریق تولید ترشحات ریشه تحت تأثیر قرار می‌دهد (بنیزریت و همکاران، 2007؛ ریس و همکاران، 2005؛ پترسون، 2003؛ مارشنر و همکاران، 2004؛ دی ناپیلی و همکاران، 2001). گیاهان به طور مداوم ترکیباتی مانند قندها، اسیدهای آلی، اسیدهای آمینه و ویتامین‌ها را به ریزوسفر آزاد می‌نمایند. به همین دلیل خصوصیات شیمیایی و بیولوژیکی ریزوسفر بسیار متفاوت با منطقه غیر ریزوسفر است (فاکس و همکاران، 1990؛ چن و همکاران، 2001؛ زمیگیسکا و همکاران، 1996). افزایش کربن بیوماس میکروبی در خاک‌های کشت شده احتمالاً به واسطه ترشحات ریشه‌ای است (بنیزری و همکاران، 2007).

ترشحات ریشه محیط ریزوسفر را به محیط مناسب برای فعالیت میکروبی تبدیل می‌کند (تیت، 1995) و رشد گیاه و تولیدات میکروبی را تحریک می‌نماید (سود؛ 2003؛ جو و مازیلا، 2003). افزایش کربن زیست توده میکروبی در خاک ریزوسفر نسبت به خاک غیر ریزوسفر توسط سان و همکاران (2012) نیز گزارش شده است. سانولا و همکاران (2011) نیز گزارش کردند که کربن زیست توده میکروبی در خاک‌های کشت شده به طور معنی‌داری بیشتر از خاک‌های بدون کشت بوده است.

با افزایش مقدار فسفر، کربن زیست توده میکروبی به طور معنی‌دار کاهش یافت (جدول 3). دلیل کاهش زیست توده میکروبی با افزایش فسفر، اثر فسفر در کاهش ترشحات ریشه‌ای و بالطبع کاهش جمعیت میکروارگانیسم‌ها در ریزوسفر ریشه می‌باشد. قول لرعطا و همکاران (2008) نیز گزارش کردند با افزایش فسفر، کربن زیست توده میکروبی کاهش یافت.

مصرف گوگرد تا سطح پانصد کیلوگرم در هکتار موجب افزایش زیست توده میکروبی شد ولی این افزایش در سطح پنج درصد معنی‌دار نبود (جدول 3). با افزایش میزان گوگرد از پانصد کیلوگرم به هزار و دوهزار کیلوگرم در هکتار، زیست توده میکروبی به طور معنی‌داری در سطح پنج درصد کاهش یافت. یکی از دلایل احتمالی این موضوع، کاهش pH ناشی از مصرف گوگرد در میکروسایتهای خاک می‌باشد. فعالیت‌های بیولوژیکی خاک به تغییرات pH خاک حساس می‌باشند. تحقیقات آسیگوپتری و بروک (2008) نشان داد که بین pH خاک و کربن زیست توده خاک همبستگی منفی معنی‌داری وجود دارد. این محققین بیشترین مقدار زیست توده میکروبی خاک را در pH های بیش از 7 گزارش کردند. یکی دیگر از عوامل احتمالی این کاهش را می‌توان به افزایش EC ناشی از مصرف گوگرد نسبت داد. ساردینا و همکاران

