



## بررسی تأثیر همزیستی میکوریزایی، کاربرد تیوباسیلوس تیواکسیدانس و گوگرد بر خصوصیات رشد و عملکرد ذرت (*Zea Mays L.*)

\*علی انصوری<sup>۱</sup>، احمد غلامی<sup>۲</sup>، حمید عباس دخت<sup>۱</sup>، منوچهر قلی پور<sup>۲</sup>،

مهدی برادران<sup>۳</sup> و علیرضا فلاح نصرت آباد<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد گروه زراعت، دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشیار گروه زراعت، دانشگاه صنعتی شاهرود،

<sup>۲</sup> استادیار گروه زراعت، دانشگاه صنعتی شاهرود، <sup>۳</sup> استادیار مؤسسه تحقیقات خاک و آب، کرج

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۴/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۱/۲۹

### چکیده

استفاده از موجودات مفید خاکزی به منظور بهبود حاصلخیزی خاک، افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی و نیز تأمین سلامت گیاه، از بهترین شیوه‌های علمی برای کمک به تعادل سیستم زنده خاک محسوب می‌شود. در این آزمایش اثر تلقیح قارچ میکوریزا، باکتری تیوباسیلوس تیواکسیدانس و گوگرد بر رشد و عملکرد ذرت مورد بررسی قرار گرفت. این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار اجرا گردید. عوامل مورد پژوهش شامل میکوریزا در دو سطح (تلقیح  $M_1$  و عدم تلقیح  $M_0$ )، تیوباسیلوس تیواکسیدانس در دو سطح (مصرف  $T_1$  و عدم مصرف  $T_0$ ) و سه سطح گوگرد (صفر  $S_0$ ،  $S_1=250$  و  $S_2=500$  کیلوگرم در هکتار) بودند. نتایج این بررسی نشان داد که با تلقیح میکوریزا، تیوباسیلوس تیواکسیدانس و کاربرد گوگرد pH خاک، عملکرد دانه، وزن بلال، تعداد دانه در بلال، ارتفاع ساقه، وزن ۱۰۰ دانه (به جز میکوریزا) و عملکرد بیولوژیک در مقایسه با شاهد به طور معنی‌داری افزایش یافت. برهمکنش باکتری تیوباسیلوس تیواکسیدانس و گوگرد نیز تأثیر معنی‌داری را بر صفات مورد بررسی، به جز عملکرد بیولوژیک نشان داد. همچنین

\*مسئول مکاتبه: [aliansori98@yahoo.com](mailto:aliansori98@yahoo.com)

برهمکنش میکوریزا و تیوباسیلیوس تیواکسیدانس موجب کاهش معنی دار pH خاک و افزایش ارتفاع ساقه شد.

**واژه‌های کلیدی:** تیوباسیلیوس تیواکسیدانس، گوگرد، میکوریزا، عملکرد، pH

### مقدمه

بالا بودن pH خاک و فراوانی یون کلسیم در بسیاری از خاک‌های ایران سبب شده است که با وجود فراوانی برخی عناصر غذایی مانند فسفر، مقدار قابل جذب این عناصر، کمتر از مقدار لازم برای تأمین رشد مناسب گیاه باشد. روش متداول برای مقابله با این کمبودها، استفاده از کودهای شیمیایی است که علاوه بر هزینه زیاد و بازدهی کم، خطر آلودگی‌های زیست‌محیطی را نیز به همراه دارد (سیفانتس و لیندمن، ۱۹۹۳؛ مودایش و همکاران، ۱۹۸۹؛ تیسدل و همکاران، ۱۹۸۴). گوگرد یکی از عناصر غذایی پر مصرف و ضروری برای تمام موجودات زنده می‌باشد. مقدار آن در پوسته زمین حدود ۰/۰۶ درصد است و از نظر فراوانی در لیتوسفر در ردیف ششم و از لحاظ مقدار مورد نیاز گیاه پس از سه عنصر اصلی (N, P, K و Ca) در مرتبه پنجم قرار دارد. هر چند که در برخی منابع آن را بعد از سه عنصر اصلی چهارمین عنصر مهم معرفی کرده‌اند (ماخرجی و سینگ، ۲۰۰۲). مقدار گوگرد در خاک‌ها از ۰/۰۰۲ درصد (در خاک‌های شدیداً هوا دیده و آبشویی شده) تا ۵ درصد (در خاک‌های شور آهکی و شور) متغیر می‌باشد. گوگرد از لحاظ کیفی به اندازه نیتروژن در تشکیل پروتئین‌های سلولی اهمیت دارد. این عنصر موجب افزایش مقاومت گیاهان به بیماری‌ها، خشکی و سرما می‌شود و همچنین از تجمع نترات در گیاهان جلوگیری می‌کند (طباطبایی، ۱۹۸۶؛ تات، ۱۹۹۵). علاوه بر موارد یاد شده، اثرات مصرف گوگرد در اصلاح خاک‌های سدیمی و بهبود وضعیت تغذیه گیاهان در خاک‌های آهکی را نباید از نظر دور داشت. افزودن گوگرد به خاک به منظور تأمین نیاز گیاه به این عنصر و یا بهبود وضعیت تغذیه گیاه از طریق آزاد شدن عناصر غذایی مثل فسفر، آهن، روی و ...، وقتی مؤثر و نتیجه بخش خواهد بود که گوگرد به میزان قابل توجهی در خاک اکسیده شود (جانزن و بتانی، ۱۹۸۷). از جمله اثرات بیوشیمیایی گوگرد در گیاهان می‌توان به مشارکت در ساخته شدن اسیدهای آمینه گوگرددار، تشکیل کلروفیل a، فعال کردن آنزیم‌های تجزیه کننده پروتئین، ساخته شدن بیوتین، تیامین، گلوآمین و کوآنزیم تشکیل روغن‌های گلوکوزیدی، تشکیل گروه‌های دی‌سولفیدی و

