نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 8، شماره 3، پاییز 1395، ص.372-359

Journal of Agroecology
Vol. 8, No. 3, Fall 2016, p. 359-372

ارزیابی خصوصیات کمی و کیفی ذرت (*Zea mays* L.) تحت تأثیر کاربرد ورمی‌کمپوست، باکتری *تیوباسیلوس* و محلول‌پاشی آهن و روی

الناز داوران حق[1]، بهرام میرشکاری[2*]، محمدرضا اردکانی[3]، فرهاد فرح‌وش[4] و فرهاد رجالی[5]

تاریخ دریافت: 1393/03/06
تاریخ پذیرش: 1393/07/13

داوران حق، ا.، میرشکاری ب.، اردکانی، م.ر.، فرحوش، ف.، و رجالی، ف. 1395. ارزیابی خصوصیات کمی و کیفی ذرت (*Zea mays* L.) تحت تأثیر کاربرد ورمی‌کمپوست، باکتری *تیوباسیلوس* و محلول‌پاشی آهن و روی. نشریه بوم‌شناسی کشاورزی، 8(3):372-359.

چکیده

در دنیای امروز، ذرت (*Zea mays* L.) به عنوان یک غذای با ارزش برای تغذیه انسان و دام می‌باشد. به منظور بررسی اثر مدیریت تلفیقی عناصر غذایی بر عملکرد و کیفیت ذرت این آزمایش در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز در سال 1391، به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار و چهار تیمار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل ترکیبی از چهار تیمار: ورمی‌کمپوست (عدم مصرف کود و کاربرد دو تن در هکتار)، تلقیح با *Thiobacillus* (بدون تلقیح و تلقیح با *Thiobacillus thiooxidans*)، تیمار محلول‌پاشی آهن (بدون محلول‌پاشی و دوبار محلول‌پاشی دو در هزار کلات آهن 13 درصد) و محلول‌پاشی عنصر روی (شاهد و دوبار محلول‌پاشی دو در هزار کلات روی 15 درصد) بود. نتایج حاصل از آزمایش نشان دادند که ورمی‌کمپوست بر وزن هزار دانه، تعداد دانه در بلال، ارتفاع ساقه، قطر ساقه، آهن، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، محتوی روی و پروتئین تأثیر معنی‌دار داشت. اثر تلقیح بذر ذرت با باکتری *تیوباسیلوس* بر تمام صفات مورد اندازه‌گیری به استثناء ارتفاع ساقه معنی‌دار بود. تیمار محلول‌پاشی آهن نیز بر صفات ارتفاع ساقه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و محتوی آهن دانه تأثیر معنی‌دار داشت. اثر محلول‌پاشی روی هم بر صفات تعداد دانه در بلال، ارتفاع ساقه، عملکرد دانه، محتوی روی دانه و پروتئین دانه اثر معنی‌دار نشان داد. نتایج مقایسه میانگین نیز نشان داد که کاربرد ورمی‌کمپوست، باکتری *تیوباسیلوس* و محلول‌پاشی آهن و روی عملکرد دانه ذرت را به ترتیب به میزان 20/9 درصد، 13/1 درصد، 5/8 درصد و 8/0 درصد در مقایسه با شاهد افزایش داد. نتایج به طور کلی نشان داد که استفاده از ورمی‌کمپوست، باکتری *تیوباسیلوس* و محلول‌پاشی آهن و روی بر کیفیت دانه ذرت، اجزای عملکرد و عملکرد در ذرت اثر مثبت داشت.

واژه‌های کلیدی: پروتئین، عناصر کم‌مصرف، غنی‌سازی مواد غذایی، کود بیولوژیک

مقدمه

محصولات غذایی اصلی اغلب در برخی مواد مغذی دچار کمبود هستند که به صورت سوء تغذیه یا گرسنگی پنهان در مورد عناصر ریزمغذی مانند آهن (Fe) و روی (Zn) بیش از 40 درصد جمعیت جهان به خصوص در کشورهای در حال توسعه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Tucker, 2003). به فرآیند افزودن مواد مغذی به محصولات کشاورزی غنی‌سازی محصولات غذایی[6] گفته می‌شود که از طریق به‌نژادی گیاهان، مدیریت زراعی یا مهندسی ژنتیک انجام می‌شود (Tanumihardjo et al., 2008). ریزمغذی‌هایی که اکنون

1، 2، 3، 4 و 5- به ترتیب دانشجوی دکتری زراعت، دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز و استادیار، مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور، کرج

(*- نویسنده مسئول: Email: mirshekari@iaut.ac.ir)

6- Biofortification

هدف این برنامه غنی‌سازی هستند آهن، روی و پیش‌ماده ویتامین A می‌باشند (Rawat et al., 2013).

کودهای شیمیایی تأثیر معنی‌دار بر تولید غذا در جهان داشته و از اجزا مهم نظام‌های کشاورزی محسوب می‌شوند. بررسی‌ها نشان می‌دهند بیش از 50 درصد تولید در کشاورزی به کاربرد کودهای شیمیایی مربوط می‌شود (Fixon & West, 2002). در سال‌های اخیر افزایش نگرانی مصرف‌کنندگان در مورد مشکلات کیفیت غذایی، سلامت محیط زیست و حفاظت خاک منجر به افزایش گرایش به کشاورزی پایدار شده است (Lazcano et al., 2011). در نظام‌های کشاورزی پایدار استفاده از کودهای زیستی اهمیت ویژه‌ای در تولید و حفظ حاصلخیزی پایدار خاک دارند (Sharma, 2004). ورمی‌کمپوست از تخریب هوازی مواد آلی ایجاد می‌شود که این تخریب شیمیایی با فعالیت آنزیمی در روده‌های کرم‌ها و همچنین آنزیم‌های همراه با جمعیت میکروبی صورت می‌گیرد. ورمی‌کمپوست یک کود آلی است که می‌تواند کیفیت غذایی را بدون تداخل با سلامت محصولات غذایی بهبود دهد (Simsek-Ersahin, 2011). این کود آلی ساختمان فیزیکی خاک را بهبود می‌دهد و ظرفیت نگه‌داری رطوبت موجود در خاک را افزایش می‌دهد. همچنین از آبشویی عناصر غذایی جلوگیری می‌کند و عناصر را تدریجی و پیوسته آزاد می‌کند (Galli et al., 1990; Rantala et al., 1999). با توجه به این‌که در تولید این کود از مواد شیمیایی استفاده نمی‌شود، محصولات کشاورزی تولید شده کاملاً طبیعی می‌باشند (Alizadeh et al., 2009). در آزمایشات مختلف، تأثیر ورمی‌کمپوست بر گیاهان زراعی مورد بررسی قرار گرفته است. راماسمی و همکاران (Ramasamy et al., 2013) عملکرد دانه ذرت (*Zea mays* L.) تحت تأثیر مصرف ورمی‌کمپوست را مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که ورمی‌کمپوست نسبت به شاهد سبب افزایش میزان و اندازه دانه ذرت نسبت به گیاهان شاهد شده است. موسوی و همکاران (Mousavi et al., 2012) گزارش کردند که استفاده از ورمی‌کمپوست موجب افزایش عملکرد و کاهش میزان دانه پوک در خوشه برنج (*Oriza sativa* L.) شده است. همچنین در آزمایشی تأثیر ورمی‌کمپوست بر خصوصیات رشدی، عملکرد و کیفیت دانه گندم گزارش شده است که ورمی‌کمپوست با کم‌ترین میزان هم تأثیر مطلوبی را نشان داد و کاربرد اقتصادی و بدون زیان ورمی‌کمپوست را تأیید نموده است (Joshi et al., 2013).

عناصر ریزمغذی برای رشد طبیعی گیاهان مورد نیاز هستند و ضمن شرکت در برخی ساختارهای اندامک‌ها، در بسیاری از واکنش‌های بیوشیمیایی گیاه دخالت دارند (Kamaraki & Galavi, 2012). محتوی مواد غذایی خاک ممکن است همیشه برای تأمین نیاز گیاه کافی نباشد. عرضه مقادیر مناسب عناصر معدنی به گیاهان در حال رشد روش مناسبی برای بهبود عملکرد گیاهان زراعی است. اکثر عناصر ریزمغذی در خاک‌های قلیایی تثبیت شده و ریشه گیاه قادر به جذب کافی آن‌ها از خاک نمی‌باشد (Cakmak, 2008). کودهای ریزمغذی چهار درصد از کل کودهای مصرفی را در جهان تشکیل می‌دهند اما در ایران این مقدار در حدود 0/17 درصد است. سه عنصر ریزمغذی آهن، روی و منگنز بیش از سایر عناصر در امر تغذیه ذرت نقش دارند (Malakouti & Tehrani, 2008). از راهکارهای مهم جهت افزایش میزان غلظت عناصر کم‌مصرف در دانه، کوددهی و یا محلول‌پاشی گیاهان است (Cakmak, 2002). مطالعات نشان داده است که کاربرد عناصر ریزمغذی آهن و روی موجب بهبود شاخص‌های فیزیولوژیک در ذرت شده است (Ghaffari et al., 2010). بنا بر گزارشات فتحی و عنایت قلی‌زاده (Fathi & Enayatgholizadeh, 2009) تأثیر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی آهن، روی و مس و ترکیب آن‌ها را بر خصوصیات رشدی گیاه جو (*Hordeum vulgare* L.) ارزیابی کردند و دریافتند که محلول‌پاشی اثر مثبتی بر رشد رویشی و زایشی جو داشته است. کمارکی و قلویی (Kamaraki & Galavi, 2012) نیز تأثیر محلول‌پاشی آهن و روی را بر گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) بررسی نمودند و گزارش کردند که ارتفاع بوته، عملکرد دانه و بیولوژیک، وزن هزار دانه، شاخص برداشت و درصد پروتئین و روغن تحت تأثیر محلول‌پاشی قرار گرفته است و بیش‌ترین درصد پروتئین و روغن در تیمار ترکیبی روی و آهن به دست آمده است.