گوگرد به میزان پانصد کیلوگرم در هکتار توأم با مصرف باکتری‌های اکسید کننده گوگرد به میزان ده کیلوگرم در هکتار (S₁)، مصرف گوگرد به میزان هزار کیلوگرم در هکتار توأم با مصرف باکتری‌های اکسید کننده گوگرد به میزان بیست کیلوگرم در هکتار (S₂)، مصرف گوگرد به میزان دو هزار کیلوگرم در هکتار توأم با مصرف باکتری‌های اکسید کننده گوگرد به میزان چهل کیلوگرم در هکتار (S₃)، فاکتور دوم مصرف کود سوپر فسفات تریپل در 3 سطح شامل: شاهد بدون مصرف کود سوپر فسفات تریپل (P₀)، مصرف کود سوپر فسفات تریپل به میزان 65 درصد مقدار توصیه شده بر اساس آزمون خاک (P₁) و مصرف کود سوپر فسفات تریپل بر اساس آزمون خاک (P₂) بود. در مجموع با توجه به سه تکرار برای هر تیمار، آزمایش شامل 36 کرت بود. مساحت هر کرت 36 متر مربع شامل 6 پشته به فاصله 60 سانتیمتر و طول 10 متر بود که چهار پشته میانی کشت و پشته اول و ششم به صورت نکاشت باقی مانده و مرز محسوب می‌شد. فاصله بوته‌ها از هم نیز 15 سانتیمتر بود. لازم به ذکر است که فقط 8 متر از ده متر، کاشت شده بود و دو متر انتهایی بدون کاشت بود ولی کلیه تیمارها اعمال و سایر عملیات انجام شد. بنابراین در دل هر تیمار و با همان عنوان تیمار بدون گیاه نیز وجود داشت به عنوان مثال علاوه بر (S₀P₀) عملاً یک تیمار (S₀ P₀Plant₀) نیز وجود داشت. فاصله بین دو کرت یک متر، فاصله بین تکرارها سه متر و بذر مصرفی نیز رقم سینگل کراس 704 بود. پس از برداشت ذرت، از هر کرت یک نمونه مرکب تهیه گردید. پس از الک کردن نمونه‌های خاک و تنظیم رطوبت در 55-70 درصد ظرفیت زراعی، کربن زیست توده میکروبی با روش وانس و همکاران (1987) و فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی و قلیایی (عیوضی و طباطبایی، 1997) 72 نمونه در سه تکرار (و در مجموع در 216 نمونه) اندازه‌گیری شد. در پایان تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن انجام شد.

نتایج

جدول یک برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه را نشان می‌دهد.

بحث

جدول 2 نتایج تجزیه واریانس تأثیر گوگرد، فسفر و گیاه را بر کربن زیست توده میکروبی، فسفاتاز اسیدی و قلیایی نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که تأثیر هر سه عامل گیاه، فسفر و گوگرد بر کربن زیست توده میکروبی در سطح یک درصد معنی‌دار بود. وجود گیاه باعث افزایش معنی‌دار کربن زیست توده میکروبی شد.

اثر مصرف بالای کود فسفره را دلیلی بر کاهش فعالیت فسفاتازها عنوان کردند. قول لرعطا و همکاران (2008) نیز گزارش کردند که افزایش فسفر باعث کاهش معنی‌دار فعالیت فسفاتاز اسیدی و قلیایی شد.

افزایش گوگرد باعث کاهش فعالیت فسفاتاز اسیدی شد که این کاهش در سطوح بالای گوگرد معنی‌دار بود. پایداری آنزیم‌های خاک با تغییر pH به خصوصیات خاک بستگی دارد (فرانکنبرگر و جانسون، 1982). تغییر در فعالیت‌های آنزیمی با تغییر pH می‌تواند به واسطه تغییر در جمعیت میکروبی خاک و ترکیبات وابسته به آنها باشد. مطالعات ویزکوفسکایا و همکاران (2001) نشان داد با افزایش مقدار گوگرد و کاهش pH خاک، فعالیت فسفاتاز قلیایی و اسیدی کاهش یافت. این محققین بیان کردند بسیاری از آنزیم‌ها در محیط‌های خشی و کمی اسیدی فعال هستند. گوگرد محیط اسیدی قوی ایجاد می‌کند که برای آنزیم‌هایی مثل اووه آز، دهیدروژناز، فسفاتاز قلیایی و حتی فسفاتاز اسیدی نامناسب است. سطوح مختلف گوگرد باعث کاهش فسفاتاز قلیایی شد که این کاهش در همه سطوح نسبت به سطح صفر گوگرد (S_0) در سطح یک درصد معنی‌دار بود. کاهش آنزیم فسفاتاز قلیایی به دلیل تأثیر گوگرد در کاهش pH خاک می‌باشد، با کاهش pH خاک فعالیت فسفاتاز قلیایی کاهش یافت (جوما و طباطبایی، 1977). وانگ و همکاران (2006) نیز گزارش کردند کاهش pH خاک، فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی را به طور معنی‌دار کاهش داد اگرچه فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی با کاهش pH افزایش یافت. جوما و طباطبائی (1997) نیز گزارش کردند فعالیت فسفاتاز اسیدی همبستگی معنی‌دار منفی و فعالیت فسفاتاز قلیایی همبستگی معنی‌دار مثبتی با pH خاک داشت. یکی دیگر از دلایل احتمالی کاهش فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز اسیدی و قلیایی، افزایش EC ناشی از مصرف گوگرد می‌باشد که باعث تغییر در نوع و ترکیب جمعیت میکروارگانیسم‌ها در ریزوسفر گیاه می‌شود. کاهش فعالیت آنزیمی ناشی از افزایش EC توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است (ساردینا و همکاران؛ 2003؛ تریپاتی 2007، ریتز و هاینس؛ 2003؛ فرانکنبرگر و بینگهام، 1998). بیشترین و کمترین مقدار فسفاتاز اسیدی به ترتیب مربوط به تیمار $Plant_1P_0S_1$ و $Plant_0P_2S_2$ بود و تیمار $Plant_1P_2S_3$ و $Plant_0P_0S_2$ بیشترین و کمترین مقدار فسفاتاز قلیایی را به خود اختصاص داد.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج این آزمایش و اهمیت شاخص‌های زیستی اندازه‌گیری شده در این تحقیق،