سولفیدریل (مؤثر در ساختمان پروتیین) دانست (بشارتی، ۱۹۹۸؛ کریمی‌نیا، ۱۹۸۷). گوگرد علاوه بر ارزش تغذیه‌ای، به دلیل ظرفیت اکسیده شدن و تولید اسیدسولفوریک، توان لازم برای کاهش pH را دارا می‌باشد، بنابراین می‌تواند در انحلال ترکیبات غذایی نامحلول و آزاد شدن عناصر ضروری مانند فسفر در رایزوسفر، مؤثر واقع شود (کلباسی و همکاران، ۱۹۸۸؛ کیتامس و آتو، ۱۹۶۵؛ میلیر، ۱۹۶۵؛ مودایش و همکاران، ۱۹۸۹؛ مورودت و همکاران، ۱۹۹۱؛ تیسدل و همکاران، ۱۹۸۴). در عین حال باید به این نکته توجه داشت که شرط بهره‌گیری از این توان بالقوه گوگرد، حضور باکتری‌های اکسیدکننده این ماده در خاک است، زیرا اکسایش گوگرد به‌طور عمده به روش بیولوژیک انجام می‌گیرد که با تولید اسیدسولفوریک، موجب کاهش pH خاک، آزاد شدن عناصر غذایی برای گیاه و در نتیجه افزایش عملکرد می‌گردد (استونسون، ۱۹۸۶؛ طباطبایی، ۱۹۸۶؛ تات، ۱۹۹۵، و این رایت، ۱۹۸۴). همچنین از طرف دیگر به دلیل این که اکسیداسیون شیمیایی گوگرد بسیار کند و ابتدایی بوده و قسمت اعظم گوگرد موجود در خاک توسط ریزموجودات اکسید می‌شود، بنابراین سرعت اکسایش گوگرد و اثرات مفید آن به جمعیت اکسیدکنندگان به‌ویژه باکتری‌های جنس *تیوباسیلوس* بستگی دارد. باکتری‌های *تیوباسیلوس* از مهمترین اکسیدکننده‌های گوگرد در خاک به‌شمار می‌روند (بشارتی و صالح راستین، ۱۹۹۹). باکتری‌های جنس *تیوباسیلوس تیواکسیدانس* اغلب شیمیولیتوتروف هستند و از ترکیبات احیا شده گوگرد به‌عنوان منبع کسب انرژی استفاده می‌کنند (کلی و هاریسون، ۱۹۸۹). تعداد این ریزموجودات در بیشتر خاک‌ها کم بوده و تلقیح خاک با این باکتری‌ها سرعت اکسایش گوگرد را افزایش می‌دهد. در صورتی که جمعیت این باکتری‌ها در خاک پایین باشد، مصرف گوگرد همراه با این باکتری‌ها در خاک‌های قلیایی و آهکی، اثرات سودمندی را به‌دنبال خواهد داشت (وان رایت، ۱۹۸۴). در یک بررسی مشخص شد که میزان اکسیداسیون گوگرد در خاک‌های تلقیح شده با باکتری‌های *تیوباسیلوس تیواکسیدانس* حدود ۱۱ برابر بیشتر از خاک‌های تلقیح نشده است. در پژوهشی مشابه در یک خاک سولونتری معلوم شد که در اثر تلقیح خاک با باکتری *T. thiooxidans* و *T. thioparus* سرعت اکسایش گوگرد نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد (تیسدل و همکاران، ۱۹۸۴).

میکوریزا مهمترین قارچ همزیست ریشه می‌باشد. از جمله وظایف قارچ میکوریزا، تأمین فسفر برای ریشه گیاه است، زیرا فسفر در خاک عنصری فوق‌العاده کم تحرک است. حتی در صورتی که فسفر به شکل محلول به خاک اضافه شود به سرعت به شکل فسفات کلسیم یا دیگر اشکال تثبیت شده و

به صورت غیرمتحرک در می آید. بنابراین قارچ‌های میکوریزی در افزایش جذب مواد معدنی به ویژه فسفر و افزایش عملکرد بسیاری از محصولات در خاک‌های با فسفر کم، تأثیر مثبت دارند (تورک و همکاران، ۲۰۰۶). همزیستی این قارچ بیشتر به منظور جذب عناصر غذایی کم‌تحرک در خاک مثل فسفر، مس و روی صورت می‌گیرد (اسمیت و راد، ۲۰۰۸؛ پاریسک، ۲۰۰۸). در طی آزمایشی مشاهده شده که غلظت فسفر، منیزیم، روی و مس به طور معنی‌داری در اندام هوایی ذرت تلقیح شده با میکوریزا افزایش یافت (لیو و همکاران، ۲۰۰۰). از طرف دیگر همزیستی با میکوریزای آربسکولار (AM) از طریق گسترش و توزیع بهتر ریشه گیاهان نقش کلیدی در چرخه مواد غذایی دارد و موجب حمایت گیاه در برابر تنش‌های محیطی می‌گردد (الکراکی و لارک، ۱۹۹۸). سابرامین و جارست (۱۹۹۹) نیز مشاهده نمودند که در شرایط تنش رطوبتی و در گیاهان تلقیح شده با قارچ‌های میکوریزی، مقدار عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منگنز، منیزیم و روی در ذرت افزایش معنی‌داری داشتند. اورتاس و هاریس (۱۹۹۶) اظهار داشتند که استفاده از قارچ میکوریزا سرعت رشد گیاه را افزایش داده، بر تخصیص و انتقال عناصر غذایی بین ریشه و ساقه اثر دارد، به طوری که با افزایش جذب عناصر غذایی و انتقال آن‌ها، وزن خشک اندام‌های هوایی افزایش یافت. سانگ (۲۰۰۵) گزارش نمود که در اثر تلقیح قارچ میکوریزا، شرایط ریزوسفر خاک بهبود یافته و در اثر توسعه سیستم ریشه‌ای و بهبود جذب آب و عناصر غذایی، سیستم دفاعی گیاه میزبان تقویت می‌شود. امیرآبادی و همکاران (۲۰۰۹) اظهار داشتند که استفاده از قارچ میکوریزا سرعت رشد، عملکرد ماده خشک (۴/۹ درصد) و غلظت فسفر (۲۸/۸ درصد) در گیاه ذرت را افزایش داد. اردکانی و همکاران (۲۰۰۱) گزارش نمودند تلقیح قارچ میکوریزا سبب افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته، تعداد پنجه و وزن خشک گندم شد. ریگو و میگنارد (۱۹۹۴) اظهار کردند که ریشه‌های میکوریزی دارای خصوصیات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی متفاوتی از ریشه گیاه هستند که این امر می‌تواند در افزایش جذب فسفر مؤثر باشد. این قارچ‌ها می‌توانند ریزوسفر را از طریق افزایش تراوش پروتون یا افزایش فشار  $CO_2$  اسیدی کرده و از این رو می‌توانند فسفر را به خصوص در خاک‌های آهکی و خشتی متحرک نمایند (باگو و آزکون-آگایار، ۱۹۹۷).

از آنجا که اطلاعات کمی در مورد رابطه قارچ میکوریزا با باکتری تیوباسیلوس تیواکسیدانس و کود گوگرد در دسترس است این آزمایش با هدف بررسی اثرات کاربرد قارچ میکوریزا، باکتری تیوباسیلوس تیواکسیدانس و کود گوگرد پودری در شرایط مزرعه بر pH خاک، عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی برهمکنش میکوریزا (*Glomus intraradices*)، تیوباسیلوس تیواکسیدانس (*T. thiooxidans*) و کود گوگرد (اندازه ذرات ۲۰۰ مش) بر pH خاک، عملکرد و اجزای عملکرد ذرت آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی در ۳ تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود در سال ۱۳۹۰ انجام شد. عوامل مورد آزمایش شامل میکوریزا در ۲ سطح تلقیح ( $M_1$ ) و عدم تلقیح ( $M_0$ )، تیوباسیلوس تیواکسیدانس در ۲ سطح استفاده ( $T_1$ ) و عدم استفاده ( $T_0$ ) و کود گوگرد به فرم پودری در ۳ سطح، صفر ( $S_0$ )، ۲۵۰ ( $S_1$ ) و ۵۰۰ ( $S_2$ ) کیلوگرم در هکتار بود. گوگرد ۳۰ روز قبل از کشت به صورت نواری به کار برده شد و تیوباسیلوس تیواکسیدانس یک هفته قبل از کشت به صورت (جامد همراه مواد نگهدارنده) خاک مصرف و در نوارهای گوگرد به کار برده شده، اعمال گردید. به منظور تعیین بافت خاک و وضعیت عناصر غذایی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری خاک مزرعه نمونه مرکب تهیه شد و سپس به آزمایشگاه منتقل شد. ماده آلی به روش اکسایش با اسید کرومیک و سپس تیتره کرده با فرو آمونیوم سولفات (نلسون و سامرز، ۱۹۹۶)، نیتروژن کل به روش کلدال (برمنر، ۱۹۹۶)، فسفر قابل جذب به روش السن (السن و همکاران، ۱۹۵۴)، پتاسیم قابل جذب به روش استات آمونیم (ریچاردز، ۱۹۶۹) و pH گل اشباع با دستگاه pH متر مدل متروم اندازه گیری شدند. نتایج تجزیه فیزیکوشیمیایی خاک در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه.

