تأثیر کمبود روی بر رشد، درصد کلنیزاسیون میکوریزی ریشه و جذب روی، فسفر و آهن در گیاه ذرت

مهناز افشارنیا[1]*، ناصر علی‌اصغر زاد، رقیه حاجی‌بلند، شاهین اوستان و علیرضا توسلی

فارغ التحصیل کارشناس ارشد خاکشناسی دانشگاه تبریز؛ Mahnazafshar_1981@yahoo.com

عضو هیأت علمی گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز؛ n-aliasghar@tabrizu.ac.ir

عضو هیأت علمی گروه علوم گیاهی، دانشکده علوم، دانشگاه تبریز؛ ehsan@tabrizu.ac.ir

عضو هیأت علمی گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز؛ oustan@hotmail.com

عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی تبریز؛ ar.tavasolee@ yahoo.ca

چکیده

کمبود روی یکی از شایعترین کمبودهای عناصر ریزمغذی در گیاهان است و باعث کاهش در تولید محصول می‌شود. هدف از این پژوهش، بکارگیری قارچ‌های میکوریز آربوسکولار جهت رفع کمبود Zn و تأثیر آن بر قابلیت جذب روی، فسفر، آهن و رشد گیاه ذرت بود. این آزمایش در دو قسمت انجام گرفت که قسمت اول به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور شامل قارچ در دو سطح (M– و M+ به ترتیب بدون قارچ و تلقیح شده با *G. intraradices*) و دو سطح کمبود و کفایت روی (به ترتیب 0 و16 میکرو مولار) در بستر پرلیت اجرا شد. هر تیمار شامل چهار تکرار در گلدان‌های پلاستیکی بود. قسمت دوم بصورت طرح پایه کاملاً تصادفی با دو سطح قارچی (M- و M+ به ترتیب بدون قارچ و *G. intraradices*) در چهار تکرار و در بستر پرلیت اجرا شد. در قسمت اول نتایج نشان داد که در تیمارهای با کمبود روی، گیاهان میکوریزی به طور معنی‌داری کمتر از گیاهان غیرمیکوریزی دچار کاهش رشد شدند. کمبود روی باعث افزایش معنی‌داری در غلظت و مقدار فسفر بخش هوائی و ریشه گیاهان میکوریزی و غیرمیکوریزی شد. گیاهان میکوریزی و با کمبود روی دارای بیشترین غلظت و مقدار آهن و گیاهان غیرمیکوریزی و با روی کافی، دارای کمترین غلظت و مقدار آهن بودند. کمبود روی باعث افزایش درصد کلنیزاسیون ریشه به میزان 58% در گیاهان میکوریزی شد و در قسمت دوم این پژوهش مشاهده شد که گیاهان میکوریزی قادر به جذب روی از منابع نامحلول آن (ZnO) هستند.

واژه‌های کلیدی: ذرت، کلنیزاسیون ریشه، قارچ‌های میکوریزی، کمبود روی

مقدمه

کمبود روی یکی از متداولترین کمبود ریزمغذی‌ها در محصولات زراعی مخصوصاً غلات و گیاهان مرتعی در سراسر جهان است که نتیجه آن کاهش شدید عملکرد و کیفیت غذایی محصولات می‌باشد (ملکوتی، 2007). بیش از 60 درصد خاک‌های زراعی ایران دچار کمبود روی هستند که این باعث کاهش 50 درصدی عملکرد محصول شده است. در بیش از 80 درصد خاک‌های زراعی ایران غلظت Zn قابل استفاده از طریق عصاره-گیری با روش DTPA کم و اکثراً کمتر از یک میلی‌گرم در کیلوگرم خاک می‌باشد. حدود بحرانی Zn در خاک-های ایران حدود 0/7-1 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک

---

[1] نویسنده مسئول، آدرس: تبریز، دانشگاه تبریز، دانشکده کشاورزی،گروه علوم خاک

* دریافت: 91/2/17 و پذیرش: 91/8/30

می‌باشد. عامل اصلی کاهش Zn در ایران، وجود خاک‌های آهکی با pH بالا (اکثراً با بیش از 30 درصد کربنات کلسیم)که محدوده آن بین 16-58 درصد و pH 7/9-5/5 می‌باشد. مقدار کم مواد آلی و مصرف زیاد کودهای فسفاته و غلظت زیاد بی‌کربنات در آب آبیاری و رایج نبودن مصرف کودهای ریزمغذی از دیگر دلایل کمبود روی می‌باشد. غلظت بهینه روی از 20 تا 150 میکروگرم بر گرم ماده خشک گیاه ذکر شده است (آلووی، 2008). مقدار روی در گیاهان معمولاً بین $mg\ kg^{-1}$ 10 تا 50 است ولی بعضی گیاهان علوفه‌ای تا بیش از $mg\ kg^{-1}$ 200 روی در خود نگه می‌دارند. روی معمولاً در قسمت فعال گیاه، برگ‌ها، شاخه‌های جوان و جوانه‌های برگ و گل متمرکز می‌شود (سالاردینی، 1382). مصرف زیاد کودهای فسفر در خاک‌هایی با میزان کم روی قابل استفاده، ممکن است باعث بروز کمبود روی شده و نیاز گیاه را به روی افزایش دهد. عواملی که در این مورد مطرح می‌باشند عبارتند از: رقیق شدن روی در گیاه ناشی از افزایش رشد گیاه بر اثر کودهای فسفر؛ جلوگیری از جذب روی از سوی کاتیون‌هایی (بویژه کلسیم) که همراه با کودهای فسفر به خاک افزوده شده‌اند. افزایش فسفر در خاک باعث تسریع شدن جذب سطحی Zn بر هیدروکسیدها، اکسیدهای آهن و آلومینیوم و کربنات کلسیم می‌شود و آنرا از دسترس گیاه خارج می‌سازد (آلووی، 2008). یافته‌های آزمایشگاهی جدید نشان می‌دهد که برهم کنش دیگری میان فسفر و روی در گیاهان وجود دارد مانند، جلوگیری از جابجائی روی از ریشه‌ها به ساقه‌ها و غیر فعال شدن فیزیولوژیک روی در درون بخش‌های هوائی گیاه. بر پایه این یافته‌ها استنباط شده است که نشانه‌های کمبود روی، نه تنها به غلظت روی بلکه به نسبت فسفر به روی نیز در شاخه‌ها بستگی دارد (مارشنر، 1995). آزمایش‌ها نشان می‌دهند که، واکنش‌های عمده‌ای میان فسفر و روی در داخل گیاه انجام نمی‌گیرد، بلکه در خاک رخ می‌دهد که در آن، فراهمی روی و میزان انتشار آن در اثر مقدار زیاد فسفر کاهش می‌یابد. این کاهش در میزان روی به علت افزایش در میزان جذب سطحی آن بر ترکیباتی مانند اکسیدهای آهن رخ می‌دهد و نه به علت رسوب به صورت فسفات-های روی، که منابع خوبی برای رشد گیاه هستند (بوکویل و همکاران، 2003). در گیاهان با کمبود روی، غلظت آهن افزایش می‌یابد که زیادی آهن خود موجب تولید رادیکال‌های آزاد می‌شود و این دلیل دیگری برای صدمات حاصله از کمبود روی می‌باشد (ککمک،2006). همزیستی گیاهان با قارچ‌های میکوریز آربوسکولار یکی از مکانیسم‌هائی است که غالباً به جذب بیشتر و بهتر عناصر غذایی از جمله روی در خاک کمک کرده و نیز در برخی موارد امکان استفاده از منابع نامحلول روی در خاک را میسر می‌سازد (مارشنر، 1995). برهم کنش میان روی و فسفر در خاک به علت برقراری همزیستی ریشه‌ها با قارچ‌های میکوریزی پیچیده است. ریشه‌های میکوریزی، در مقایسه با ریشه‌های که غیرمیکوریزی میزان بیشتری روی جذب می‌کنند (پایرونان و همکاران، 1980). غلظت زیاد فسفر و نیتروژن سبب کاهش کلنیزاسیون ریشه می‌گردد (آلووی، 2008). قارچ‌های میکوریزی موجب افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاه میزبان می‌شود که ساز و کارهای این قارچ‌ها برای افزایش جذب عبارتند از: تولید کلیت کننده‌ها و هورمون‌های محرک رشد ریشه و گیاه (آلن، 1992؛ نیومن و گوج، 2004)، نفوذ بیشتر و بهتر هیف‌های قارچ در مناقد ریز خاک (آبوت و رابسون، 1985)، افزایش سطح ویژه مؤثر ریشه‌ها بواسطه اشتراک هیف‌های قارچ (بالن، 1991)، افزایش تمایل به جذب در ریشه (کاردوسو و کوپر، 2006)، ایجاد تغییرات شیمیایی در ناحیه میکوریزوسفر (طرفدار و مارشنر، 1994).