(2003) بیان کردند در خاک‌های شور فعالیت‌های میکروبی محدود می‌شود. معمولاً با افزایش مصرف گوگرد، EC خاک افزایش می‌یابد (هاشمی مجد و همکاران، 2012؛ اورمان و اک، 2012؛ امانی و همکاران، 1387). کاهش کربن زیست توده میکروبی با افزایش EC توسط قول لرعطا و همکاران (2008)، تریپاتی و همکاران (2006)، رایتز و هاینز (2003) و ویچرن و همکاران (2006) نیز گزارش شده است. در مجموع تیمار $Plant_1P_0S_0$ از بیشترین مقدار زیست توده میکروبی و تیمار $Plant_0P_1S_2$ از کمترین مقدار برخوردار بود (جدول 4).

زیست توده میکروبی یکی از شاخص‌های مهم کیفیت خاک بوده و از طرفی از همبستگی مثبتی با حاصلخیزی خاک برخوردار می‌باشد (واردل، 1998؛ بندینگ و همکاران، 2004؛ پائولین و دیوید، 2008؛ گوبرنا و همکاران، 2006). از این رو با توجه به نتایج به دست آمده در این آزمایش، تأثیر مصرف کوتاه مدت و اثرات تجمعی ناشی از مصرف سالانه گوگرد در خاک‌ها بر زیست توده میکروبی می‌بایستی مدنظر قرار گیرد.

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر گیاه بر فعالیت فسفاتاز قلیایی و اسیدی و همچنین اثر گوگرد بر فعالیت فسفاتاز قلیایی در سطح یک درصد اثر گوگرد بر فعالیت فسفاتاز اسیدی در سطح پنج درصد معنی‌دار بود ولی فسفر اثر معنی‌دار بر فعالیت فسفاتازها نداشت (جدول 2). وجود گیاه باعث افزایش معنی‌دار فسفاتاز اسیدی و قلیایی شده که این افزایش در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول 3). دلیل این موضوع آن است که شدت انجام فرایندهای میکروبی در ریزوسفر بیشتر بوده و ترشحات ریشه‌ای به طور معنی‌داری بر فعالیت بیولوژیکی منطقه ریزوسفر مؤثر می‌باشند (مک لاگین و همکاران، 1998؛ زویسا و همکاران، 1999؛ چن و همکاران، 2001). افزایش فعالیت بیولوژیکی در خاک ریزوسفر نه تنها به دلیل اثر فراوانی بلکه به دلیل افزایش فعالیت میکروبی نیز می‌باشد. در این راستا سانیولا و همکاران (2011) گزارش کردند که فعالیت آنزیم‌های خارج سلولی در خاک‌های تحت کشت نسبت به خاک‌های بدون گیاه افزایش یافت. افزایش فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی و قلیایی در ریزوسفر توسط مکوئی و همکاران (2010) و وانگ و همکاران (2006) نیز گزارش شده است.

افزایش فسفر باعث کاهش فعالیت فسفاتاز اسیدی و قلیایی شد ولی این کاهش معنی‌دار نبود. تامسون و همکاران (1986) کاهش ترشحات ریشه‌ای در

توصیه می‌شود تا دستیابی به نتایج آزمایشات تکمیلی - هکتار مصرف نگردد. تر، گوگرد بیش از سطح S₁ یعنی پانصد کیلوگرم در

جدول 1- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

روى قابل جذب	آهن قابل جذب	قابل	پتاسیم جذب	فسفر جذب	بافت	کربنات کلسیم (معادل %)	کربن آلی (%)	pH	هدایت الکتریکی (dS/m)
0/66	5	242	10/5	سیلتی کلی لوم	32	0/6	8/1	1/31	