علاوه بر محلول‌پاشی، اسیدی کردن خاک و کاهش pH نیز از راه‌هایی است که توسط آن می‌توان از قدرت تثبیت خاک کاست تا بر حلالیت عناصر غذایی افزوده شود. در این بین گوگرد از متداول‌ترین و مقرون به صرفه‌ترین مواد برای اسیدی کردن خاک است (Kaya et al., 2009). استفاده از گوگرد و ریزجانداران اکسیدکننده آن به عنوان یک راه حل زیستی فاقد پیامدهای مخرب زیست‌محیطی است که به عنوان راهکاری جهت بهبود وضعیت تغذیه گیاهان در خاک‌های آهکی و قلیایی در سال‌های اخیر مورد توجه فراوان قرار گرفته و نتایج مثبتی به همراه داشته است (Siyami & Besharati, 2012).

طیف وسیعی از ریزجانداران قادر به اکسایش گوگرد در محیط هستند که از بین آن‌ها فقط باکتری‌های هتروتروف، به ویژه جنس *تیوباسیلوس* (*Thiobacillus thiooxidans*) نقش مهمی در اکسایش گوگرد خاک‌های زراعی ایفا می‌کنند (Tate, 1995). باکتری‌های *تیوباسیلوس* شیمیوتروف بوده و انرژی خود را با اکسیداسیون گوگرد تأمین می‌کنند (Tisdale et al., 1984).

با توجه به اهمیت بهبود کیفیت غذایی دانه ذرت و گرایش به سمت کشاورزی پایدار، تحقیق حاضر با هدف بررسی تأثیر ورمی-کمپوست، محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی آهن و روی و تأثیر باکتری *Thiobacillus* بر خصوصیات کمی و کیفی دانه ذرت انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز (طول جغرافیایی 46 درجه و 17 دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی 38 درجه و 5 دقیقه شمالی) در سال 1391 انجام گرفت. جهت تعیین خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک هفت نمونه خاکی به طور تصادفی از نقاط مختلف مزرعه از عمق 30-0 سانتی‌متری خاک گرفته شد. همه نمونه‌ها مخلوط شدند و یک نمونه برای تجزیه در آزمایشگاه خاک به دست آمد. نتایج آزمایش خاک نشان داد که خاک محل بررسی شنی-لومی (14 درصد رس، 16 درصد سیلت و 70 درصد شن) با واکنش 8/05 و هدایت الکتریکی 1/55 $dS.m^{-1}$ بوده است. سایر خصوصیات خاک در جدول 1 نشان داده شده است.

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار و چهار عامل انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل ترکیبی از سطوح چهار عامل به شرح ذیل بودند:

(1) ورمی‌کمپوست (شاهد یا عدم مصرف ورمی‌کمپوست و کاربرد دو تن در هکتار ورمی‌کمپوست به‌صورت نواری قبل از کاشت در زیر بذر)، (2) تلقیح با *Thiobacillus* (بدون تلقیح و تلقیح با *Thiobacillus thiooxidans* با جمعیت 10^8 سلول در گرم، (3) محلول‌پاشی آهن (بدون محلول‌پاشی و محلول‌پاشی دو در هزار کلات آهن 13 درصد شرکت Green®, Italy)، محلول‌پاشی دوبار انجام شد: یکی در مرحله ظهور تاسل و دیگری دو هفته بعد، (4) محلول‌پاشی روی (Zn) (شاهد و دو در هزار کلات روی 15 درصد شرکت Green®, Italy)، این محلول‌پاشی نیز دوبار در مرحله ظهور تاسل و دیگری دو هفته بعد صورت گرفت.

ورمی‌کمپوست مورد استفاده در آزمایش که از منبع گاوی بود به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مورد تجزیه قرار گرفت که نتایج آن در جدول 2 ذکر شده است. pH آن 7/4، نسبت C/N آن 21 و مقدار مواد آلی آن 40 درصد بود.

به منظور افزایش فعالیت بیولوژیکی و افزایش حاصلخیزی خاک قبل از کشت ذرت در همه کرت‌ها قارچ میکوریزا، کودهای نیتروژن، فسفر و گوگرد به کار برده شد. میکوریزا *Glomus intraradices* به صورت نواری در زیر ردیف بذرها استفاده شد. *Azospirillum lipoferum* با جمعیت 2×10^8 به بذرها آغشته شد. به علاوه، 75 کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن به شکل اوره و 50 کیلوگرم در هکتار کود فسفره به شکل سوپرفسفات‌تریپل (بعد از تجزیه خاک توسط آزمایشگاه پیشنهاد شد) به کرت‌ها اضافه شد. باکتری *تیوباسیلوس* به صورت مخلوط با گوگرد (150 کیلوگرم در هکتار گوگرد با خلوص 98 درصد) قبل از کشت تلقیح شدند. مایه تلقیح با جمعیت 10^8 سلول در گرم به میزان سه کیلوگرم در هکتار از مؤسسه تحقیقات خاک و آب کرج تهیه گردید.

جدول 1- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل مورد بررسی

Table 1- Physico-chemical properties of the test site soil

عمق (سانتی-متر) Depth (cm)	کربن آلی (درصد) Organic carbon (%)	مواد خنثی شونده (درصد) Total neutralizing value (%)	نیتروژن کل (درصد) Total N (%)	فسفر قابل جذب (پی‌پی‌ام) P Assimilable form (ppm)	پتاسیم قابل جذب (پی‌پی‌ام) K Assimilable form (ppm)	آهن (میلی-گرم بر کیلوگرم) Fe ($mg.kg^{-1}$)	منگنز (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Mn ($mg.kg^{-1}$)	روی (میلی-گرم بر کیلوگرم) Zn ($mg.kg^{-1}$)	مس (میلی-گرم بر کیلوگرم) Cu ($mg.kg^{-1}$)
0-30	1.15	11.25	0.126	20.7	370	4.2	3.6	1.1	0.96

جدول 2- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی کود ورمی‌کمپوست مورد استفاده در آزمایش

Table 2- Physico-chemical properties of the applied vermicompost

مس (میلی-گرم بر کیلوگرم) Cu ($mg.kg^{-1}$)	منگنز (میلی-گرم بر کیلوگرم) Mn ($mg.kg^{-1}$)	روی (میلی-گرم بر کیلوگرم) Zn ($mg.kg^{-1}$)	آهن (میلی-گرم بر کیلوگرم) Fe ($mg.kg^{-1}$)	سدیم (درصد) Na (%)	منیزیم (درصد) Mg (%)	کلسیم (درصد) Ca (%)	پتاسیم (درصد) K (%)	فسفر (درصد) P (%)	نیتروژن (درصد) N (%)	کربن آلی (درصد) Organic carbon (%)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) Electrical conductivity ($dS.m^{-1}$)	رطوبت (درصد) Moisture (%)
20	450	110	3300	0.8	1.2	1	2.2	1.8	1.4	25	1.12	25

بذرهای ذرت (*Zea mays* L. var. popcorn KSC. 600) بعد از آغشته شدن به باکتری *Azospirillum lipoferum* با تراکم 66000 گیاه در هکتار کشت شدند. آبیاری پس از تبخیر 70 میلی‌متر از سطح تشتک تبخیر انجام می‌گرفت.

تعداد 10 گیاه از ردیف‌های میانی هر کرت برداشت شد و عملکرد دانه آن‌ها اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری ریزمغذی‌ها، پنج گیاه دیگر از هر کرت در زمانی که بذرها در مرحله خشکی بودند برداشت شدند و در آون 70 درجه سانتی‌گراد برای 72 ساعت خشک شدند. سپس نمونه‌ها آسیاب و تجزیه شدند. نیتروژن با روش کجلدال، فسفر با اسپکتروفتومتر، آهن و روی در دانه با روش جذب اتمی اندازه‌گیری شد. مقدار پروتئین نیز با ضرب مقدار درصد نیتروژن در عدد 5/25 به دست آمد.

در پایان داده‌ها با نرم‌افزار آماری SAS, 9.1، پس از بررسی نرمال بودن تجزیه شدند و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک درصد انجام شد.