عوامل مورد تجزیه	نتیجه آزمون
نیتروژن (ppm)	۰/۰۴
فسفر (ppm)	۱۰
پتاسیم تبدلی (ppm)	۶/۴
سولفات محلول (میلی گرم در کیلوگرم)	۶/۶
منیزیم (میلی اکیوالان بر لیتر)	۲۲
کلسیم (میلی اکیوالان بر لیتر)	۳۳
مواد آلی (درصد)	۰/۳۳
اسیدیته (pH)	۸/۳۲

هر کرت آزمایشی شامل چهار ردیف کشت به طول ۶ متر، فاصله بین ردیف‌ها ۶۵ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها روی ردیف در ۲۰ سانتی‌متر و عمق کاشت ۵ تا ۷ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در طول دوره رشد کود اوره به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در دو مرحله به تمام کرت‌ها اضافه شد. به منظور اندازه‌گیری صفات مورد نظر، در انتهای دوره رشد، در هر کرت نیم متر از ابتدا و انتهای هر ردیف همراه با دو ردیف کناری به عنوان حاشیه در نظر گرفته شدند. از هر واحد آزمایشی ۶ بوته به طور تصادفی انتخاب گردید و به آزمایشگاه انتقال داده شد. در آزمایشگاه عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک (وزن خشک ساقه، برگ و بلال)، وزن بلال، تعداد دانه در بلال، وزن ۱۰۰ دانه اندازه‌گیری شد. نمونه برداری برای تعیین pH خاک در شش مرحله با فاصله ۱۵ روزه از ناحیه ریشه گیاه گرفته شد و اولین نمونه برداری ۳۰ روز بعد از کشت انجام شد. آنالیز داده‌ها به وسیله نرم‌افزار SAS و MSTAT-C انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از روش LSD در سطح احتمال ۵ درصد و رسم نمودار به وسیله برنامه Excel استفاده شد.

### نتایج و بحث

**pH خاک:** همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود اثر ساده عوامل مورد بررسی، اثر متقابل میکوریزا و تیوباسیلوس تیواکسیدانس و نیز اثر متقابل کاربرد تیوباسیلوس تیواکسیدانس و گوگرد بر کاهش pH خاک معنی‌دار شد. نتایج حاصل از مقایسه میانگین این آزمایش نشان داد که کاربرد میکوریزا ۰/۱ واحد pH خاک را نسبت به شرایط عدم تلقیح میکوریزا کاهش داد (جدول ۳). ریگو و میگنارد (۱۹۹۴) اظهار کردند که ریشه‌های میکوریزی خصوصیات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی متفاوتی از ریشه گیاه دارند آن‌ها می‌توانند ریزوسفر را از طریق افزایش تراوش پروتون یا افزایش غلظت  $CO_2$  اسیدی کرده و pH خاک را کاهش دهند. کاربرد باکتری تیوباسیلوس تیواکسیدانس به طور معنی‌داری (سطح ۱ درصد) موجب کاهش pH خاک در مقایسه با شاهد شد. مصرف باکتری تیوباسیلوس تیواکسیدانس در طول فصل رشد حدود ۰/۱ واحد pH خاک را نسبت به تیمار عدم تلقیح باکتری کاهش داد. مشاهده می‌شود که باکتری تیوباسیلوس تیواکسیدانس ۱۰ برابر pH خاک را بیشتر از قارچ میکوریزا و ۹ درصد نسبت به pH اولیه خاک (۸/۳۲) کاهش داده است. مطابق این نتیجه، آتو و اولسون (۱۹۶۶) اظهار کردند که میزان اکسیداسیون گوگرد و کاهش pH خاک ۱ تا ۱۱ برابر در خاک‌های تلقیح شده با تیوباسیلوس نسبت به تلقیح نشده بیشتر است. کاربرد ۲۵۰ کیلوگرم کود گوگرد pH خاک را ۱/۳۸ درصد نسبت به تیمار عدم کاربرد گوگرد کاهش داد و با افزایش مقدار

کاربرد کود گوگرد (۵۰۰ کیلوگرم) میزان کاهش pH خاک نیز افزایش یافت (۲/۵۹ درصد نسبت به شاهد). بسیاری از پژوهش‌گران گزارش کرده‌اند که مصرف گوگرد و تولید اسیدسولفوریک حاصل از اکسایش آن باعث کاهش pH، تأمین سولفات موردنیاز گیاه و افزایش قابلیت جذب فسفر و عناصر کم مصرف در خاک‌های آهکی و قلیایی می‌شود (بارنس، ۱۹۶۷؛ هافت و سورنسن، ۱۹۶۹). نتایج به‌دست آمده از مقایسه میانگین اثر متقابل میکوریزا و تیوباسیلوس تیواکسیدانس نشان داد، بیشترین pH خاک در تیمار شاهد (۷/۶۹) و کمترین pH (۷/۵۳) در تیمار کاربرد تیوباسیلوس تیواکسیدانس و عدم استفاده از میکوریزا به‌دست آمد (شکل ۱). تلقیح همزمان تیوباسیلوس تیواکسیدانس و گوگرد نیز تأثیر معنی‌داری در کاهش pH داشت. بیشترین کاهش pH با کاربرد تیوباسیلوس تیواکسیدانس و مصرف ۵۰۰ کیلوگرم گوگرد به‌دست آمد که با بقیه تیمارها تفاوت معنی‌داری داشت (جدول ۴). مطابق این یافته، استامفورد و همکاران (۲۰۰۲) اظهار کردند کاربرد گوگرد تلقیح شده با تیوباسیلوس موجب کاهش شدید pH خاک گردید.

**ارتفاع بوته:** عوامل مورد بررسی تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع گیاه داشتند (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین به‌دست آمده از ارتفاع بوته نشان داد که میکوریزا و تیوباسیلوس تیواکسیدانس به ترتیب ۱/۶ و ۴/۲ درصد ارتفاع بوته را نسبت به شاهد افزایش دادند. همچنین ارتفاع بوته با کاربرد ۲۵۰ و ۵۰۰ کیلوگرم گوگرد ۵/۹ و ۸/۴ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. اثرات مثبت میکوریزا بر افزایش ارتفاع در گیاهان مختلف به اثبات رسیده است (کیانشنک و همکاران، ۲۰۰۶، جاویتو و همکاران، ۲۰۰۰). همزیستی میکوریزایی از طریق تغییر در اختصاص منابع بین ریشه و قسمت‌های هوایی منجر به افزایش سطح برگ و افزایش ارتفاع گردد. همچنین گیاهان میکوریزایی انرژی کمتری برای تشکیل ریشه صرف می‌کنند، بنابراین گیاهان ساقه بزرگتری را تولید کرده و نسبت ریشه به ساقه پایین‌تری را به‌دلیل افزایش حجم ساقه به ریشه دارند (اسکالتر، ۲۰۰۱). برهمکنش تیوباسیلوس تیواکسیدانس و گوگرد تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته داشت به‌طوری‌که نتایج به‌دست آمده از مقایسه میانگین‌ها نشان داد، همه تیمارها اختلاف معنی‌داری با شاهد داشتند. بیشترین ارتفاع بوته با کاربرد تیوباسیلوس تیواکسیدانس همراه با مصرف ۵۰۰ کیلوگرم گوگرد و کمترین ارتفاع در تیمار شاهد به‌دست آمد. هر چند که بین تیمارهای مصرف تیوباسیلوس تیواکسیدانس همراه با ۵۰۰ و ۲۵۰ کیلوگرم گوگرد و عدم استفاده تیوباسیلوس تیواکسیدانس همراه با کاربرد ۵۰۰ کیلوگرم گوگرد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. استامفورد و همکاران (۲۰۰۲) گزارش کردند تلقیح گوگرد با تیوباسیلوس موجب افزایش رشد دو گیاه نخود و لوبیا نسبت به شاهد شد. نتایج به‌دست آمده نشان