جدول 2- تجزیه واریانس اثر گوگرد، فسفر و گیاه بر کربن زیست توده میکروبی و فسفاتاز اسیدی و قلیایی

میانگین مربعات				منبع تغییرات
فسفاتاز قلیایی	فسفاتاز اسیدی	زیست توده	درجه آزادی	
1724/4827 ^{n.s}	560/94949 ^{n.s}	23425/78 ^{n.s}	2	بلوک
87045/9402 ^{**}	9029/04673 ^{**}	280277/9181 ^{**}	3	گوگرد
3275/8746 ^{n.s}	2120/82892 ^{n.s}	162624/0554 ^{**}	2	فسفر
24187/4454 ^{**}	5850/56354 [*]	47887/8637 [*]	6	گوگرد* فسفر
3929/8476	2196/0679	14344/5037	22	خطا
199374/0231 ^{**}	171396/2450 ^{**}	753175/6011 ^{**}	1	گیاه
33453/0992 ^{**}	9822/4303 ^{**}	24051/9084 ^{n.s}	3	گوگرد* گیاه
33453/0992 ^{n.s}	11264/1222 ^{**}	222864/4430 ^{**}	2	فسفر* گیاه
6389/5421 ^{n.s}	6574/4056 ^{**}	63098/5176 [*]	6	گوگرد* فسفر* گیاه
4615/0068	1691/3934	23411/970	24	خطای کل
15/67090	22/77904	18/64219		ضریب تغییرات

n.s غیر معنی دار * معنی دار بودن در سطح احتمال 5 درصد ** معنی دار بودن در سطح احتمال 1 درصد

جدول 3- مقایسه میانگین کربن زیست توده میکروبی، فسفاتاز اسیدی و فسفاتاز قلیایی

تیمار	سطوح تیمار	کربن زیست توده (µgCg ⁻¹)	فسفاتاز اسیدی (µgPNPg ⁻¹ h ⁻¹)	فسفاتاز قلیایی (µgPNPg ⁻¹ h ⁻¹)
گیاه	Plant ₀	718/49 ^b	131/76 ^b	380/88 ^b
	Plant ₁	923/05 ^a	229/34 ^a	486/13 ^a
فسفر	P ₀	905/93 ^a	190/76 ^a	445/43 ^a
	P ₁	814/77 ^b	178/63 ^a	433/01 ^a
	P ₂	741/62 ^c	172/25 ^a	422/08 ^a
			915/17 ^a	530/20 ^a
گوگرد	S ₀	937/19 ^a	178/04 ^b	413/51 ^b
	S ₁	741/21 ^b	164/82 ^b	365/03 ^c
	S ₂			
	S ₃	683/52 ^b	166/37 ^b	425/27 ^b

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن، در سطح احتمال 5 درصد تفاوت معنی‌دار با یکدیگر ندارند.

جدول 4- مقایسه میانگین کربن زیست توده میکروبی، فسفاتاز اسیدی و قلیائی در سطوح مختلف فسفر، گوگرد و گیاه

گیاه	فسفر	گوگرد	کربن زیست توده (μgCg^{-1})	فسفاتاز اسیدی ($\mu\text{gPNPg}^{-1}\text{h}^{-1}$)	فسفاتاز قلیائی ($\mu\text{gPNPg}^{-1}\text{h}^{-1}$)
		S ₀	728/06 ^{defgh}	115/03 ^f	579/10 ^{ab}
	P ₀	S ₁	864/40 ^{defgh} ₁	139/72 ^{ef}	456/35 ^{bcd} _{ef}
S ₂		637/11 ^{fghi}	94/98 ^f	273/72 ^h	
S ₃		595/87 ^{hi}	332 ^{fgh}		
	P ₁	S ₀	804/26 ^{cdefghi}	237/87 ^{ab}	560/70 ^{abc}
S ₁		799/67 ^{cdefghi}	93/07 ^f	299/34 ^{gh}	
S ₂		575/85 ⁱ	303/10 ^{gh}		
	P ₂	S ₃	677/60 ^{efghi}	128/53 ^{ef}	348/88 ^{fgh}
S ₀		892/31 ^{cdefgh}	158/99 ^{cdef}	485/46 ^{abcde}	
S ₁		812/96 ^{cdefghi}	112/82 ^f	281/93 ^h	
	P ₀	S ₂	611/83 ^{hi}	89/78 ^f	276/21 ^h
S ₃		621/93 ^{shi}	194/84 ^{bcd}	373/80 ^{efgh}	
S ₀		1398/17 ^a	535/22 ^{abcd}		
	P ₁	S ₁	1279/81 ^{ab}	302/67 ^a	539/17 ^{abcd}
S ₂		1080/51 ^{bc}	231/31 ^{abc}	482/34 ^{bcd}	
S ₃		663/45 ^{efghi}	266/05 ^{ab}	365/51 ^{efgh}	
	P ₂	S ₀	938/47 ^{cdefg}	242/66 ^{ab}	526/14 ^{abcd}
S ₁		950/66 ^{cde}	259/48 ^{ab}	491/50 ^{abcde}	
S ₂		986/87 ^{cd}	219/89 ^{bcd}	418/15 ^{defg}	
	P ₀	S ₃	784/70 ^{cdefghi}	151/30 ^{def}	516/26 ^{abcd}
S ₀		729/74 ^{defghi}	266/10 ^{ab}	494/61 ^{abcde}	
S ₁		915/61 ^{cdefg}	160/50 ^{cdef}	412/77 ^{defg}	
	P ₁	S ₂	591/05 ^{hi}	256/74 ^{ab}	436/64 ^{cdef}
S ₃		757/52 ^{defghi}	138/26 ^{ef}	615/19 ^a	