نتایج و بحث

اثر ورمی‌کمپوست

کاربرد ورمی‌کمپوست بر وزن هزار دانه، تعداد دانه در بلال، ارتفاع ساقه، قطر ساقه، آهن، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، محتوی روی و پروتئین تأثیر معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول 3). نتایج نشان داد که ورمی‌کمپوست موجب افزایش وزن هزار دانه ذرت نسبت به تیمار شاهد شده است (جدول 4). باب گوهری و همکاران (Babgohari et al., 2010) نیز گزارش کردند که کاربرد کمپوست زباله شهری وزن هزار دانه ذرت را افزایش می‌دهد و این تأثیر به نقش مثبت کود در پرشدگی دانه ذرت و آزادسازی تدریجی عناصر غذایی در طی دوره رشد ذرت نسبت داده شد. همچنین ورمی‌کمپوست موجب افزایش 15 درصدی تعداد دانه در بلال نسبت به عدم استفاده از آن شد. ارتفاع ساقه و قطر ساقه ذرت نیز با استفاده از ورمی‌کمپوست نسبت به شاهد افزایش نشان داد. استفاده از ورمی-کمپوست موجب افزایش 31 سانتی‌متری ارتفاع ساقه ذرت نسبت به شاهد شد. سیدی و رضوانی مقدم (Seyyedi & Rezvani Moghaddam, 2011) افزودن کمپوست قارچ به بستر کشت گندم (*Triticum aestivum* L.) را سبب افزایش ارتفاع بوته گندم گزارش کردند. این اثر مثبت ممکن است به قابلیت تحریک‌کنندگی فعالیت میکروب‌های مفید خاک توسط ورمی‌کمپوست و افزایش جذب عناصر پرمصرف و کم‌مصرف و در نتیجه بهبود فرآیند فتوسنتز مربوط باشد (Arguello et al., 2006). همچنین استفاده از ورمی‌کمپوست موجب افزایش حدود 10 درصد عملکرد بیولوژیک نسبت به عدم استفاده شد (جدول 4). در همین ارتباط درزی و همکاران (Darzi et al., 2008) در تحقیقی بر گیاه رازیانه (*Foeniculum vulgare* L.) نشان دادند که مصرف شش تن ورمی‌کمپوست سبب افزایش عملکرد بیولوژیک شده است. آن‌ها اظهار داشتند که افزودن ورمی‌کمپوست به خاک نه تنها فراهمی عناصر غذایی را افزایش می‌دهد بلکه بر وضعیت فیزیکی خاک هم مؤثر بوده و با بهبود محیط رشد ریشه سبب رشد اندام‌های هوایی و به تبع آن افزایش ماده خشک می‌شود.

در این آزمایش استفاده از ورمی‌کمپوست عملکرد دانه را 17 درصد نسبت به شاهد (عدم استفاده) افزایش داد (جدول 4). اختلاط ورمی‌کمپوست با خاک سبب افزایش عملکرد دانه در گندم نسبت شاهد می‌شود (Sebti et al., 2009). سعید نژاد و رضوانی مقدم (Saeed Nejad & Rezvani Moghaddam, 2010) گزارش کردند که ورمی‌کمپوست بر عملکرد دانه زیره‌سبز (*Cuminum cyminum* L.) نسبت به شاهد اثر معنی‌داری داشته و سبب افزایش آن شده است.

جدول 3- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمارها بر صفات مورد ارزیابی در این آزمایش

Table 3- Analysis of variances (mean squares) of the effect of treatments on the measured traits

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	وزن هزار دانه 1000-Seed weight	تعداد دانه در بلال Number of seed per ear	ارتفاع ساقه Stem height	قطر ساقه Stem diameter	عملکرد بیولوژیک Biologic yield	عملکرد دانه Seed yield	آهن Fe	روی Zn	پروتئین Protein
تکرار Replication	2	25.7	20241.9	595.2	0.016	1381966.08	934464.0	973.0	253.6	0.04
ورمی‌کمپوست V	1	3864.6**	170513.2**	11477.8**	0.87**	54852528**	29148625.5**	1102**	1190.0**	22.92**
تیوباسیلوس B	1	173.6*	45872.9**	45.5^{ns}	2.7**	18376875**	12250291.6**	1008.3**	475.0**	11.87**
آهن F	1	22.2^{ns}	Ns339.3^{ns}	424.5**	0.01^{ns}	4140700*	2573817.1**	1140.7**	77.5^{ns}	1.02^{ns}
روی Z	1	38.3^{ns}	9202.4*	267.1*	0.008^{ns}	555130^{ns}	4869865.0**	Ns70.08	256.6**	5.42**
ورمی کمپوست^{x} *تیوباسیلوس* V×B	1	52.2^{ns}	14330.64**	87.03^{ns}	0.50**	5.33^{ns}	3177037.5**	126.7^{ns}	2.52^{ns}	0.20^{ns}
ورمی‌کمپوست^{x}آهن V×F	1	5.2^{ns}	17.6^{ns}	18.4^{ns}	0.002^{ns}	418506.7^{ns}	108775.5^{ns}	33.3^{ns}	67.6^{ns}	0.42^{ns}
ورمی‌کمپوست^{x}روی V×Z	1	5.95^{ns}	1251.7^{ns}	6.19^{ns}	0.005^{ns}	26790.7^{ns}	382168.5^{ns}	0.000001^{ns}	7.52^{ns}	0.01^{ns}
تیوباسیلوس^{x}آهن B×F	1	2.66^{ns}	27.1^{ns}	8.12^{ns}	0.002^{ns}	38874^{ns}	2898.5^{ns}	420.08*	54.1^{ns}	0.09^{ns}
تیوباسیلوس^{x}روی B×Z	1	7.28^{ns}	2081.91^{ns}	28.9^{ns}	0.001^{ns}	14076.7^{ns}	11563^{ns}	2.08^{ns}	72.5^{ns}	0.02^{ns}
آهن^{x}روی F×Z	1	0.42^{ns}	700.5^{ns}	0.105^{ns}	0.0001^{ns}	29205.3^{ns}	74497.5^{ns}	1.33^{ns}	31.6^{ns}	0.09^{ns}
ورمی‌کمپوست^{x} *تیوباسیلوس*^{x}آهن V×B×F	1	4.62^{ns}	132.06^{ns}	3.38^{ns}	0.001^{ns}	611556.7^{ns}	270450.1^{ns}	40.3^{ns}	4.68^{ns}	0.03^{ns}
ورمی-کمپوست^{x}*تیوباسیلوس*^{x}روی V×B×Z	1	6.09^{ns}	2360.6^{ns}	23.03^{ns}	0.0002^{ns}	59220.7^{ns}	354492.1^{ns}	0.000001^{ns}	11.02^{ns}	0.01^{ns}
ورمی‌کمپوست^{x}آهن^{x}روی V×F×Z	1	3.05^{ns}	1239.5^{ns}	1.095^{ns}	0.0003^{ns}	2523.0^{ns}	29057.5^{ns}	0.08^{ns}	2.52^{ns}	0.08^{ns}
تیوباسیلوس^{x}آهن^{x}روی B×F×Z	1	4.75^{ns}	1417.8^{ns}	2.87^{ns}	0.003^{ns}	13200.3^{ns}	4389.1^{ns}	0.08^{ns}	46.02^{ns}	0.55^{ns}
ورمی‌کمپوست^{x} *تیوباسیلوس*^{x}آهن^{x}روی V×B×F×Z	1	1.88^{ns}	861.7^{ns}	0.22^{ns}	0.0001^{ns}	7203.0^{ns}	176297.5^{ns}	0.33^{ns}	7.52^{ns}	0.06^{ns}
خطا Error	30	32.05^{ns}	2195.2^{ns}	60.1^{ns}	0.03^{ns}	970684.0^{ns}	292064.3^{ns}	86.6^{ns}	26.2^{ns}	0.65^{ns}
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	3.01	6.11	3.47	4.40	4.39	6.56	11.59	13.1	8.37

V: ورمی‌کمپوست، B: *تیوباسیلوس*، F: محلول‌پاشی آهن و Z: محلول‌پاشی روی

V: Vermicompost, B: *Thiobacillus*, F: Iron spraying and Z: Zinc spraying

*، ** و ns: به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار

*, ** and ns: Significant at 1 and 5% of probability and non-significant, respectively.

جدول 4- مقایسه میانگین اثرات ورمی‌کمپوست، *تیوباسیلوس*، محلول‌پاشی آهن و محلول‌پاشی روی بر صفات مورد ارزیابی در ذرت

Table 4- Effects of vermicompost, *Thiobacillus*, iron spraying and zinc spraying on the measured traits of corn

تیمار Treatment	وزن هزاردانه (گرم) 1000-Seed weight (g)	تعداد دانه در بلال Number of seed per ear	ارتفاع ساقه (سانتی-متر) Stem height (cm)	قطر ساقه (سانتی‌متر) Stem diameter (cm)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم بر هکتار) Biologic yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار) Seed yield ($kg.ha^{-1}$)	آهن (میلی-گرم بر کیلوگرم) Fe ($mg.kg^{-1}$)	روی (میلی-گرم بر کیلوگرم) Zn ($mg.kg^{-1}$)	پروتئین (درصد) Protein (%)
V_0	178.5[b*]	706.8[b]	207.7[b]	3.84[b]	21352.7[b]	7457.2[b]	75.45[b]	34.12[b]	8.95[b]
V_1	196.4[a]	826.0[a]	238.7[a]	4.11[a]	23490.7[a]	9015.8[a]	85.04[a]	44.08[a]	10.33[a]
B_0	185.5[b]	753.5[b]	222.2[a]	3.73[b]	21802.9b	7731.3b	75.66[b]	35.95[b]	9.14[b]
B_1	189.5[a]	797.3[a]	224.2[a]	4.21[a]	23040.4a	8741.7b	84.83[a]	42.25[a]	10.14[a]
F_0	186.8[a]	763.8[a]	220.2[b]	3.96[a]	22128.0[b]	8004.9[b]	75.37[b]	37.83[a]	9.49[a]
F_1	188.1[a]	769.1[a]	226.2[a]	3.99[a]	22715.4[a]	8468.0[a]	85.12[a]	40.37[a]	9.78[a]
Z_0	186.6[a]	752.6[b]	220.8[a]	3.98[a]	22314.1[a]	7918.0[b]	79.04[a]	36.79[b]	9.30[b]
Z_1	188. 3[a]	780.3[a]	225.6[b]	3.96[a]	22529.2[a]	8555.0[a]	81. 45[a]	41. 41[a]	9.97[a]

V_0: بدون ورمی‌کمپوست، V_1: با ورمی‌کمپوست، B_0: بدون *تیوباسیلوس*، B_1: با *تیوباسیلوس*، F_0: بدون محلول‌پاشی آهن، F_1: با محلول‌پاشی آهن، Z_0: بدون محلول‌پاشی روی و Z_1: با محلول‌پاشی روی

V_0: without vermicompost, V_1: with vermicompost, B_0: without *Thiobacillus*, B_1: with *Thiobacillus*, F_0: without iron spraying, F_1: with iron spraying, Z_0: without zinc spraying and Z_1: with zinc spraying

* حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح یک درصد می‌باشد.