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار جلد (۴)، شماره (۱) ۱۳۹۳

داد، اثر متقابل میکوریزا و تیوباسیلوس تیواکسیدانس تأثیر معنی داری بر ارتفاع بوته داشت. به طوری که بیشترین ارتفاع مربوط به تیمار تیوباسیلوس تیواکسیدانس بدون میکوریزا (۲۰۱/۵ سانتی متر) و کمترین ارتفاع (۱۸۳/۶ سانتی متر) در تیمار شاهد حاصل شد (شکل ۲).

جدول ۲- میانگین مربعات صفات مورد ارزیابی در گیاه ذرت تیمار شده با قارچ میکوریزا، باکتری تیواکسیدانس و گوگرد.

منابع تغییر	درجه آزادی	pH	ارتفاع بوته	وزن بلال	تعداد دانه در بلال	وزن صد	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه
بلوک میکوریزا	۲	۰/۰۰۰۸	۷/۵۳	۱۷۶۶/۸	۴۰۸۵/۸	۸/۲۱	۲/۰۶	۰/۴۶۵
تیوباسیلوس	۱	۴/۵۷*	۹۸/۰۱*	۶۲۱۴/۶**	۱۶۲۵۶**	۲۴/۵۰ <sup>ns</sup>	۹۶/۱۰**	۳/۲۹۴*
گوگرد	۱	۳۷۰/۰۹**	۶۲۸/۳۳**	۲۴۶۶/۷*	۸۸۷۰/۴*	۳۴/۲۲*	۱۵۴/۳۳**	۱۸/۷۹۲**
میکوریزا×تیوباسیلوس	۲	۵۲۷/۴۲**	۹۰۷/۲۱**	۶۱۰/۱**	۲۲۷۶۸**	۹۰/۰۹**	۱۴۰/۵۰**	۱۵/۲۲۳**
میکوریزا×گوگرد	۱	۱۳۳/۲۳**	۸۰۶/۵۶**	۱۲۶۰/۲ <sup>ns</sup>	۰/۰۲ <sup>ns</sup>	۲ <sup>ns</sup>	۱۰/۲۱ <sup>ns</sup>	۱/۹۶ <sup>ns</sup>
تیوباسیلوس×گوگرد	۲	۱/۵۲ <sup>ns</sup>	۶۹/۴۰ <sup>ns</sup>	۱۹۳/۷ <sup>ns</sup>	۶۹/۳ <sup>ns</sup>	۱۵/۸۱ <sup>ns</sup>	۱۹/۹۰ <sup>ns</sup>	۱/۱۶۰ <sup>ns</sup>
میکوریزا×تیوباسیلوس	۲	۱۰/۷۳**	۱۰۷/۶۶*	۲۱۰/۸۸*	۸۳۳۶**	۲۳/۶۳*	۱/۹۸ <sup>ns</sup>	۲/۱۵۶*
گوگرد×	۲	۱/۹۵ <sup>ns</sup>	۲۱۲/۸۵**	۸۲۶/۵ <sup>ns</sup>	۲۲۰/۱ <sup>ns</sup>	۱۳/۶۹ <sup>ns</sup>	۳۱/۶۳*	۱/۲۳۵ <sup>ns</sup>

\*، \*\* و <sup>ns</sup> به ترتیب بیانگر معنی داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم معنی داری می باشد.

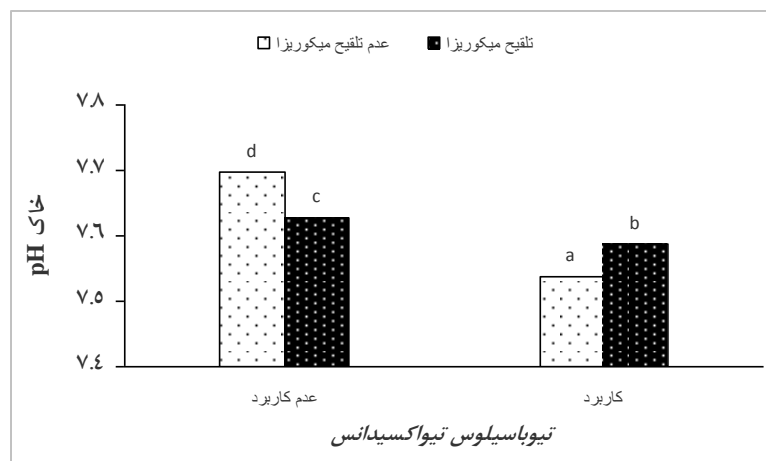
جدول ۳- جدول مقایسه میانگین تأثیر قارچ میکوریزا، باکتری تیواکسیدانس و کود گوگرد بر رشد و عملکرد ذرت.

تیمار	pH	ارتفاع بوته (سانتی متر)	وزن بلال (g.plant <sup>-1</sup> )	تعداد دانه در بلال	وزن صد دانه (گرم)	عملکرد بیولوژیک (ton.ha <sup>-1</sup> )	عملکرد دانه (ton.ha <sup>-1</sup> )
میکوریزا							
تلقیح	۷/۶۰ <sup>a</sup>	۱۹۵/۸۸ <sup>a</sup>	۳۹۹/۷۵ <sup>a</sup>	۷۵۳/۵۶ <sup>a</sup>	۲۵/۰۹	۲۶/۸۹ <sup>a</sup>	۹/۶۰ <sup>a</sup>
عدم تلقیح	۷/۶۱ <sup>b</sup>	۱۹۲/۵۸ <sup>b</sup>	۳۷۳/۴۷ <sup>b</sup>	۷۱۱/۰۶ <sup>b</sup>	۲۳/۴۴	۲۳/۶۲ <sup>b</sup>	۸/۹۹ <sup>b</sup>
تیوباسیلوس							
تلقیح	۷/۵۶ <sup>a</sup>	۱۹۸/۴۱ <sup>a</sup>	۳۹۴/۸۸ <sup>a</sup>	۷۸۱/۹۴ <sup>a</sup>	۲۵/۲۴ <sup>a</sup>	۲۷/۳۲ <sup>a</sup>	۱۰/۰۲ <sup>a</sup>
عدم تلقیح	۷/۶۶ <sup>b</sup>	۱۹۰/۰۶ <sup>b</sup>	۳۷۸/۳۳ <sup>b</sup>	۶۸۲/۶۷ <sup>b</sup>	۲۳/۲۹ <sup>b</sup>	۲۳/۱۸ <sup>b</sup>	۸/۵۷ <sup>b</sup>
گوگرد							
شاهد	۷/۷۲ <sup>c</sup>	۱۸۴/۶۷ <sup>c</sup>	۳۶۳/۷۵ <sup>c</sup>	۶۸۶/۴۲ <sup>c</sup>	۲۲/۷۰ <sup>b</sup>	۲۱/۷۳ <sup>c</sup>	۸/۱۶ <sup>c</sup>
۲۵۰ کیلوگرم	۷/۵۹ <sup>b</sup>	۱۹۶/۳۷ <sup>b</sup>	۳۸۷/۲۵ <sup>b</sup>	۷۳۷/۴۲ <sup>b</sup>	۲۲/۶۷ <sup>b</sup>	۲۵/۴۷ <sup>b</sup>	۹/۳۱ <sup>b</sup>
۵۰۰ کیلوگرم	۷/۵۲ <sup>a</sup>	۲۰۱/۶۶ <sup>a</sup>	۴۰۸/۸۳ <sup>a</sup>	۷۷۳/۰۸ <sup>a</sup>	۲۷/۴۳ <sup>a</sup>	۲۸/۵۶ <sup>a</sup>	۱۰/۴۱ <sup>a</sup>

\* وجود حرف مشترک نشان دهنده عدم اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد.