گیاهان حساس به کمبود روی شامل ذرت، گندم، برنج، سویا، لوبیا، گلابی، سورگوم، درختان مرکبات و انگور می‌باشد (آلووی، 2002). از آنجائی که ذرت بعد از گندم و برنج سومین محصول مهم در میان غلات است و جزء گیاهان حساس به کمبود روی می‌باشد و از طرفی دیگر ذرت گیاهی است که مستعد تلقیح با قارچ میکوریزی می‌باشد بنابراین در این پژوهش از گیاه ذرت استفاده شده است.

هدف از انجام پژوهش این بود که آیا در شرایط کمبود Zn همزیستی گیاه ذرت با قارچ‌های میکوریزی تأثیری بر رشد گیاه ذرت داشته است یا خیر و نیز بررسی میزان جذب روی، فسفر و آهن در گیاه ذرت میکوریزی و غیر میکوریزی و مقایسه آنها در شرایط کمبود Zn بود. همچنین بررسی اینکه کمبود روی چه تأثیری بر درصد کلنیزاسیون ریشه ذرت توسط قارچ میکوریزی گذاشته است.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه دو آزمایش انجام گرفت؛ آزمایش اول که شامل بررسی تأثیر کمبود روی بر رشد گیاه ذرت میکوریز و غیرمیکوریز و آزمایش دوم نیز بررسی تأثیر تلقیح با قارچ میکوریزی آربوسکول دار بر جذب روی از منابع نسبتاً نامحلول روی (اکسید روی) بود. هدف از آزمایش اول ایجاد کمبود روی در گیاه، مشاهده اثر کمبود

روی بر درصد کلنیزاسیون قارچی، مشاهده نقش تلقیح قارچی بر جذب و انتقال روی، فسفر و آهن در گیاه بود.

بذور سالم و یکنواخت ذرت (*Zea mays* L.)، (رقم سینگل گراس 704) از دانشگاه تبریز تهیه گردید. برای تلقیح گیاهان با قارچ میکوریز آربوسکولار، از مایه تلقیح قارچ *Glomus intraradices* استفاده شد. مایه تلقیح قارچی که به صورت درون شیشه‌ای تکثیر شده بود، از مؤسسه تحقیقات آب و خاک تهران دریافت شد. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور شامل قارچ در دو سطح (M– و M+ به ترتیب بدون قارچ و تلقیح شده با *G. intraradices*) و دو سطح کمبود و کفایت روی (به ترتیب 0 و 16 میکرو مولار Zn) در بستر پرلیت و بصورت گلدانی اجرا شد. هر تیمار شامل چهار تکرار بود.

در آزمایش اول جوانه‌های 10 روزه میکوریزی شده و غیر میکوریزی به مدت یک هفته با اضافه کردن محلول غذایی (رنجل و گراهام، 1996) 25 درصد و یک هفته با محلول غذایی 50 درصد (بدون حضور کلیت و بافر) و بدون حضور روی، پیش تیمار شدند. تیمارها در هفته سوم کشت با اضافه کردن محلول غذائی 50 درصد کلیت و بافر (HEDTA + MES buffer) و از هفته چهارم به بعد با 100 ml محلول غذائی 100 درصد کلیت و بافر به ازای هر گیاه با دو سطح کمبود و کفایت Zn (Zn- و Zn+ به ترتیب 0 و 16 میکرو مولارZn در محلول غذائی 100 درصد کلیت و بافر) اعمال گردیدند. محیط کلیت و بافر باعث پائین نگه داشتن غلظت آزاد روی و میزان فعالیت این عنصر در سطح معین می‌شود (دگریس و همکاران، 2007). این آزمایش در شرایط کنترل شده اتاق رشد با حرارت روزانه 2±27 و شبانه 2±20 درجه سانتی گراد، ساعات روشنایی و تاریکی به ترتیب 14و10 ساعت و با رطوبت نسبی 60الی70 درصد انجام شد.