* Means in a column followed by the same letter are not significantly different at $p \leq 0.01$ based on Duncans' test.

افزایش در اجزاء عملکرد گیاه موجب افزایش در عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه تولیدی می‌شود. علاوه بر این مصرف ورمی‌کمپوست موجب افزایش میزان آهن موجود در ذرت نسبت به شاهد شد. استفاده از ورمی‌کمپوست افزایش 12 درصد میزان آهن در دانه ذرت را در پی داشت. تیمار با ورمی‌کمپوست میزان روی موجود در ذرت را نیز به طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش داد (جدول 4). در پژوهشی افزایش میزان آهن و روی در میوه گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) به دلیل استفاده از ورمی‌کمپوست گزارش شده است (Bahrampour & Sharifi Ziveh, 2013). ورمی‌کمپوست تیمار مناسبی برای افزایش جذب عناصر میکرو است و افزودن ورمی‌کمپوست به خاک مقدار مواد غذایی گیاه را افزایش می‌دهد. افزایش میزان عناصر کم‌مصرف به خصوص آهن و روی با استفاده از ورمی‌کمپوست توسط جهانی و همکاران (Jahani et al., 2011) در ذرت، نادی و همکاران (Nadi et al., 2011) در پسته (*Pistacia vera* L.) و لوین و راویمیسن (Lenin & Ravimycin, 2013) در بادام‌زمینی (*Arachis hypogaea* L.) هم گزارش شده است. نتایج این آزمایش همچنین نشان داد که تأثیر ورمی‌کمپوست بر میزان پروتئین موجود در ذرت معنی‌دار بود و موجب افزایش آن نسبت به شاهد شد (جدول 4). جوشی و همکاران (Joshi et al., 2013) نیز دریافتند که استفاده از ورمی‌کمپوست میزان پروتئین گندم را نسبت به شاهد به طور معنی‌داری افزایش می‌دهد. نیتروژن نقش مهمی در ترکیبات پروتئینی لازم برای فرآیندهای متابولیکی که در طی رشد گیاه رخ می‌دهد بازی می‌کند (Weisany et al., 2013). هرناندز و همکاران (Hernandez et al., 2010) گزارش کردند که استفاده از ورمی‌کمپوست سبب افزایش میزان نیتروژن در کاهو (*Lactuca sativa* L.) شده است.

اثر باکتری *تیوباسیلوس*

اثر تلقیح بذر ذرت با باکتری *تیوباسیلوس* بر تمام صفات مورد اندازه‌گیری به استثناء ارتفاع ساقه معنی‌دار بود (جدول 3). گوگرد مصرف شده در خاک زمانی مؤثر بوده و موجب آزادسازی عناصر تثبیت شده خواهد شد که در خاک اکسایش یافته و تولید اسید سولفوریک نماید و اسید هم موجب افزایش حلالیت عناصر تثبیت شده و جذب آن‌ها توسط گیاه شود. اکسایش گوگرد در خاک عمدتاً به صورت زیستی و توسط ریزجانداران از جمله باکتری‌های *تیوباسیلوس* صورت می‌گیرد (Besharati & Saleh Rastin, 2000). نتایج این آزمایش نشان دادند که تلقیح باکتری *تیوباسیلوس* موجب افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه ذرت نسبت به عدم تلقیح با باکتری شد.

همچنین تعداد دانه در بلال، ارتفاع ساقه و قطر ساقه نیز در تیمار تلقیح شده با باکتری افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان دادند. عملکرد بیولوژیک در تیمارهای تلقیح یافته با باکتری *تیوباسیلوس* به طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش نشان داد. همچنین عملکرد دانه حدود 12 درصد با تلقیح باکتری افزایش نشان داد. استفاده از باکتری *تیوباسیلوس* میزان آهن موجود در ذرت را بیش از 10 درصد نسبت به عدم استفاده افزایش داد. به علاوه، میزان روی و پروتئین موجود در ذرت هم به ترتیب 15 و 10 درصد در تیمارهای تلقیح شده با باکتری نسبت به شاهد افزایش یافتند (جدول 4).

ال تارابیلی و همکاران (El.Tarabily et al., 2006) گزارش کردند که باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد که از خاک‌های شنی آهکی استخراج شده بودند به طور معنی‌دار عملکرد و جذب مواد غذایی را در ذرت افزایش دادند. شرفی و همکاران (Sharafi et al., 2010) اثر باکتری *تیوباسیلوس* را در افزایش عملکرد دانه، وزن هزار دانه، تعداد غلاف و تعداد شاخه فرعی در کلزای پاییزه (*Brassica napus* L.) گزارش کردند که این نتایج با نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر مطابقت دارد.

جدول 5- مقایسه میانگین اثر متقابل دوگانه ورمی‌کمپوست، *تیوباسیلوس*، محلول‌پاشی آهن و محلول‌پاشی روی بر صفات مورد ارزیابی در ذرت

Table 5- Effects of the two-fold interactions of vermicompost, *Thiobacillus*, iron spraying and zinc spraying on the measured traits of corn

تیمار Treatment	وزن هزار دانه (گرم) 1000- Seed weight (g)	تعداد دانه در بلال Number of seed per ear	ارتفاع ساقه (سانتی-متر) Stem height (cm)	قطر ساقه (سانتی‌متر) Stem diameter (cm)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم بر هکتار) Biologic yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار) Seed yield ($kg.ha^{-1}$)	آهن (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Fe ($mg.kg^{-1}$)	روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Zn ($mg.kg^{-1}$)	پروتئین (درصد) Protein (%)
V_0B_0	175.5 ^{c*}	658.6^{c}	210.1^{b}	3.49^{c}	20733.0^{d}	6694.8^{d}	69.25^{b}	30.7^{c}	8.52^{c}
V_0B_1	181.4^{b}	755.0^{b}	205.4^{b}	4.18^{a}	21971.3^{c}	8219.7^{c}	81.66^{a}	37.5^{b}	9.38^{b}
V_1B_0	195.6^{a}	812.4^{a}	238.0^{a}	3.97^{b}	22872.3^{b}	8767.8^{b}	82.08^{a}	41.1^{b}	9.77^{b}
V_1B_1	197.3^{a}	839.7^{a}	239.0^{a}	4.25^{a}	24109.1^{a}	9263.7^{a}	88.00^{a}	47.0^{a}	10.8^{a}
V_0F_0	177.5^{b}	703.6^{b}	204.1^{c}	3.81^{b}	21152.3^{b}	7273.3^{c}	69.75^{b}	36.5^{b}	8.71^{b}
V_0F_1	179.5^{b}	710.1^{b}	211.3^{b}	3.86^{b}	21553.0^{b}	7641.2^{c}	81.16^{a}	31.6^{c}	9.19^{b}
V_1F_0	196.1^{a}	824.0^{a}	236.3^{a}	4.10^{a}	23103.6^{a}	8736.6^{b}	81.00^{a}	44.1^{a}	10.28^{a}
V_1F_1	196.8^{a}	828.1^{a}	241.0^{a}	4.12^{a}	23877.8^{a}	9294.9^{a}	89.08^{a}	44.0^{a}	10.38^{a}
V_0Z_0	177.2^{b}	687.9^{b}	205.5^{b}	3.81^{b}	21268.8^{b}	7227.9^{d}	74.20c	31.4c	8.60c
V_0Z_1	179.7^{b}	725.8^{b}	210.5^{b}	3.86^{b}	21436.6^{b}	7686.5^{c}	76.60^{bc}	36.8^{b}	9.30^{b}
V_1Z_0	195.9^{a}	817.3^{a}	236.7^{a}	4.10^{a}	23359.5^{a}	8608.0^{b}	83.80^{ab}	42.1^{a}	10.01^{a}
V_1Z_1	197.0^{a}	834.8^{a}	240.7^{a}	4.11^{a}	23621.8^{a}	9423.5^{a}	86.20^{a}	46.0^{a}	10.65^{a}
B_0F_0	184.6^{b}	732.1^{b}	220.8^{ab}	3.71^{b}	21537.7^{c}	7507.5^{c}	67.80^{b}	35.7^{b}	8.95^{b}
B_0F_1	186.5^{ab}	738.9^{b}	227.6^{a}	3.75^{b}	22068.2^{bc}	7955.1^{c}	83.50^{a}	36.1^{b}	9.33^{b}
B_1F_0	188.9^{ab}	795.4^{a}	219.7^{b}	4.20^{a}	22718.3^{ab}	8502.3^{b}	82.90^{a}	44.5^{a}	10.03^{a}
B_1F_1	189.8^{a}	799.2^{a}	224.8^{ab}	4.22^{a}	23362.6^{a}	8981.0^{a}	86.70^{a}	39.9^{b}	10.24^{a}
B_0Z_0	184.3^{b}	715.1^{c}	221.8^{a}	3.71^{b}	21712.5^{b}	7397.3^{c}	74.25^{c}	32.4^{b}	8.78^{c}
B_0Z_1	186.7^{ab}	755.9^{b}	227.3^{a}	3.75^{b}	21893.3^{b}	8065.3^{b}	77.08^{bc}	39.5^{a}	9.50^{b}
B_1Z_0	188.8^{ab}	790.1^{ab}	220.6^{a}	4.21^{a}	22915.8^{a}	8438.7^{b}	83.80^{ab}	41.1^{a}	9.82^{ab}
B_1Z_1	189.9^{a}	804.6^{a}	223.8^{a}	4.22^{a}	23165.1^{a}	9044.7^{a}	85.80^{a}	43.3^{a}	10.45^{a}
F_0Z_0	185.8^{a}	746.1^{a}	217.9^{b}	3.94^{a}	22045.1^{a}	7647.0^{c}	74.30^{c}	37.2b	9.20^{b}
F_0Z_1	187.3^{a}	781.4^{a}	222.5^{ab}	3.97^{a}	22210.8^{a}	8362.8^{ab}	76.40^{bc}	43.5a	9.40^{b}
F_1Z_0	187.8^{a}	759.1^{a}	223.8^{ab}	3.98^{a}	22583.2^{a}	8188.9^{b}	83.70^{ab}	36.3b	9.78^{ab}
F_1Z_1	188.9^{a}	779.1^{a}	228.6^{a}	4.00^{a}	22847.6^{a}	8747.2^{a}	86.50^{a}	39.3ab	10.17^{a}