وزن بلال: نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس این صفت نشان داد که عوامل مورد بررسی تأثیر معنی داری بر وزن بلال نسبت به شاهد داشتند (جدول ۲). همان طور که در جدول مقایسه میانگین (جدول ۳) مشاهده می شود کاربرد قارچ میکوریزا ۶/۵ درصد وزن بلال را نسبت به عدم تلقیح افزایش داد. کاربرد باکتری تیوباسیلوس تیواکسیدانس وزن بلال را به میزان ۴/۱ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. اورتوس و هاریس (۱۹۹۶) اظهار کردند که استفاده از قارچ میکوریزا سرعت رشد گیاه را افزایش داده و بر تخصیص و انتقال عناصر غذایی بین ریشه و ساقه تأثیر دارد، به طوری که با افزایش جذب عناصر غذایی و انتقال آن ها، وزن خشک اندام های هوایی افزایش یافت. بین سطوح کاربرد گوگرد در افزایش وزن بلال اختلاف معنی دار وجود داشت. به طوری که کمترین وزن بلال در تیمار شاهد و بیشترین مقدار با کاربرد ۵۰۰ کیلوگرم گوگرد به دست آمد. کاربرد ۲۵۰ و ۵۰۰ کیلوگرم گوگرد به ترتیب ۶ و ۱۱ درصد وزن بلال را نسبت به شاهد افزایش دادند (جدول ۳). اثر متقابل باکتری تیوباسیلوس تیواکسیدانس و گوگرد موجب افزایش معنی داری در وزن بلال شد. به طوری که کمترین میزان وزن بلال مربوط به تیمار شاهد (۳۴۰/۸ گرم در بوته) و بیشترین وزن بلال مربوط به تیمار عدم تلقیح باکتری تیوباسیلوس تیواکسیدانس همراه با ۵۰۰ کیلوگرم گوگرد (۴۱۱/۸ گرم در بوته) به دست آمد (جدول ۴). نتایج این بررسی نشان داد که بین تیمارهای کاربرد همزمان باکتری تیوباسیلوس تیواکسیدانس و سه سطوح گوگرد اختلاف معنی داری مشاهده نشد.



شکل ۱- تأثیر کاربرد همزمان قارچ میکوریزا و باکتری تیوباسیلوس تیواکسیدانس بر pH خاک.



شکل ۲- تأثیر کاربرد همزمان قارچ میکوریزا و باکتری تیوباسیلوس تیواکسیدانس بر ارتفاع بوته ذرت.

جدول ۴- جدول مقایسه میانگین دوجانبه باکتری تیوباسیلوس تیواکسیدانس و گوگرد بر صفات مورد بررسی.

تیوباسیلوس	گوگرد (kg/ha)	pH	ارتفاع ساقه (سانتی متر)	وزن بلال (g.plant <sup>-1</sup> )	تعداد دانه در بلال	وزن صد دانه (گرم)	عملکرد دانه (ta.ha <sup>-1</sup> )
	۰	۷/۷۶ <sup>f</sup>	۱۷۷/۱ <sup>c</sup>	۳۴۰/۸ <sup>c</sup>	۶۰۷/۳ <sup>d</sup>	۲۰/۵۸ <sup>d</sup>	۷/۹۲ <sup>d</sup>
T <sub>0</sub>	۲۵۰	۷/۶۵ <sup>d</sup>	۱۹۳/۳ <sup>b</sup>	۳۸۲/۴ <sup>b</sup>	۶۹۵/۸ <sup>c</sup>	۲۳/۲۶ <sup>bcd</sup>	۸/۲۷ <sup>d</sup>
	۵۰۰	۷/۵۷ <sup>c</sup>	۱۹۹/۸ <sup>a</sup>	۴۱۱/۸ <sup>a</sup>	۷۴۴/۸ <sup>bc</sup>	۲۶/۰۳ <sup>ab</sup>	۹/۵۲ <sup>c</sup>
	۰	۷/۶۹ <sup>e</sup>	۱۹۲/۳ <sup>b</sup>	۳۸۶/۵ <sup>ab</sup>	۷۶۵/۵ <sup>ab</sup>	۲۲/۰۸ <sup>cd</sup>	۸/۴۰ <sup>d</sup>
T <sub>1</sub>	۲۵۰	۷/۵۲ <sup>b</sup>	۱۹۹/۴ <sup>a</sup>	۳۹۲/۱ <sup>ab</sup>	۷۷۹/۰ <sup>ab</sup>	۲۴/۸۱ <sup>bc</sup>	۱۰/۳۴ <sup>b</sup>
	۵۰۰	۷/۴۷ <sup>a</sup>	۲۰۳/۶ <sup>a</sup>	۴۰۵/۹ <sup>ab</sup>	۸۰۱/۳ <sup>a</sup>	۲۸/۸۳ <sup>a</sup>	۱۱/۳۱ <sup>a</sup>

\* وجود یک حرف مشترک بین میانگین‌ها نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد با آزمون LSD می‌باشد.

**تعداد دانه در بلال:** بررسی نتایج حاصل از این پژوهش در جدول ۲ بیانگر آن است که کاربرد میکوریزا، تیوباسیلوس تیواکسیدانس و کود گوگرد تأثیر معنی‌داری بر تعداد دانه در بلال داشتند. کاربرد میکوریزا و تیوباسیلوس تیواکسیدانس به ترتیب باعث افزایش ۵/۶ و ۱۲/۵ درصد در تعداد دانه در بلال نسبت به تیمار شاهد شدند (جدول ۳). در آزمایشی بالویی و همکاران (۲۰۰۹) تأثیر تیوباسیلوس و میکوریزا در سطوح مختلف گوگرد بر سویا را بررسی کردند نتایج آن‌ها نشان داد که تأثیر تیوباسیلوس بر تعداد دانه در غلاف معنی‌داری نبود. بین سطوح کاربرد گوگرد اختلاف معنی‌داری

از نظر تعداد دانه در بلال مشاهده شد. با کاربرد ۲۵۰ و ۵۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار به ترتیب افزایش ۶/۹ و ۱۱ درصد تعداد دانه در بلال مشاهده شد. بررسی نتایج این پژوهش نشان داد که برهمکنش تیوباسیلوس تیواکسیدانس و گوگرد نیز تأثیر معنی‌داری بر تعداد دانه در بلال داشت. به طوری که بین تیمارهای مورد بررسی اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. کمترین تعداد دانه در بلال مربوط به تیمار شاهد و بیشترین تعداد دانه در بلال در تیمار کاربرد تیوباسیلوس تیواکسیدانس و ۵۰۰ کیلوگرم گوگرد به دست آمد. بین تیمارهای مصرف تیوباسیلوس تیواکسیدانس و سه سطح گوگرد از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. نورقلی پور و همکاران (۲۰۰۶) و بهمن‌یار و همکاران (۲۰۰۵) نتایج مشابهی را مبنی بر تأثیر مصرف همزمان گوگرد و تیوباسیلوس بر افزایش عملکرد سویا گزارش نمودند.