گیاهان پس از طی دوره تیمار در طی سه روز برداشت شدند. تمام گیاهان به ریشه و بخش‌های هوایی تفکیک شده و وزن‌تر آنها اندازه‌گیری شد. سپس با آب مقطر شستشو شد و بر روی کاغذ خشک‌کن تمیز آب آنها گرفته شد. بعد از شستن ریشه‌ها حدود 0/2 گرم از ریشه-های ظریف و ریز در محلول 50% اتانول جهت تعیین درصد کلنیزاسیون ریشه تثبیت شد تا بعداً مرحله رنگ-آمیزی و تعیین درصد کلونیزاسیون بر روی ریشه‌ها انجام گیرد (نوریف و همکاران، 1992). نمونه‌ها در داخل پاکت‌های کاغذی به مدت 48 ساعت در آون با دمای °C 70 قرار گرفتند و پس از تعیین وزن خشک به منظور سنجش عناصر فسفر، روی و آهن مورد استفاده قرار گرفتند. برای اندازه‌گیری این عناصر نمونه‌های گیاهی به روش خشک سوزانی هضم شدند (وسترمن، 1990). فسفر به روش رنگ سنجی وانادات – مولیبدات اندازه-گیری گردید (کاتینه، 1980). روی و آهن در عصارهٔ گیاهان به روش جذب اتمی اندازه‌گیری شد (والینگ و همکاران، 1989).

در آزمایش دیگری بررسی تأثیر تلقیح با قارچ میکوریزی بر جذب روی از منابع نامحلول (اکسید روی) انجام شد که هدف از این آزمایش مطالعه تأثیر قارچ بر متحرک ساختن و جذب Zn از منابع نامحلول بود. در این آزمایش گلدان‌ها به دو بخش هیفی (Hyphal compartment) و بخش ریشه و هیفی (Root + Hyphal compartment) توسط مش نایلونی 45 میکرومتری؛ که این مش قابل نفوذ برای هیف و غیر قابل نفوذ برای ریشه بوده است؛ جدا شدند. منبع روی، ZnO نامحلول بود که فقط به ناحیه هیفی اضافه شد. آزمایش به صورت طرح پایه کاملاً تصادفی با یک فاکتور قارچ در دو سطح (M- و M+ به ترتیب بدون قارچ و G. intraradices) در چهار تکرار و با اکسید روی به مقدار 80 میلی‌گرم در هر کیلوگرم در گلدان‌های پلاستیکی بزرگ 3 لیتری و در بستر پرلیت انجام گرفت. در این آزمایش یک استوانه پلاستیکی مشبک با یک انتهای بسته به قطر 12 و ارتفاع 15 cm به عنوان تکیه‌گاه شبکه نایلونی ساخته شد. سپس یک استوانه با همین ابعاد از جنس مش نایلونی با قطر منافد کمتر از 45 میکرومتر تهیه و در استوانه اول تعبیه شد. این پارچه نایلونی نسبت به هیفهای قارچ نفوذ ناپذیر می‌باشد. این مجموعه در مرکز گلدان‌های پلاستیکی بزرگ قرار گرفت (شکل1). پس از پر شدن با پرلیت در اتو کلاو در دمای °C 121 فشار 1 اتمسفر استریل شد. گیاهان در قسمت مرکزی گلدان کشت شدند. سپس سوسپانسیون اکسید روی در مقداری آب تهیه شده و در بخش بیرونی استوانه پلاستیکی پخش شد. گیاهان از محلول غذایی(بدون Zn)، (افشارنیا، 1388)، که در داخل استوانه پلاستیکی اعمال می‌شد، تغذیه شدند. در این آزمایش وزن‌تر و خشک ریشه و بخش هوائی، درصد کلنیزاسیون ریشه، غلظت و مقدار عناصر روی و فسفر ریشه و بخش هوائی اندازه‌گیری شد. آزمون نرمال بودن توزیع داده‌ها و سپس تجزیه واریانس و مقایسه میانگین آنها با استفاده از نرم افزار MSTATC انجام گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد و رسم نمودارها با Excel انجام گردید.