V_0: بدون ورمی‌کمپوست، V_1: با ورمی‌کمپوست، B_0: بدون *تیوباسیلوس*، B_1: با *تیوباسیلوس*، F_0: بدون محلول‌پاشی آهن، F_1: با محلول‌پاشی آهن، Z_0: بدون محلول‌پاشی روی و Z_1: با محلول‌پاشی روی

V_0: without vermicompost, V_1: with vermicompost, B_0: without *Thiobacillus*, B_1: with *Thiobacillus*, F_0: without iron spraying, F_1: with iron spraying, Z_0: without zinc spraying and Z_1: with zinc spraying

* حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح یک درصد می‌باشد.

* Means in a column followed by the same letter are not significantly different at $p \leq 0.01$ based on Duncans' test.

جدول 6- مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه ورمی‌کمپوست، *تیوباسیلوس*، محلول‌پاشی آهن و محلول‌پاشی روی بر صفات مورد ارزیابی در ذرت

Table 6- Effects of the three-fold interactions of vermicompost, *Thiobacillus*, iron spraying and zinc spraying on the measured traits of corn

تیمار Treatment	وزن هزار دانه (گرم) 1000-Seed weight (g)	تعداد دانه در بلال Number of seed per ear	ارتفاع ساقه (سانتی-متر) Stem height (cm)	قطر ساقه (سانتی‌متر) Stem diameter (cm)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم بر هکتار) Biologic yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار) Seed yield ($kg.ha^{-1}$)	آهن (میلی-گرم بر کیلوگرم) Fe ($mg.kg^{-1}$)	روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Zn ($mg.kg^{-1}$)	پروتئین (درصد) Protein (%)
$V_0B_0F_0$	174.0^{c*}	653.0^{c}	205.8^{bc}	3.46^{d}	20448.8^{f}	6443.5^{d}	59.6^{c}	31.8^{c}	8.26^{c}
$V_0B_0F_1$	177.1^{bc}	664.3^{c}	214.3^{b}	3.53^{d}	21018.3^{ef}	6946.0^{d}	78.8^{ab}	29.6^{c}	8.70^{cd}
$V_0B_1F_0$	181.0^{bc}	754.2^{b}	202.5^{c}	4.17^{abc}	21855.8^{de}	8103.0^{c}	79.8^{ab}	41.3^{ab}	9.16^{bcd}
$V_0B_1F_1$	181.9^{b}	755.9^{b}	208.3^{bc}	4.19^{ab}	22087.7^{cde}	8336.3^{bc}	83.5^{ab}	33.6^{c}	9.60^{bc}
$V_1B_0F_0$	195.3^{a}	811.2^{ab}	235.8^{a}	3.96^{c}	22626.5^{bcd}	8571.5^{bc}	76.0^{b}	40.5^{b}	9.64^{bc}
$V_1B_0F_1$	195.8^{a}	813.5^{ab}	240.8^{a}	3.98^{bc}	23118.0^{bc}	8964.2^{b}	88.1^{ab}	41.8^{ab}	9.89^{b}
$V_1B_1F_0$	196.9^{a}	836.7^{a}	236.8^{a}	4.24^{a}	23580.7^{ab}	8901.7^{b}	86.0^{ab}	47.8^{a}	10.91^{a}
$V_1B_1F_1$	197.7^{a}	842.6^{a}	241.2^{a}	4.25^{a}	24637.5^{a}	9625.7^{a}	90.0^{a}	46.1^{ab}	10.87^{a}
$V_0B_0Z_0$	173.5^{c}	626.1^{d}	205.9^{bc}	3.46^{c}	20631.7^{e}	6364.0^{f}	67.8^{c}	26.3^{d}	8.13^{e}
$V_0B_0Z_1$	177.5^{bc}	691.2^{c}	214.2^{b}	3.52^{c}	20835.5^{de}	7025.5^{e}	70.6^{bc}	35.1^{c}	8.91^{de}
$V_0B_1Z_0$	180.9^{b}	749.7^{b}	204.2^{c}	4.17^{ab}	21905.8^{cd}	8091.8^{d}	80.6^{ab}	36.5^{c}	9.07^{cde}
$V_0B_1Z_1$	181.9^{b}	760.4^{b}	206.7^{bc}	4.20^{a}	22037.7^{cd}	8347.5^{cd}	82.6^{a}	38.5^{bc}	9.69^{bcd}
$V_1B_0Z_0$	195.0^{a}	804.1^{ab}	236.2^{a}	3.96^{b}	22793.3^{bc}	8430.5^{cd}	80.6^{ab}	38.5^{bc}	9.44^{cd}
$V_1B_0Z_1$	196.1^{a}	820.7^{a}	240.2^{a}	3.97^{b}	22951.2^{bc}	9105.2^{ab}	83.5^{a}	43.8^{ab}	10.10^{bc}
$V_1B_1Z_0$	196.8^{a}	830.5^{b}	237.1^{a}	4.25^{a}	23925.7^{ab}	8785.5^{bc}	87.0^{a}	45.8^{a}	10.58^{ab}
$V_1B_1Z_1$	197.8^{a}	848.8^{a}	241.0^{a}	4.25^{a}	24292.5^{a}	9741.8^{a}	89.0^{a}	48.1^{a}	11.21^{a}
$V_0F_0Z_0$	175.9^{b}	675.7^{b}	201.6^{c}	3.79^{b}	21085.8^{b}	7029.2^{e}	68.6^{c}	32.8^{b}	8.36^{e}
$V_0F_0Z_1$	179.1^{b}	731.5^{b}	206.7^{bc}	3.84^{b}	21218.8^{b}	7517.3^{de}	70.8^{bc}	40.3^{a}	9.06^{cde}
$V_0F_1Z_0$	178.6^{b}	700.1^{b}	208.4^{bc}	3.84^{b}	21451.7^{b}	7426.7^{de}	79.8^{abc}	30.0^{b}	8.83^{de}
$V_0F_1Z_1$	180.4^{b}	720.1^{b}	214.2^{b}	3.88^{b}	21654.3^{b}	7855.7^{cd}	82.5^{ab}	33.3^{b}	9.54^{bcd}
$V_1F_0Z_0$	195.7^{a}	816.5^{a}	234.2^{a}	4.10^{a}	23004.3^{a}	8264.8^{c}	80.0^{abc}	41.6^{a}	10.0^{abc}
$V_1F_0Z_1$	196.5^{a}	831.4^{a}	238.4^{a}	4.10^{a}	23202.8^{a}	9208.3^{ab}	82.0^{ab}	46.6^{a}	10.5^{ab}
$V_1F_1Z_0$	196.1^{a}	818.0^{a}	239.1^{a}	4.11^{a}	23714.7^{a}	8951.2^{b}	87.6^{a}	42.6^{a}	9.98^{abc}
$V_1F_1Z_1$	197.5^{a}	838.1^{a}	242.9^{a}	4.12^{a}	24040.8^{a}	9638.7^{a}	90.5^{a}	45.3^{a}	10.79^{a}
$B_0F_0Z_0$	182.9^{a}	702.4^{b}	217.5^{b}	3.68^{b}	21455.3^{d}	7124.5^{d}	66.5^{b}	30.8^{d}	8.53^{d}
$B_0F_0Z_1$	186.3^{a}	761.8^{ab}	224.1^{ab}	3.74^{b}	21620.0^{cd}	7890.5^{c}	69.1^{b}	41.5^{ab}	9.37^{bcd}
$B_0F_1Z_0$	185.6^{a}	727.7^{b}	224.6^{ab}	3.75^{b}	21969.7^{bcd}	7670.0^{cd}	82.0^{a}	34.0^{cd}	9.04^{cd}
$B_0F_1Z_1$	187.3^{a}	750.1^{ab}	230.5^{a}	3.76^{b}	22166.7^{bcd}	8240.2^{bc}	85.0^{a}	37.5^{bc}	9.63^{bc}
$B_1F_0Z_0$	188.6^{a}	789.8^{a}	218.4^{b}	4.20^{a}	22634.8^{abcd}	8169.5^{bc}	82.1^{a}	43.6^{ab}	9.87^{abc}
$B_1F_0Z_1$	189.2^{a}	801.1^{a}	221.0^{ab}	4.21^{a}	22801.7^{abc}	8835.2^{ab}	83.6^{a}	45.5^{a}	10.20^{ab}
$B_1F_1Z_0$	189.1^{a}	790.4^{a}	222.9^{ab}	4.21^{a}	23196.7^{ab}	8707.8^{ab}	85.5^{a}	38.6^{bc}	9.77^{abc}
$B_1F_1Z_1$	190.5^{a}	808.1^{a}	226.7^{ab}	4.24^{a}	23528.5^{a}	9254.2^{a}	88.0^{a}	41.1^{ab}	10.70^{a}