**وزن ۱۰۰ دانه:** بررسی نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد تیوباسیلوس تیواکسیدانس و کود گوگرد تأثیر معنی‌داری بر وزن ۱۰۰ دانه داشت (جدول ۲). براساس جدول مقایسه میانگین مشخص شد که تیوباسیلوس تیواکسیدانس ۷/۷ درصد وزن ۱۰۰ دانه را افزایش داد. کاربرد ۲۵۰ کیلوگرم گوگرد نیز اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشت اما با افزایش مقدار گوگرد (۵۰۰ کیلوگرم)، ۱۷ درصد افزایش در وزن صد دانه مشاهده شد (جدول ۳). نتایج پژوهش‌گران نشان می‌دهد که کمبود گوگرد می‌تواند عملکرد را از طریق تأثیر بر رشد گیاه در دوره پر شدن دانه، کاهش دهد. بنابراین فرآهمی گوگرد در گیاه می‌تواند از طریق پر شدن و افزایش وزن دانه، عملکرد را نیز افزایش دهد (فلاویو و همکاران، ۲۰۰۷). اثر متقابل تیوباسیلوس تیواکسیدانس و گوگرد تأثیر معنی‌داری بر وزن ۱۰۰ دانه داشت. بیشترین وزن ۱۰۰ دانه با استفاده تیوباسیلوس تیواکسیدانس همراه با ۵۰۰ کیلوگرم گوگرد به دست آمد که با بقیه تیمارها به جز تیمار عدم کاربرد تیوباسیلوس تیواکسیدانس و ۵۰۰ کیلوگرم اختلاف معنی‌داری را نشان داد. این تیمار سبب شد تا وزن ۱۰۰ دانه در مقایسه با شاهد ۲۸/۶ درصد افزایش یابد (جدول ۴). این افزایش می‌تواند ناشی از اکسایش گوگرد و در نتیجه بهبود تغذیه گیاه و افزایش انتقال مواد غذایی به دانه شود. یافته‌های به دست آمده توسط بالویی و همکاران، (۲۰۰۹) نشان داد که کاربرد گوگرد و همچنین تلقیح گوگرد با تیوباسیلوس موجب افزایش معنی‌داری در وزن هزار دانه سویا شد.

**عملکرد بیولوژیک:** بررسی نتایج این پژوهش نشان داد که عوامل مورد بررسی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد بیولوژیک ذرت داشتند (جدول ۲). تلقیح میکوریزا عملکرد بیولوژیک را به مقدار ۱۲ درصد

نسبت به عدم تلقیح افزایش داد. این افزایش عملکرد به دلیل افزایش سطح جذب ریشه‌ها از طریق نفوذ میسلیموم قارچ در خاک و به دنبال آن دسترسی گیاه زراعی به حجم بیشتری از خاک می‌باشد. کارلینگ و برون (۱۹۸۲) اظهار نمودند که یکی از مهمترین آثار کاربرد قارچ‌های میکوریز افزایش عملکرد گیاهان زراعی، به خصوص در خاک‌های با حاصلخیزی پایین است. با کاربرد باکتری تیوباسیلوس تیواکسیدانس، عملکرد بیولوژیکی حدود ۱۵ درصد نسبت به عدم استفاده تیوباسیلوس تیواکسیدانس افزایش داشت. افزایش عملکرد می‌تواند ناشی از اسیدی کردن محیط ریزوسفری گیاه و افزایش دسترسی به عناصر غذایی و نیز بهبود تغذیه گیاه باشد. مصرف گوگرد نیز سبب افزایش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک شد به طوری که کمترین میزان عملکرد در شاهد مشاهده شد. کاربرد ۲۵۰ و ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد با عملکرد ۲۵/۴۷ و ۲۸/۵۶ تن در هکتار باعث افزایش ۱۴/۶ و ۲۳ درصد عملکرد بیولوژیک نسبت به شاهد شد (جدول ۳).

**عملکرد دانه:** نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که عملکرد دانه در هکتار به طور معنی‌داری تحت تأثیر عوامل به کار برده شده در آزمایش قرار گرفت (جدول ۲). به طوری که کاربرد میکوریزا و مصرف توأم تیوباسیلوس تیواکسیدانس همراه با گوگرد در سطح ۵ درصد و استفاده از تیوباسیلوس تیواکسیدانس و کود گوگرد در سطح ۱ درصد به طور معنی‌داری بر عملکرد دانه تأثیر داشتند. نتایج حاصل از مقایسه میانگین نشان داد که کاربرد میکوریزا و تیوباسیلوس تیواکسیدانس، میزان عملکرد دانه ذرت را به ترتیب ۶/۳۵ و ۱۴/۴۷ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند (جدول ۳). عبدالفتاح و همکاران (۲۰۰۲) گزارش نمودند که تلقیح گیاه باقلا با قارچ میکوریزا، کلونیزاسیون ریشه، تولید ماده خشک و میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی، را به طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش داد. در آزمایشی بالویی و همکاران (۲۰۰۹) تأثیر تیوباسیلوس و میکوریزا در سطوح مختلف گوگرد بر سویا بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که تیوباسیلوس موجب افزایش عملکرد سویا شد اما تأثیر میکوریزا بر عملکرد معنی‌دار نبود.

کاربرد ۲۵۰ و ۵۰۰ کیلوگرم گوگرد عملکرد را به میزان ۱۲/۳۵ و ۲۱/۶۱ درصد نسبت به شاهد (عدم کاربرد کود گوگرد) افزایش داد. تأمین گوگرد مورد نیاز گیاه و کاهش pH خاک ناشی از اکسایش گوگرد می‌تواند دسترسی گیاه را به عناصر کم تحرک آسان‌تر نموده و سبب افزایش عملکرد در ذرت شود. حسن و اولسن (۱۹۶۶) با بررسی اثر مصرف گوگرد بر ذرت پی بردند که عملکرد ذرت ۷۵ روز پس از مصرف گوگرد افزایش یافت که با نتایج این بررسی مطابقت داشت. کاپلن و اومن (۱۹۹۸) در

آزمایش گلخانه‌ای و مزرعه‌ای در خاک‌های آهکی دریافتند که مصرف گوگرد، عملکرد محصول و نیز مقدار آهن، روی، منگنز و فسفر جذب شده توسط سورگوم را افزایش داد. بررسی نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد همزمان تیوباسیلوس تیواکسیدانس و گوگرد تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه داشت (جدول ۲). همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود بین ترکیب تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود داشت. بیشترین مقدار عملکرد (۱۱/۳۱ تن در هکتار) از کاربرد تیوباسیلوس تیواکسیدانس و ۵۰۰ کیلوگرم گوگرد حاصل شد که با بقیه تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت. مک کرادی و کراس (۱۹۸۲) با تلقیح خاک به وسیله باکتری‌های تیوباسیلوس مشاهده کردند که میزان اکسایش گوگرد، کاهش pH و مقدار سولفات تولید شده در خاک تلقیح شده بیشتر از خاک بدون تلقیح می‌باشد. در نتیجه این اکسایش و کاهش pH خاک، دسترسی ریشه به عناصری چون فسفر و عناصر کم مصرف بیشتر شده و در نتیجه سبب بهبود تغذیه و افزایش عملکرد می‌شود (داوود و همکاران، ۱۹۸۵).