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن، در سطح احتمال 5 درصد تفاوت معنی‌دار با یکدیگر ندارند.

فهرست منابع:

1. آقابائنی، ف.، بهشتی، ع.، منصورزاده، م. و رئیس، ف. 1386. اثر متقابل بافت و گوگرد بر فعالیت برخی آنزیم‌های خاک. دهمین کنگره علوم خاک ایران، کرج، ایران.
2. امانی، ف.، رئیس، ف.، پیرولی بیرانوند، ن. و موسوی شلمانی، ا. 1387. تأثیر گوگرد بر میزان تثبیت ازت و برخی صفات رشد دو رقم سویا با استفاده از روش رقت ایزوتوپی ¹⁵N. مجله کشاورزی، شماره 1، صفحات 9-20.
3. دیانی، ل. و رئیس، ف. 1390. نقش کمپوست در تعدیل اثرات کادمیم بر تنفس و بیوماس میکروبی فعالیت فسفاتازهای خاک. نشریه آب و خاک، جلد 25، شماره یک، صفحات 161-173.
4. فریدونی ناغانی، م.، رئیس، ف. و فلاح، س. 1389. روند تولید CO₂ و تغییر کربن بیومس میکروبی در خاک های تیمار شده با کود اوره و مرغی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال چهاردهم، شماره پنجاه و چهارم، صفحات 97-110.
5. کریمی نیا، آ. و شعبانپور شهرستانی، م. 1382. ارزیابی توان اکسایش گوگرد توسط میکروارگانیسم‌های هتروتروف در خاک‌های مختلف. مجله علوم خاک و آب، جلد 17، شماره یک، صفحات 68-79.