نتایج

آزمایش اول- بررسی تأثیر کمبود روی بر رشد گیاه ذرت میکوریز و غیرمیکوریز

وزن‌تر و خشک بخش هوائی و ریشه و درصد کلنیزاسیون ریشه

کمبود روی باعث کاهش وزن‌تر و خشک بخش هوائی در گیاهان میکوریزی به ترتیب 41% و 40% و در گیاهان غیرمیکوریزی، به ترتیب 65% و 68% شد. مشاهده می‌شود که گیاهان میکوریزی کمتر از غیرمیکوریزی تحت تأثیر کمبود روی قرار گرفتند. در تیمارهای Zn+ (با کفایت روی)، وزن‌تر و خشک بخش هوائی گیاهان میکوریزی نسبت به غیرمیکوریزی به ترتیب 17% و 19% افزایش را داشت، در صورتیکه در تیمارهای Zn– (با کمبود روی)، این افزایش به ترتیب به 50% و 55% رسید. این امر حاکی از آنست که میکوریزی شدن در حالت کمبود روی، بیشتر به رشد گیاه کمک کرده است. کمبود روی باعث کاهش وزن‌تر و خشک ریشه در گیاهان میکوریزی به ترتیب 46% و 43% و در گیاهان غیرمیکوریزی، به ترتیب 62% و 60% شد. کمبود روی باعث افزایش 58% در درصد کلنیزاسیون ریشه شد (جدول 1).

غلظت و مقدار روی بخش هوائی و ریشه

کمبود روی باعث کاهش غلظت و مقدار روی بخش هوائی در گیاهان میکوریزی به ترتیب 68% و 78% و در گیاهان غیرمیکوریزی، به ترتیب 83% و 95% شد. مشاهده می‌شود که گیاهان میکوریزی کمتر از غیرمیکوریزی تحت تأثیر کمبود روی قرار گرفتند و غلظت و مقدار روی در آنها کمتر کاهش پیدا کرده است. در تیمارهای Zn+، غلظت و مقدار روی بخش هوائی گیاهان میکوریزی نسبت به غیرمیکوریز به ترتیب 34% و 36% افزایش را نشان داد، در صورتیکه در تیمارهای –Zn، این افزایش به ترتیب به 64% و 85% رسید. ملاحظه می‌شود که در شرایط کمبود روی، میکوریزی شدن به طور چشمگیری به جذب بیشتر روی در گیاهان کمک می‌کند. همچنین کمبود روی باعث کاهش غلظت و مقدار روی ریشه در گیاهان میکوریزی به ترتیب 75% و 86% و در گیاهان غیرمیکوریزی، به ترتیب 78% و 91% شد (جدول 2).

غلظت و مقدار فسفر بخش هوائی و ریشه

کمبود روی باعث افزایش غلظت و مقدار فسفر بخش هوائی در گیاهان میکوریزی به ترتیب 60% و 28% و در گیاهان غیرمیکوریزی، به ترتیب 50% و 30% شد. در تیمارهای Zn+، تفاوت معنی‌داری در غلظت و مقدار فسفر بخش هوائی بین گیاهان میکوریزی و غیرمیکوریزی مشاهده نشد، ولی در تیمارهای Zn–، غلظت و مقدار فسفر بخش هوائی در گیاهان میکوریزی به ترتیب 31% و 63% افزایش داشت. ملاحظه گردید که در شرایط کمبود روی، میکوریزی شدن به طور چشمگیری به جذب بیشتر فسفر در گیاهان کمک کرده است. در تیمارهای Zn–، غلظت و مقدار فسفر ریشه در گیاهان میکوریزی به ترتیب 19% و 58% افزایش داشت (جدول 2).

غلظت و مقدار آهن بخش هوائی و ریشه

کمبود روی در گیاهان میکوریزی باعث افزایش غلظت و مقدار آهن بخش هوائی به ترتیب 53% و 27% شد. در تیمارهای Zn+، در غلظت آهن بین گیاهان میکوریزی و غیرمیکوریزی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد، ولی مقدار آهن، در تیمارهای Zn+ در گیاهان میکوریزی 32% بیش از غیرمیکوریزی بود. غلظت و مقدار آهن بخش هوائی، در تیمارهای Zn–، در گیاهان میکوریزی نسبت به غیرمیکوریزی به ترتیب 17% و 41% افزایش داشت. کمبود روی باعث افزایش غلظت آهن ریشه در گیاهان میکوریزی شد در صورتیکه در گیاهان غیرمیکوریزی باعث اختلاف معنی‌داری نشد (جدول 2).