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج به دست آمده از این پژوهش، نشان می‌دهد که عملکرد و برخی از خصوصیات مورفولوژیکی ذرت از قبیل ارتفاع ساقه، وزن بلال، تعداد دانه در بلال، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه تحت تأثیر عوامل به کار برده قرار گرفتند. استفاده از توانایی قارچ میکوریزا به منظور افزایش توانایی گیاه در جذب آب، مواد غذایی و افزایش عملکرد ذرت سودمند بوده است. باکتری تیوباسیلوس تیواکسیدانس با اکسایش گوگرد، pH خاک را کاهش داده و سبب بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاه و افزایش معنی‌دار در عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی ذرت (به ترتیب ۱۰/۰۲ و ۲۷/۳۲ تن در هکتار) گردید. همچنین کاربرد کود گوگرد از طریق بهبود تغذیه گوگردی گیاه و کاهش pH خاک تأثیر معنی‌داری در افزایش رشد و عملکرد ذرت داشته است. کاربرد توأم باکتری تیوباسیلوس تیواکسیدانس و کود گوگرد نیز موجب تشدید کاهش pH خاک و افزایش بهبود تغذیه گیاه شد. با کاربرد همزمان این باکتری با ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد، حدود ۳۰ درصد افزایش در عملکرد ذرت مشاهده شد. به نظر می‌رسد که با انتخاب سطح مناسب گوگرد و تلقیح آن با باکتری تیوباسیلوس تیواکسیدانس می‌توان به نتایج بهتری دست یافت. بنابراین، به منظور تعیین و دستیابی به این سطح مناسب انجام آزمایش‌های عملی ضروری می‌باشد.

منابع

1. Ardekani, M.R., Majd, F., Mazaheri, D., and Noormohamadi, Gh. 2001. Evaluation of azospirillum, mycorrhiza and Streptomyces efficiency with manure utilization in wheat by using 32P. J. Agri. Sci. of Iran. 3(1): 56-69. (In Persian)
2. Amir Abadi, M., Rejali, F., Ardekani, F.R., and Berjy, M. 2009. Effect of azetobacter and mycorrhiza fungi inoculation on observation of some nutrient by silage corn. J. Res. soil. 23(1): 107-115. (In Persian)
3. Abdel-fattah, G.M., Migaher, F.F., and Ibrahim, A.H. 2002. Interactive effects of endomycorrhizal fungus *Glomus etunicatum* and phosphorus fertilization on growth and metabolic activities of broad bean plants under drought stress conditions. Pakist. J. Biologi. Sci. 5: 835-841.
4. Al-Kgraki, G.N., and Clark, R.B. 1998. Water stress mycorrhiza isolates effect on growth and nutrient accusation of wheat. J. Plant Nutr. 21: 891-901.
5. Attoe, O.J., and Olson, R.A. 1966. Factors affecting the rate of oxidation of elemental sulfur and that added in rock-phosphate-sulfur fusion. Soil Sci. 101: 317-324.
6. Bago, B., and Azcon-Aguilar, C. 1997. Changes in the rhizospheric pH induced by arbuscular mycorrhiza formation in onion (*Allium Cepa* L.). J. of Plant Nutri and Soil Sci. 160: 333-339.
7. Bahmanyar, M.A., Ramzanpoor, M.R., and Bahrevar, H.R. 2005. Evaluation seed yield and and quality of soybean under the effect of sulfur and magnesium fertilizers. The ninth Soil Science Congress of Iran. Compilation of Papers. Pp: 160. (In Persian)
8. Balloei, F., Ardakani, M.R., Rejali, F., Ramzanpoor, M.R., Alizade, G.R., and Mohebbati, F. 2009. Effect of Thiobacillus and Mycorrhiza fungi under different levels of sulfur on yield and yield components of soybean. International Symposium "Root Research and Applications" RootRAP, 2-4 September, 2009, Boku -Vienna, Austria.
9. Besharati, H., and Salehrastin, N. 1999. Effect of inoculum bacteria Thiobacillus combination with sulfur used in enhance phosphorus uptake. J. of Soil and Water Sci. 13(1): 23-39. (In Persian).
10. Besharati, H. 1998. Effects of the sulfur applications with Thiobacillus species in the ability to absorb certain nutrients in the soil. M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, Tehran University, 120p. (In Persian).
11. Bremner, J.M. 1996. Nitrogen-Total. PP. 1082-1122. In: D.L. Sparks et al., (Eds). Methods of Soil Analysis. Part III, 3rd Ed. American Society of Agronomy, Madison, WI.
12. Burns, G.R. 1967. Oxidation of sulfur in soils. Tech. Bull. 13. The sulfur Institute, Washington, DC. 350p.

13. Carling, D.E., and Brown, M.F. 1982. Anatomy and physiology of vesicular arbuscular and non mycorrhizal roots. *Phyto.* 72: 1108–1114.
14. Cifuentes, F.R., and Lindemann, W.C. 1993. Organic matter stimulation of elemental sulfur oxidation in calcareous soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 727-731.
15. Dawood, F., Al-Omaqri, S.M., and Murtatha, N. 1985. High levels of sulfur affecting availability of some micronutrients in calcareous soils. Pp: 55-68. In: Proc. Sec. Reg. conf. on sulfur and its usage in Arab countries. Riyadh, 2-5 March, 1985, Saudi Arabia.
16. Flavio, H., Gutierrez, B., Prystupa, P., and Gustavo, F. 2007. Seed number and yield determination in sulfur deficient soybean crops. *J. of Plant Nutri.* 30: 1, 93-104.
17. Gavito, M.E., Curtis, P.S., Mikkelsen, T.N., and Jakobsen, I. 2000. Atmospheric CO<sub>2</sub> and mycorrhizae effect on biomass allocation and nutrient uptake of nodulated pea (*Pisum sativum* L.) plants. *J. Exp. Bot.* 51(352): 1931-1938.
18. Hasan, N., and Olson, R.A. 1966. Influence of applied sulfur on availability of soil nutrients for corn (*Zea mays* L.) nutrition. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 30: 284-286.
19. Hoeft, R.G., and Sorensen, R.C. 1969. Micronutrient availability in three soil materials as affected by application of zinc, lime and sulfur. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 30: 284-286.
20. Janzen, H.H., and Bettany, A. 1987. The effect of temperature and water potential on sulfur oxidation in a calcareous soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 727-731.
21. Kalbasi, M., Manuchehri, N., and Filsoof, F. 1988. Local acidification of soil as a means to alleviate iron chlorosis on Quince orchards. *J. Plant Nutr.* 9(3-7): 1001-1007.
22. Kaplan, M., and Orman, S. 1998. Effect of elemental sulfur and sulfur containing waste in a calcareous soil in Turrkey. *J. Plant Nutr.* 21(8): 1655-1665.
23. Kariminia, A. 1987. The identification of Thiobacillus species isolated some of soils from Iran and their effect on reduction soil pH. M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, Tehran University, 114p. (In Persian).
24. Kelly, D.P., and Harrison, A.P. 1989. Genus Thiobacillus. 1942-1858. In J.T. Staley (ed). *bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. YoI. 39<sup>th</sup> ed. Williams and Wilkins, Baltimore. U.S.A.
25. Kittams, H.A., and Attoe, O.J. 1965. Availability of phosphorus in rock phosphate-sulfur fusion. *Agro J.* 57: 331-34.
26. Liu, A., Hamel, C., Hamilton, R.I., and Smith, D.L. 2000. Mycorrhizae formation and nutrient uptake of new corn (*Zea mays* L.) hybrids with extreme canopy and leaf architecture as influenced by soil N. and P. levels. *Plant and Soil.* 221: 157-166.