V_0: بدون ورمی‌کمپوست، V_1: با ورمی‌کمپوست، B_0: بدون *تیوباسیلوس*، B_1: با *تیوباسیلوس*، F_0: بدون محلول‌پاشی آهن، F_1: با محلول‌پاشی آهن، Z_0: بدون محلول‌پاشی روی و Z_1: با محلول‌پاشی روی

V_0: without vermicompost, V_1: with vermicompost, B_0: without *Thiobacillus*, B_1: with *Thiobacillus*, F_0: without iron spraying, F_1: with iron spraying, Z_0: without zinc spraying and Z_1: with zinc spraying

* حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح یک درصد می‌باشد.

* Means in a column followed by the same letter are not significantly different at $p \leq 0.01$ based on Duncans' test.

آن‌ها این افزایش را به احتمال ایجاد شرایط مناسب‌تر جهت استقرار گیاهچه و استفاده بهتر از محیط رشد و سپس شرایط بهتر برای گیاه در زمان پر شدن دانه و افزایش عملکرد دانه نسبت دادند. صیامی و بشارتی (Siyami & Besharati, 2012) در بررسی تأثیر باکتری *تیوباسیلوس* روی گندم دریافتند که *تیوباسیلوس*های اضافه شده به خاک سبب اکسایش گوگرد خاک می‌شوند و به این ترتیب pH خاک را کاهش داده و حلالیت ترکیبات آهن را افزایش می‌دهند. آن‌ها همچنین بیان کردند که تلقیح خاک با باکتری زمانی مؤثرتر خواهد بود که در خاک‌های آهکی علاوه بر باکتری، گوگرد هم به خاک افزوده شود.

اثر محلول‌پاشی آهن و روی

محلول‌پاشی آهن بر صفات ارتفاع ساقه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و محتوی آهن ذرت معنی‌دار بود (جدول 3). محلول‌پاشی آهن، ارتفاع ساقه ذرت را نسبت به شاهد عدم محلول‌پاشی 2/7 درصد افزایش داد. با محلول‌پاشی آهن عملکردهای بیولوژیک و دانه نیز افزایش معنی‌دار و به ترتیب برابر 2/6 درصد و 5/5 درصد را نسبت به عدم محلول‌پاشی نشان دادند. محلول‌پاشی آهن مقدار آهن موجود در ذرت را به میزان 12 درصد افزایش داد (جدول 4).

اثر محلول‌پاشی روی (Zn) هم بر صفات تعداد دانه در بلال، ارتفاع ساقه، عملکرد دانه، محتوی روی و محتوی پروتئین ذرت اثر معنی‌دار نشان داد (جدول 3). محلول‌پاشی روی بر ذرت موجب افزایش تعداد دانه در بلال (4 درصد)، ارتفاع ساقه (2/2 درصد)، عملکرد دانه (7/5 درصد)، محتوی روی (12 درصد) و محتوی پروتئین (7 درصد) نسبت به عدم محلول‌پاشی شد است (جدول 4). فنگ و همکاران (Fang et al., 2008) گزارش کردند که محلول-پاشی آهن، روی و سلنیوم موجب افزایش مقدار پروتئین، خاکستر، آهن و روی در برنج شد. از آن‌جا که آهن در انتقال الکترون در فتوسنتز نقش کلیدی دارد و کمبود آن سبب کاهش فتوسنتز می‌شود، کمبود آن در نهایت موجب کاهش اجزاء عملکرد می‌شود (Salarpour et al., 2013). عنصر روی نیز نقش مهمی در سنتز پروتئین‌ها و متابولیسم کربوهیدرات‌ها دارد (Mousavi et al., 2013) بنابراین، کمبود آن می‌تواند موجب کاهش محتوی پروتئین گیاه و همچنین کاهش ماده خشک و به دنبال آن عملکرد شود.

جدول 7- مقایسه میانگین اثر متقابل چهارگانه ورمی‌کمپوست، *تیوباسیلوس*، محلول‌پاشی آهن و محلول‌پاشی روی بر صفات مورد ارزیابی در ذرت

Table 7- Effects of the four-fold interactions of vermicompost, *Thiobacillus*, iron spraying and zinc spraying on the measured traits of corn

تیمار Treatment	وزن هزار دانه (گرم) 1000-Seed weight (g)	تعداد دانه در بلال Number of seed per ear	ارتفاع ساقه (سانتی-متر) Stem height (cm)	قطر ساقه (سانتی‌متر) Stem diameter (cm)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم بر هکتار) Biologic yield (kg.ha^{-1})	عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار) Seed yield (kg.ha^{-1})	آهن (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Fe (mg.kg^{-1})	روی (میلی-گرم بر کیلوگرم) Zn (mg.kg^{-1})	پروتئین (درصد) Protein (%)
$V_0B_0F_0Z_0$	171.1^{c*}	601.8^{f}	201.6^{c}	3.41^{b}	20360.0^{e}	6149.0^{h}	58.0^{c}	25.0^{h}	7.80^{g}
$V_0B_0F_0Z_1$	176.8^{bc}	704.1^{de}	210.0^{bc}	3.50^{b}	20537.7^{e}	7638.0^{gh}	61.3^{bc}	38.6^{bcdef}	8.72^{efg}
$V_0B_0F_1Z_0$	176.0^{bc}	650.4^{ef}	210.1^{bc}	3.51^{b}	20903.3^{de}	6579.0^{gh}	77.6^{ab}	27.6^{gh}	8.45^{fg}
$V_0B_0F_1Z_1$	178.2^{bc}	678.2^{def}	218.5^{b}	3.55^{b}	21133.3^{de}	7313.0^{g}	80.0^{a}	31.6^{fgh}	9.10^{defg}
$V_0B_1F_0Z_0$	180.6^{bc}	749.5^{cd}	201.6^{c}	4.16^{a}	21811.7^{cde}	7909.3^{ef}	79.3^{a}	40.6^{abcdef}	8.92^{defg}
$V_0B_1F_0Z_1$	181.3^{bc}	758.8^{bcd}	203.4^{c}	4.18^{a}	21900.0^{cde}	8296.7^{cdef}	80.3^{a}	42.0^{abcde}	9.40^{cdef}
$V_0B_1F_1Z_0$	181.2^{bc}	749.8^{cd}	206.7^{bc}	4.17^{a}	22000.0^{cde}	8274.3^{cdef}	82.0^{a}	32.3^{efgh}	9.22^{defg}
$V_0B_1F_1Z_1$	182.6^{b}	762.0^{bcd}	210.0^{bc}	4.21^{a}	22175.3^{cde}	8398.3^{bcde}	85.0^{a}	35.0^{defg}	9.99^{abcdef}
$V_1B_0F_0Z_0$	194.8^{a}	803.0^{abc}	233.3^{a}	3.95^{a}	22550.7^{bcd}	8100.0^{def}	75.0^{ab}	36.6^{cdefg}	9.26^{defg}
$V_1B_0F_0Z_1$	195.8^{a}	819.5^{abc}	238.3^{a}	3.97^{a}	22702.3^{bcd}	9043.0^{bcd}	77.0^{ab}	44.3^{abcd}	10.0^{abcde}
$V_1B_0F_1Z_0$	195.2^{a}	805.1^{abc}	239.1^{a}	3.98^{a}	23036.0^{abc}	8761.0^{bcde}	86.3^{a}	40.3^{abcdef}	9.62^{bcdef}
$V_1B_0F_1Z_1$	196.5^{a}	822.0^{abc}	242.5^{a}	3.98^{a}	23200.0^{abc}	9167.3^{abc}	90.0^{a}	43.3^{abcd}	10.16^{abcde}
$V_1B_1F_0Z_0$	196.6^{a}	830.0^{abc}	235.1^{a}	4.25^{a}	23458.0^{abc}	8429.7^{bcde}	85.0^{a}	46.6^{ab}	10.83^{abc}
$V_1B_1F_0Z_1$	197.1^{a}	843.4^{ab}	238.5^{a}	4.23^{a}	23703.3^{abc}	9373.7^{ab}	87.0^{a}	49.0^{a}	11.0^{ab}
$V_1B_1F_1Z_0$	196.9^{a}	831.0^{abc}	239.1^{a}	4.25^{a}	24393.3^{ab}	9141.3^{abc}	89.0^{a}	45.0^{abc}	10.3^{abcd}
$V_1B_1F_1Z_1$	198.5^{a}	854.3^{a}	243.4^{a}	4.26^{a}	24881.7^{a}	10110.0^{a}	91.0^{a}	47.3^{ab}	11.42^{a}