6. نجف زاده نوبر، ز.، شعبانپور شهرستانی، م. و کریمی نیا، آ. 1384. بررسی تأثیر کاربرد ماده آلی و گوگرد بر قابلیت جذب فسفر و عناصر کم مصرف در خاک. نهمین کنگره علوم خاک ایران، تهران، ایران.
7. Aciego Pietri, J. C., and Brookes, P. C. 2008. Relationships between soil pH and microbial properties in a UK arable soil. *Soil Biol. Biochem.* 40:1856–1861.
8. Anandham, R., Sridar, R., Nalayini, P., Poonguzhali, S., Madhaiyan, M., Tongmin, Sa. 2007. Potential for plant growth promotion in groundnut (*Arachis hypogaea* L.) Cv. ALR-2 by co-inoculation of sulfur-oxidizing bacteria and Rhizobium. *Microbiol. Res.* 162: 139-153.
9. Aon, M.A., Cabello, M.N., Sarena, D.E., Colaneri, A.C., Franco, M.G., Burgos, J.L., and Cortassa, S. 2002. Spatio-temporal patterns of soil microbial and enzymatic activities in an agricultural soil. *Appl. Soil. Ecol.* 18: 239-254.
10. Arao, T., 1999. *In situ* detection of changes in soil bacterial and fungal activities by measuring ^{13}C incorporation into soil phospholipid fatty acids from ^{13}C acetate. *Soil Biol. Biochem.* 31: 1015–1020.
11. Baath, E., and Anderson, T.H. 2003. Comparison of soil fungal/bacterial ratios in a pH gradient using physiological and PLFA-based techniques. *Soil Biol. Biochem.* 35: 955–963.
12. Baath, E., Frostegard, A., and Fritze, H. 1992. Soil bacterial biomass, activity, phospholipids fatty acid pattern, and pH tolerance in an area polluted with alkaline dust deposition. *Appl. Environ. Microbiol.* 58: 4026–4031.
13. Baath, E., Frostegard, A., Pennanen, T., and Fritze, H. 1995. Microbial community structure and pH response in relation to soil organic matter quality in wood-ash fertilized, clear-cut or burned coniferous forest soils. *Soil Biol. Biochem.* 27: 229–240.
14. Bardgett, R.D., Jones, A.C., Jones, D.L., Kemmitt, S.J., Cook, R., and Hobbs, P. 2001. Soil microbial community patterns related to the history and intensity of grazing in sub-montane ecosystems. *Soil Biol. Biochem.* 33: 1653–1664.
15. Bending, G.D., Turner, M.K., Rayns, F., Marx, M.C., and Wood, M. 2004. Microbial and biochemical soil quality indicators and their potential for differentiating areas under contrasting agricultural management regimes. *Soil Biol Biochem.* 36: 1785-1792.
16. Benizri, E., Nguyen, C., Piutti, S., Slezack-Deschaumes, S., and Philippot, L. 2007. Additions of maize root mucilage to soil changed the structure of the bacterial community. *Soil Biol. Biochem.* 39: 1230–1233.
17. Blagodatskaya, E.V., and Anderson, T.H. 1998. Interactive effects of pH and substrate quality on the fungal-to-bacterial ratio and QCO_2 of microbial communities in forest soils. *Soil Biol. Biochem.* 30: 1269–1274.
18. Brady, N.C. and Weil, R.R. 2002. *The Nature and Properties of Soil*, 13th ed. Springer Netherlands, 249 pp.
19. Chen, C.C., Wang, M.K., Chiu, C.Y., Huang, P.M., and King, H.B. 2001. Determination of low molecular weight dicarboxylic acids and organic functional groups in rhizosphere and bulk soils of *Tsuga* and *Yushania* in a temperate rain forest. *Plant Soil* 231: 37–44.
20. Clarholm, M., and Rosswall, T. 1980. Biomass and turnover of bacteria in a forest soil and a peat. *Soil Biol. Biochem.* 12: 49-57.
21. De Nobili, M., Contin, M., Mondini, C., Brookes, P.C. 2001. Soil microbial biomass is triggered into activity by trace amounts of substrate. *Soil Biol. Biochem.* 33: 1163–1170.
22. Dewan, M.L., and Famouri, J. 1964. *The Soils of Iran*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Technology and Engineering, 319 pages.
23. Eivazi, J., and Tabatabai, M.A. 1997. Phosphatases in soil. *Soil Biol. Biochem.* 27: 1011–1016.