27. Mc Cready, R.G.L., and Krouse, H.R. 1982. Sulfur isotope fractionation during the oxidation of elemental sulfur by *Thiobacillus* in a solonchalc soil. *Can. J. Soil Sci.* 92: 105-110.
28. Miller, J.R. 1965. Effect of sulfur and gypsum addition on availability of rock phosphate. *Soil Sci.* 82: 1129-134.
29. Modaihsh, S., Al-Mustafa, W.A., and Metwally, A.E. 1989. Effect of elemental sulfur on chemical changes and nutrient availability in calcareous soils. *Plant and Soil.* 116: 95-101.
30. Morvedt, J.J., Giordano, P.M., and Lindsay, W.L. 1991. Micronutrient in agriculture. *Soil Sci. Soc. Am. Inc. Madison, Wisconsin USA*, 666p.
31. Mukherjee, D., and Singh, R.K. 2002. Influence of sulphur, iron and silicon nutrition on growth and yield of irrigated mustard. *Haryana J. Agron.* 18 (1 and 2): 50-2.
32. Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. Pp: 961-1010. In: D.L. Sparks et al., (Eds). *Methods of Soil Analysis. Part III, 3rd Ed.* American Society of Agronomy, Madison, WI.
33. Nourgholipour, F., Khavazi, K., Besharati, H., and Fallah, A. 2006. Evaluation of Rock phosphate and thiobacillus application affecting the yield and quality of soybean and their residual on corn growth. *J. of Soil and Water.* 20(1): 122-132. (In Persian)
34. Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S., and Dean, L.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *USDA Circular 939.* U.S. Government Printing Office, Washington D.C.
35. Ortus, I., and Harris, P.J. 1996. Enhancement uptake of phosphorus by mycorrhizal sorghum plant as influenced by forms of nitrogen. *Plant and Soil.* 184: 225-264.
36. Parniske, M. 2008. Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses. *Nat. Rev. Microbiol.* 6: 763-775.
37. Qiangsheng, W., Renxue, X., and Zhengjia, H. 2006. Effect of arbuscular mycorrhiza on the drought tolerance of *Poncirus trifoliata* seedlings. *J. Front. Fore. In China.* 1: 100-104.
38. Richards, L.A. 1969. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*, U.S. Government Printing Office, Washington. D.C, 160p.
39. Rigou, L., and Mignard, E. 1994. Factors of acidification of the rhizosphere of mycorrhiza plants: Measurement of p CO<sub>2</sub> in the rhizosphere. *Acta. Bot. Gall.* 141: 533-539.
40. Schultz, C. 2001. Effect of (vesicular-arbuscular) mucorrhiza on survival and palms (*Elaeis guineensis* Jacq.). Ph.D. Thesis. The University of Gottingen, 160P.
41. Song, H. 2005. Effects of vam on host plant in condition of drought stress and its mechanisms. *Elect. J. of Biol.* 1(3): 44-48.



42. Smith, S.E., and Read, D.J. 2008. Mycorrhizal Symbiosis, 3rd ed. Academic Press Inc., London, UK, 815p.
43. Stamford, N.P., Freitas, A.D., Ferraz, D.S., and Santos, C.E.R.S. 2002. Effect of sulfur inoculated with Thiobacillus on saline soils amendment and growth of cowpea and yam bean legumes. *J. Agric. Sci.* 139, 275-281.
44. Stevenson, F.J. 1986. Cycles of soil. John Wiley and Sons Inc., New York. 380p.
45. Subramanian, H., and Charest, S. 1999. Acquisition of N by external hyphae of an arbuscular mycorrhizal fungus and its impact on physiological responses in maize under drought stress and well watered conditions. *Mycology* 9: 69-75.
46. Tabatabai, M.A. 1986. Sulfur in Agriculture. Am. Soc. of Agronomy Inc., Madison, Wis., USA. 668p.
47. Tate III, R.L. 1995. The sulfur and related biogeochemical cycle. P: 359-372. In M. Alexander (ed) *Soil Microbiology*. John Wiley and Sons Inc., New York.
48. Tisdal, S.L., Nelson, W.L., and Beaton, J.D. 1984. *Soil Fertility and Fertilizers*. 4<sup>th</sup> Ed., McMillon Publishing Company, New York. 412p.
49. Turk, M.A., Assaf, T.A., Hameed, K.M., and Tawaha, A.M. 2006. Significance of Mycorrhizae. *World J. Agri. Sci.* 2: 16-20.
50. Wainwright, M. 1984. Sulfur oxidation in soils. *Adv in Agron.* 37: 349-396.



## Evaluation of mycorrhizal symbiosis, *Thiobacillus thiooxidans* and sulfur application effects on growth characteristics and yield of Corn (*Zea mays* L.)

\*A. Ansori<sup>1</sup>, A. Golami<sup>2</sup>, H. Abasdokht<sup>2</sup>, M. Gholipoor<sup>2</sup>,  
M. Baradaran<sup>3</sup> and A.R. Falah Nosratabad<sup>4</sup>

<sup>1</sup>M.Sc. Student, Dept. of Agronomy, Shahrood University of Technology,

<sup>2</sup>Associate Prof., Dept. of Agronomy, Shahrood University of Technology,

<sup>3</sup>Assistant Prof., Dept. of Agronomy, Shahrood University of Technology,

<sup>4</sup>Assistant Prof. of Soil and Water Research Institute, Karaj

Received: 07/02/2012 ; Accepted: 02/17/2013

### Abstract

In order to improve soil fertility, increase nutrient uptake and plant health, use of useful soil organisms is the best scientific method that help balance the stability of soil as a living system. In order to evaluate the effect of mycorrhizal fungi, *Thiobacillus thiooxidans* and sulfur fertilizer on growth and yield of corn, a field experiment was arranged in a factorial based on completely randomized design with three replications. Mycorrhizae and *Thiobacillus thiooxidans* were at two levels (with (M<sub>1</sub> and T<sub>1</sub>) and without (M<sub>0</sub> and T<sub>0</sub>) inoculation) and three levels of sulfur (S<sub>0</sub>: 0 kg.ha<sup>-1</sup>, S<sub>1</sub>: 250 kg.ha<sup>-1</sup> and S<sub>2</sub>: 500 kg.ha<sup>-1</sup>). Results showed that inoculation of mycorrhizae, *Thiobacillus thiooxidans*, and sulfur application decreased soil pH and increased grain yield, grain number per ear, stem height, weight of 100 grains (except mycorrhizae) and biological yield significantly compared to control plants. The interaction of sulfur and *Thiobacillus thiooxidans* was significant on all traits studied except for biological yield. Interaction of mycorrhizae and *Thiobacillus thiooxidans* on soil pH decrease and on stem height increase were significant.

**Keywords:** *Thiobacillus thiooxidans*, Sulfur, Mycorrhizae, Yield, pH

---

\* Corresponding Authors; Email: [aliansori98@yahoo.com](mailto:aliansori98@yahoo.com)