V_0: بدون ورمی‌کمپوست، V_1: با ورمی‌کمپوست، B_0: بدون *تیوباسیلوس*، B_1: با *تیوباسیلوس*، F_0: بدون محلول‌پاشی آهن، F_1: با محلول‌پاشی آهن، Z_0: بدون محلول‌پاشی روی و Z_1: با محلول‌پاشی روی

V_0: without vermicompost, V_1: with vermicompost, B_0: without *Thiobacillus*, B_1: with *Thiobacillus*, F_0: without iron spraying, F_1: with iron spraying, Z_0: without zinc spraying and Z_1: with zinc spraying

* حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح یک درصد می‌باشد.

* Means in a column followed by the same letter are not significantly different at $p \leq 0.01$ based on Duncan's test.

اثر متقابل بین تیمارهای آزمایش در بیش‌تر صفات اثر معنی‌داری را نشان نداده‌اند و در جدول‌های 5، 6 و 7 نشان داده شده‌اند.

با توجه به هدف این آزمایش می‌توان بیان نمود کـه اسـتفاده از کودهای زیستی و محلول‌پاشی آهن و روی کیفیت دانه ذرت و کمیت اجزای عملکرد و عملکرد در ذرت را بهبود بخشید. ذرت یکی از مهم‌ترین منابع غذایی برای انسان است و به عنوان یک گیاه C_4 در طول دوره رشد، مواد غذایی زیادی از خاک جذب می‌کند. بـه طـور کلـی، استفاده از کود ورمی‌کمپوست و باکتری *تیوباسیلوس* موجب شـد کـه عناصر تثبیت شده موجود در خاک به صورت قابل جـذب و محلـول درآمده و به صورت تدریجی در اختیار گیاه قرار گیرد و میـزان آهـن، روی و پروتئین موجود در ذرت افزایش یابد. علاوه بر آن، اسـتفاده از این کودهای زیستی و همچنین محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی موجب کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی می‌شود و به عنوان یک راهکار مدیریتی مطلـوب محسـوب می‌شود.

نتیجه‌گیری

از آن‌جا که مدیریت کودی و تغذیه‌ای به عنوان یکی از مهم‌ترین فاکتورها در کشت موفق گیاهان می‌باشد، در این بررسی سعی شد از سودمندی‌های حاصل از ریز جانداران استفاده کرده و الگوی مناسـبی برای تغذیه پایدار گیاهی پیدا نمود. در چند دهه اخیر مصرف نهاده‌های شیمیایی در اراضی کشاورزی موجب معضلات زیست‌محیطی از جمله آلودگی منابع آب، افت کیفیت محصولات کشاورزی و کاهش میزان حاصل‌خیزی خاک گردیده است. بنابراین می‌توان با جایگزین کـردن کودهای زیستی، در راستای کشاورزی پایدار و افزایش امنیت غذایی ذرت گام برداشت.

منابع

Alizadeh, A., Alizadeh, A., and Ariyana, L. 2009. Nitrogen and phosphorous use optimization in corn production with the application of mycorrhiza and vermicompost. New Findings in Agriculture 3: 303-306. (In Persian with English Summary)

Arguello, J.A., Ledesma, A., Nunez, S.B., Rodriguez, C.H., and Goldfarb, M.D.D. 2006. Vermicompost effects on bulbing dynamics, nonstructural carbohydrate content, yield and quality of *Rosado paraguayo* garlic bulbs. Horticultural Sciences 41(3): 589-592.

Babgohari, J., Afyouni, M., Khoshgoftar Manesh, A., and Eshghizadeh, H. 2010. The effect of sewage sludge of polyacril company, municipal waste based vermicompost and cow manure on soil properties and yield of grain maize. Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science 14: 153-165. (In Persian with English Summary)

Bahrampour, T., and Sharifi Ziveh, P. 2013. Effect of vermicompost on tomato (*Lycopersicum esculentum*) fruits. International Journal of Agronomy and Plant Production 4(11): 2965-2971.

Besharati, H., and Saleh Rastin, N. 2000. The effect of sulfur and *Thiobacillus* inoculum on Fe and Zn absorption under greenhouse condition. Journal of Soil and Water 12: 63-72. (In Persian)

Cakmak, I. 2002. Plant nutrition research: Priorities to meet human needs for food in sustainable ways. Plant and Soil 247: 3-24.

Cakmak, I. 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? Plant and Soil 302: 1-17.

Darzi, M.T., Ghalavand, A., and Rejali, F. 2008. Effect of mycorrhiza, vermicompost and phosphate biofertilizer application on flowering, biological yield and root colonization in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). Iranian Journal of Crop Sciences 10: 88-109. (In Persian with English Summary)

El-Tarabily, K.A, Abdou, A.S., Maher, E.S., and Satoshi, M. 2006. Isolation and characterization of sulfur-oxidizing bacteria, including strains of Rhizobium, from calcareous sandy soils and their effects on nutrient uptake and growth of maize (*Zea mays* L.). Australian Journal of Agricultural Research 57(1): 101-111.

Fang, Y., Wang, L., Xin, Z., Zhao, L., An, X., and Hu, Q. 2008. Effect of foliar application of zinc, selenium, and iron fertilizers on nutrients concentration and yield of rice grain in China. Journal of Agricultural and Food Chemistry 56: 2079-2084.

Fathi, G., and Enayatgholizadeh, M. 2009. The effect of Zn and Cu on growth and yield of barley cultivars. Journal of Crops Physiology of the Islamic Azad University of Ahvaz 1: 28-41. (In Persian with English Summary)

Fixon, P.E., and West, F.B. 2002. Nitrogen fertilizers: Meeting contemporary challenges. AMBIO: A Journal of the Human Environment 31: 169-176.

Galli, E., Tomati, U., Grappelli, A., and Di Lena, G. 1990. Effect of earthworm casts on protein synthesis in *Agaricus bisporus*. Biology and Fertility of Soils 9: 290-291.

Ghaffari, M., Akbari, G., Panahi, M., and Mohammadzadeh, A. 2010. The response of some physiological indices of grain maize to soil and foliar application of Fe, Zn and complete micronutrient fertilizers. In: The 5th National Conference on New Ideas in Agriculture, Islamic Azad University, Khoorasgan Branch, Iran. 16-17 Feb. 2007. (In Persian)

Hernandez, A., Castillo, H., Ojeda, D., Arras, A., López, J., and Sánchez, E. 2010. Effect of vermicompost and compost on lettuce production. Chilean Journal of Agricultural Research 70(4): 583-589.

Jahani, M., Besharati, H., and Golchin, A. 2011. The effect of enriched vermicompost on seedling appearance percentage and dry weight of 704 single cross hybrid maize. Journal of Soil Research 25: 33-38. (In Persian with English Summary)

Joshi, R., Vig, A.P., and Singh, J. 2013. Vermicompost as soil supplement to enhance growth, yield and quality of *Triticum aestivum* L.: A field study. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture 2: 16-22.

Kamaraki, H., and Galavi, M. 2012. The effect of Fe, B and Zn spraying on yield and quality of *Carthamus tinctorius* L. Journal of Agroecology 4: 201-206.

Kaya, M., Kucukyumuk, Z., and Erdal, I. 2009. Effects of elemental sulfur and sulfur-containing waste on nutrient concentration and grown on calcareous soil. African Journal of Biotechnology 8(18): 4481-4489.

Lazcano, C., Revilla, P., Malvar, R.A., and Dominguez, J. 2011. Yield and fruit quality of four sweet corn hybrids (*Zea mays*) under conventional and integrated fertilization with vermicompost. Journal of the Science of Food and Agriculture 91: 1244-1253.

Lenin, M., and Ravimycin, T. 2013. The effects of different levels of vermicompost (VC) on the nutrient contents of (*Arachis hypogaea* L.) under arbuscular mycorrizha fungi (AMF) (*Gloumus intraradices*) application. Indian Journal of Scientific Research and Technology 1(2): 37-45.

Malakouti, M.J., and Tehrani, M.M. 2008. The role of micronutrients in quality and yield improvement of agricultural products. Tarbiat Modarres University Publications, Tehran, Iran. (In Persian with English Summary)

Mousavi, M., Bahmanyar, M.A., and Pirdashti, H. 2012. The response of rice plant to perennial application of vermicompost alone and plus with different chemical fertilizers. Electronic Journal of Crop Production 5: 19-35. (In Persian with English Summary)

Mousavi, S.R., Galavi, M., and Rezaei, M. 2013. Zinc (Zn) importance for crop production –a review. International Journal of Agronomy and Plant Production 4(1): 64-68.