24. Fox, T.R., and Comerford, N.B. 1990. Low molecular weight organic acids in selected forest soils of Southeastern U.S.A. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 1763–1767.
25. Frankenberger, J. R., and Bingham, F. T. 1982. Influence of salinity on soil enzyme activities. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 1173-1177.
26. Frankenberger, J. r., and Johanson, J.B. 1982. Effect of pH on enzyme stability in soils. *Soil Biol. Biochem.* 14: 433–437.
27. Frostegard, A, Baath, E., and Tunlid, A. 1993. Shifts in the structure of soil microbial communities in limed forest as revealed by phospholipid fatty acid analysis. *Soil Biol. Biochem.* 25: 723–730.
28. Gestel, M.V., Merckx, R., and Vlassak, K. 1993. Microbial biomass and activity in soils with fluctuating water contents. *Geoderma* 56: 617-626.
29. Ghoularata, M., Raeisi, F., and Nadian, H. 2008. Salinity and phosphorus interactions on growth yield and nutrient uptake by Berseem. clover (*Trifolium alexandrinum* L.). *I. J. Field Crops Res.* 6: 117-126.
30. Goberna, M., Sánchez, J., Pascual, J.A., and Carcía, C. 2006. Surface and subsurface organic carbon, microbial biomass and activity in a forest soil sequence. *Soil Biol Biochem.* 38: 2233-2243.
31. Gu, Y. H., and Mazzola, M. 2003. Modification of fluorescent pseudomonad community and control of apple replant disease induced in a wheat cultivar-specific manner. *Appl. Soil Ecol.* 24: 57-72.
32. Hashemimajd, K., Mohamadi farani, T., and Jamaati-e-Somarin, S. 2012. Effect of elemental sulphur and compost on pH, electrical conductivity and phosphorus availability of one clay soil. *Afr. J. Biotechnol.* 6: 1425-1432.
33. Hu, C., and Cao, Z. 2007. Size and activity of the soil microbial biomass and soil enzyme activity in long-term field experiments. *W. J. Agri. Sci.* 3: 63-70.
34. Janssen, A. J. H., Lettinga, G., and Keizer, A. 1999. Removal of hydrogen sulfide from wastewater and waste gases by biological conversion to elemental sulfur particles. *Colloids Surf.* 151: 389-397.
35. Juma, N.G., and Tabatabai, M.A. 1977. Effects of trace elements on phosphatase activity in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41: 343–346.
36. Kaiser, E. A., and Heinemeyer, O. 1993. Seasonal variations of soil microbial biomass carbon within the plough layer. *Soil Biol. Biochem.* 25: 1649-1655.
37. Landi, L., Renella, G., Moreno, J.L., Falchini, L., and Nannipieri, P. 2000. Influence of cadmium in the metabolic quotient, L-, D-glutamic acid respiration ratio and enzyme activity, microbial biomass ratio under laboratory conditions. *Biol Fertil. Soils* 32: 8-16.
38. Makoi, J. H. J. R., Bambara, S., and Ndakidemi, P. A. 2010. Rhizosphere phosphatase enzyme activities and secondary metabolites in plants as affected by the supply of Rhizobium, lime and molybdenum in *Phaseolus vulgaris* L. *Aust. J. Crop Sci.* 4: 590-597.
39. Makoi, J. H. J. R., and Ndakidemi, P. A. 2008. Selected soil enzymes: Examples of their potential roles in the ecosystem. *Afr. J. Biotechnol.* 7: 181-191.
40. Marschner, P., Crowley, D., and Yang, C.H. 2004. Development of specific rhizosphere bacterial communities in relation to plant species, nutrition and soil type. *Plant Soil.* 261: 199–208.
41. McLaughlin, M.J., Smolders, E., and Merckx, R. 1998. Soil–root interface: Physicochemical processes. In *Soil Chemistry and Ecosystem Health, Special Publication no 52.* pp. 233-277. Soil Science Society of America, Madison, WI, USA.
42. Miralles, I., Ortega, R., Sa´nchez-Maranon, M., Leiro´ S, M.C., Trasar-Cepeda, C., and Gil-Sotres, F. 2007. Biochemical properties of range and forest soils in Mediterranean mountain environments. *Biol. Fertil. Soils* 43: 721-729.