Nadi, M., Golchin, A., Mozafari, V., Saeidi, T., and Sedaghati, E. 2011. The Effects of different vermicomposts on the growth and chemical composition of the pistachio seedlings. Journal of Research in Agricultural Science 7(1): 59-69.

Ramasamy, P.K., Baskar, K., and Ignacimuthu, S. 2011. Influence of vermicompost on kernel yield of Maize (*Zea mays* L.). Elixir Agriculture 36: 3119-121.

Rantala, P.R., Vaajasaari, K., Juvonen, R., Schultz, E., Joutti, A., and Makela-Kurtto, R. 1999. Composting of forest industry wastewater sludges for agriculture use. Water Science and Technology 40: 187-194.

Rawat, N., Neelam, K., Tiwari, V.K., and Dhaliwal, H.S. 2013. Biofortification of cereals to overcome hidden hunger. Plant Breeding 132: 437-445.

Saeed Nejad, A.H., and Rezvani Moghaddam, P. 2010. The effect of compost, vermicompost and manure on yield, yield components and essential oil percentage of *Cuminum cyminum*. Journal of Horticultural Science 24: 142-148. (In Persian)

Salarpour, O., Parsa, S., Sayyari, M.H., and Jami Alahmadi, M. 2013. Effect of Nano-iron chelates on growth, Peroxidase enzyme activity and oil essence of cress (*Lepidium sativum* L.). International Journal of Agronomy and Plant Production 4: 3583-3589.

Sebti, M., Movahedi Naeini, S.A., Ghorbani Nasrabadi, R., Roshani, G., Shahriari, G., and Movahedi, M. 2009. A suitable soil plant available potassium extractant for a loess soil with illite dominance in clay fraction and the effects of *Azotobacter* and vermicompost on wheat yield, potassium uptake and tissue concentration. Journal of Plant Production 16: 59-76. (In Persian with English Summary)

Seyyedi, S.M., and Rezvani Moghaddam, P. 2011. Studying the yield and yield components and nitrogen use efficiency by using mushroom compost, biofertilizer and urea in wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Agroecology 3: 309-319. (In Persian with English Summary)

Sharafi, S., Abbasdokht, H., Chaychi, M.R., Ardakani, M.R., and Ghasemi, S. 2010. The effect of cultivar, seed inoculation with *Thiobacillus* and methods of nitrogen application on yield and yield components of fall oilseed rape. Iranian Journal of Crop Science 41: 459-468. (In Persian with English Summary)

Sharma, A.K. 2004. Biofertilizers for Sustainable Agriculture. Agrobios, India.

Simsek-Ersahin, Y. 2011. The use of vermicompost products to control plant diseases and pests. In A. Karaca (Ed.). Biology of Earthworms: Soil Biology. Springer-Verlag, Berlin p. 191-213.

Siyami, A., and Besharati, H. 2012. The process of Fe and Zn release as affected by biological oxidation of sulfur. Journal of Soil Research (Soil and Water Science) 26: 255-267. (In Persian with English Summary)

Tanumihardjo, S.A., Bouis, H., Hotz, C., Meenakshi, J.V., and McClafferty, B. 2008. Biofortification of staple crops: An emerging strategy to combat hidden hunger. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety 7: 329-234.

Tate, R.L. 1995. Soil Microbiology. John Willey & Sons INC, New York.

Tisdale, S.L., Nelson, W.L., and Beaton, J.D. 1984. Soil Fertility and Fertilizers, 4th ed. Mc Millan Publishing Company, New York.

Tucker, G. 2003. Nutritional enhancement of plants. Current Opinion in Biotechnology 14: 221-225.

Weisany, W., Raei, Y., and Haji Allahverdipoor, K. 2013. Role of some of mineral nutrients in biological nitrogen fixation. Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences 2(4): 77-84.

Journal of Agroecology
Vol. 8, No. 3, Fall 2016, p. 359-372

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 8، شماره 3، پاییز 1395، ص.372-359

Evaluating Maize Yield and the Quality of Response to Vermicompost, in *Thiobacillus* and Foliar Application of Fe and Zn

E. Davaran Hagh[1], B. Mirshekari[2*], M.R. Ardakani[3], F. Farahvash[4] and F. Rejali[5]

Submitted: 27-05-2014
Accepted: 05-10-2014

Davaran Hagh, E., Mirshekari, B., Ardakani, M.R., Farahvash, F., and Rejali, F. 2016. Evaluating maize yield and quality response to vermicompost, *Thiobacillus* and foliar application of Fe and Zn. Journal of Agroecology 8(3):359-372.

Introduction

Half of the world's population suffers from micronutrients malnutrition. Use of bio-fertilizers in sustainable agricultural systems is important in production and enables plants to absorb more water from soil and improves plant nutrient uptake and photosynthesis. Benefits of vermicompost application in agriculture is due to its content of organic matter, plant nutrients and plant growth promotion. Vermicompost increases the absorption and transition of nutrients from soil to roots and improves plant growth (Simsek-Ersahin, 2011). Zn and Fe application is highly important; foliar application causes faster and higher absorption rate and cures deficiencies symptoms (Ghaffari et al., 2010). *Thiobacillus* is a chemolithotroph bacterium, receiving energy from sulfur oxidation. This bacterium acidifies microcites in the rhizosphere, increasing the availability of nutrients to plant roots (Kaya et al., 2009). Regarding the benefits of integrated nutrient management, this experiment was conducted with the aim of testing the effects of Fe and Zn foliar spraying, *Thiobacillu sthiooxidans* inoculation and vermicompost application on growth, yield and bio fortification of popcorn maize.

Materials and methods

This experiment was conducted in 2012 at the research field of Islamic Azad University, Tabriz branch, Iran. The experiment was conducted in factorial in the form of a randomized complete block design with three replications and four factors: vermicompost application in soil (0 and 2 $t.ha^{-1}$, applied in strip form below the seeds before cultivation), inoculation with *Thiobacillus thiooxidans*, with a population of $10^8 cfu.g^{-1}$. Sulfur was inoculated with *T. thiooxidans* prior to application. Fe chelate foliar application (without spraying and two times spraying of 0.002 concentration of 13% Fe chelate) and Zn chelate foliar application (without spraying and two times spraying of 0.002 concentration of 15% Zn chelate). Maize seeds (*Zea mays* L. var. popcorn KSC. 600) were planted, after being inoculated with *Azospirillum*, at the rate of 66,000 plants. ha^{-1}. Then, 10 plants were harvested from the middle rows of each plot and grain yield was measured. To measure the absorption of nutrients, 5 other plants were harvested from each plot when grains were at dough stage and dried at 70°C oven for 72 hours. Then, samples were grinded and analyzed. Finally, data were tested for normal distribution and subjected to statistical analysis using SAS. Duncan's multiple range tests was used to compare means at $p \leq 0.05$.

Results and discussion

Results indicated the significant effect of vermicompost on 1000 kernels weight, the number of kernels/ear, stem height, stem diameter, grain yield, biologic yield, Fe, Zn and protein contents. The effect of *Thiobacillus* inoculation was significant on all measured traits except for the stem height. Fe foliar application significantly affected stem height, biologic yield, grain yield an Fe content. Zn foliar application had also a significant effect on the number of kernels/ear, stem height, grain yield, Zn content and protein content. Results of this experiment generally indicated that application of vermicompost, *Thiobacillus*, Fe and Zn had improving effect on maize yield, yield components and grain quality.

Conclusion

Nutrient management is one of the most important factors in successful crop production, so, it was tried in

1, 2, 3, 4 and 5- PhD Student in Agronomy, Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Islamic Azad University, Karaj, Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz and Assistant Professor, Soil and Water Research Institute, Karaj, Iran, respectively.
(*- Corresponding author Email: mirshekari@iaut.ac.ir)

this experiment to take advantages from soil microorganisms to find a suitable method for sustainable crop nutrient management instead of chemical methods. In recent years, increased application of chemical inputs to agricultural fields has caused several environmental and health issues and reduced the quality of products. So, as the results of this experiment showed, integrated nutrient management with lower dependency on chemical fertilizers is a promising method to reach sustainable and healthy production and food safety.

Acknowledgement

The authors highly acknowledge Islamic Azad University, Tabriz Branch- Iran, for their fields and laboratories support.

Keywords: Biofertilizer, Biofortification, Micronutrients, Protein

References

Ghaffari, M., Akbari, G., Panahi, M., and Mohammadzadeh, A. 2010. The response of some physiological indices of grain maize to soil and foliar application of Fe, Zn and complete micronutrient fertilizers. In the 5th National Conference on New Ideas in Agriculture, Islamic Azad University, Khorasgan Branch, Iran. 16-17 Feb. (In Persian with English Summary)

Kaya, M., Kucukyumuk, Z., and Erdal, I. 2009. Effects of elemental sulfur and sulfur-containing waste on nutrient concentration and grown on calcareous soil. African Journal of Biotechnology 8(18): 4481-4489.

Simsek-Ersahin, Y. 2011. The use of vermicompost products to control plantdiseases and pests. In A. Karaca (Ed.). Biology of Earthworms: Soil Biology. Springer-Verlag, Berlin p. 191-213.