43. Nicolardot, B., Fauvet, G., and Cheneby, D. 1994. Carbon and nitrogen cycling through soil microbial biomass at various temperatures. *Soil Biol. Biochem.* 26: 253-261.
44. Orman, S., and Ok, H. 2012. Effects of sulphur and zinc applications on growth and nutrition of bread wheat in calcareous clay loam soil. *Afr. J. Biotechnol.* 13: 3080-3086.
45. Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D.R. 1982. *Methods of Soil Analysis, Part2: Chemical and Microbiological properties.* 2nd ed. A.A.C., Inc., Soil S.S.S.A., Inc., Madison Publisher, Wisconsin, USA.
46. Paterson, E. 2003. Importance of rhizodeposition in the coupling of plant and microbial productivity. *Eu. J. Soil Sci.* 54: 741-750.
47. Pauline, M. Mele. and David, E. Crowley.2008. Application of self-organizing maps for assessing soil biological quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 126: 139-152.
48. Pennanen, T. 2001. Microbial communities in boreal coniferous forest humus exposed to heavy metals and changes in soil pH – a summary of the use of phospholipid fatty acids, Biolog(R) and 3H-thymidine incorporation methods in field studies. *Geoderma* 100: 91-126.
49. Rasse, D.P., Rumpel, C., and Dignac, M.-F., 2005. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilisation. *Plant Soil.* 269: 341-356.
50. Rietz, D. N., and Haynes, R. J. 2003. Effect of irrigation-induced salinity and sodicity on soil microbial activity. *Soil Biol. Biochem.* 35: 845-854.
51. Riffaldi, R., Saviozzi, A., Levi-Minzi, R., and Cardelli, R. 2002. Biochemical properties of a Mediterranean soil as affected by long-term crop management systems. *Soil & Till. Res.* 67: 109-114.
52. Sanauallah, M., Blagodatskaya, E., Chabbi, A., Rumpel, C., and Kuzyakov, Y. 2011. Drought effects on microbial biomass and enzyme activities in the rhizosphere of grasses depend on plant community composition. *Appl. Soil Ecol.* 48: 38-44.
53. Sardinha, M. T., Muller, H., Schmeisky, R., and Joergensen, G. 2003. Microbial performance in soils along a salinity gradient under acidic conditions. *Applied Soil Ecology*, 23: 237-244.
54. Schutter, M.E., and Fuhrmann, J. J. 2001. Soil microbial community responses to fly ash amendment as revealed by analysis of whole soils and bacteria isolates. *Soil Biol. Biochem.* 33: 1947-1958.
55. Sood, S. G. 2003 Chemotactic response of plant-growth-promoting bacteria towards roots of vesicular-arbuscular mycorrhizal tomato plants. *FEMS Microbiol. Ecol.* 45: 219-227.
56. Sun, H., Yan, L., and Mu, C. 2012. Rhizosphere microbial dynamics of *Leymus chinensis* and its correlation with aboveground biomass and soil environment. *Afr. J. Microbiol. Res.* 6: 3814- 3820.
57. Szmigielska, A. M., Van Rees, K. C. J., Cieslinski, G., and Huang, P.M. 1996. Low molecular weight dicarboxylic acids in rhizosphere soil of durum wheat. *J. Agric. Food Chem.* 44: 1036-1040.
58. Tate, R. L. 1995. *Soil Microbiology.* Wiley, New York, pp. 171-200.
59. Thomson, B., Robson, A. D., and Abbott, L.K. 1986. Effects of phosphorus on the formation of mycorrhizae by *Gigaspora* and *Glomus fasciculatum* in relation to root carbohydrates. *New Phytologist.* 103: 751-763.
60. Tripathi, S.; Chakrabarty, A.; Chakrabarti, K., and Bandyopadhyay, B.K. 2007. Enzyme activities and microbial biomass in coastal soils of India. *Soil Biol. Biochem.* 11: 2840-2848.
61. Tripathi, S.; Kumari, S.; Chakraborty, A.; Gupta, A.; Chakrabarti, K., and Bandyopadhyay, B.K. 2006. Microbial biomass and its activities in salt-affected soils. *Biol Fertil. Soils.* 3: 273-277.

63. Vance, E.D., Brookes, P.C., and Jenkinson, D.S. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biol. Biochem.* 19 : 703–707.
64. Vig, k., Megharaj, M., Sthunathan, N., and Naidu, R. 2003. Bioavailability and toxicity of cadmium to microorganisms and their activities in soil: a review. *Adv. Environ. Res.*8: 121-135.
65. Wang, A. S., Angle, J. S., Chaney, R. L., Delorme, T. A., and McIntosh, M. 2006. Changes in soil biological activities under reduced soil pH during *Thlaspi caerulescens* phytoextraction. *Soil Biol. Biochem.* 38: 1451–1461.
66. Wardle, D.A. 1992. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass: carbon and nitrogen levels in soils. *Biol. Rev.* 67: 321-358.
67. Wardle, D.A. 1998. Controls of temporal variability of the soil microbial biomass: a global-scale synthesis. *Soil Biol. Biochem.* 30: 1627-1637.
68. Wichern, J.; Wichern, F., and Joergensen, R.G. 2006. Impacto of salinity on soil microbial communities and the decomposition of maize in acidic soils. *Geoderma* 1-2: 100-108.
69. Wright, A.L., Hons, F.M., and Matocha, J.E. 2005. Tillage impacts on microbial biomass and soil carbon and nitrogen dynamics of corn and cotton rotations. *Applied Soil Ecology.* 29: 85–92.
70. Wyzkowska, J., Kucharski, J., and Benedycka, Z. 2001. Physicochemical properties and enzymatic activity of sulfur-acidified horticultural soil. *Polish Journal of Environmental Studies* 10: 293-296.
71. Zoysa, A.K.N., Loganathan, P., and Hedley, M.J. 1999 Phosphorus utilisation efficiency and depletion of phosphate fractions in the rhizosphere of three tea (*Camellia sinensis* L.) clones. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 53: 189–201.