آزمایش دوم- تأثیر تلقیح با قارچ میکوریز بر جذب روی از منبع نامحلول (اکسید روی)؛

وزن‌تر و خشک بخش هوائی و ریشه و درصد کلنیزاسیون ریشه

وزن تر و خشک بخش هوائی گیاهان میکوریزی شده به ترتیب 37% و 50% بیشتر از غیرمیکوریزی بود همچنین گیاهان میکوریزی به طور معنی‌داری؛ دارای وزن خشک ریشه بیشتری بودند. افزایش وزن تر و خشک بخش هوائی و ریشه در گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی در حضور روی نامحلول نشان داد که گیاهان میکوریزی توانسته‌اند از منابع نامحلول این عنصر استفاده کنند. بدیهی است که هیچ کلنیزاسیونی در ریشه گیاهان غیرمیکوریزی مشاهده نشد ولی درصد کلنیزاسیون گیاهان میکوریزی به 63% رسید (جدول 3).

غلظت و مقدار روی بخش هوائی و ریشه

میکوریزی شدن باعث افزایش غلظت و مقدار روی به ترتیب 63% و 81% در بخش هوائی شد و این افزایش در ریشه به ترتیب به 53% و 68% رسید. منشأ روی جذب شده در گیاهان روی نامحلول (ZnO) استفاده شده در محیط است و نتیجه آن برای گیاهان رشد یافته در

خاک، استفاده از منابع نامحلول روی در این خاک‌ها می‌تواند باشد (جدول 3).

غلظت و مقدار فسفر بخش هوائی و ریشه

میکوریزی شدن باعث افزایش 55% در مقدار فسفر بخش هوائی شد. غلظت و مقدار فسفر ریشه گیاهان میکوریزی نیز به ترتیب 28% و 44% بیشتر از غیرمیکوریزی بود (جدول 3).

بحث و نتیجه‌گیری

وزن‌تر و خشک بخش هوائی و ریشه و درصد کلنیزاسیون ریشه

گزارشات مختلف نشان داده‌است که در 80% از رقم‌های گیاهان میکوریزی، وزن خشک بخش هوائی نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی بیشتر است (جوونتی و همکاران، 1994). فابر و همکاران (1990)، در آزمایشی در گیاه ذرت میکوریزی و غیرمیکوریزی رشد یافته در خاکی با کمبود روی، که در آن همه تیمارها محلول غذائی کامل با روی و بدون روی را دریافت کردند، نشان دادند که در تیمارهای با کمبود روی، گیاهان میکوریزی دارای وزن تر و خشک بخش هوائی و غلظت روی بیشتری نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی بودند. رونقی (1381) گزارش کرد که مصرف پنج میکروگرم روی در گرم خاک باعث افزایش میانگین وزن خشک ذرت به میزان 64 درصد نسبت به شاهد گردید. مفتون و کریمیان (1989) مشاهده کردند که کاربرد 10 میکروگرم روی در گرم خاک باعث افزایش وزن خشک ساقه و برگ ذرت به میزان 26 تا 40 درصد نسبت به شاهد گردید. کریمیان (1995) نشان داد که با اضافه کردن 20 میکروگرم روی در گرم خاک، وزن خشک اندام هوایی ذرت در یک خاک آهکی افزایش یافت. چنین نتایجی نیز توسط دیگران گزارش شده است (گوپتا و یاس، 1994. پاکر، 1997. آلووی، 2008). حاجی بلند و همکاران (2009) نشان دادند که کلنیزاسیون ریشه فقط تحت تأثیر فراهمی فسفر نبوده بلکه به فراهمی روی در خاک نیز وابسته است. آنها در آزمایشی با گیاه برنج تلقیح شده با قارچ (*Glomus intraradices*) نشان دادند که بالاترین درصد کلنیزاسیون در غیاب فسفر و روی اتفاق می‌افتد. کاربرد فسفر در غیاب روی به طور معنی‌داری درصد کلنیزاسیون ریشه را از 27% به 14% کاهش داد و کاربرد هر دو عنصر روی و فسفر در گلدان‌ها باعث کاهش درصد کلنیزاسیون از 27% به 11% شد.

غلظت و مقدار روی بخش هوائی و ریشه

نقش سیستم میکوریزی در بهبود تغذیه‌ای روی قابل توجه است، برقراری این نوع سیستم همزیستی می‌تواند جذب روی توسط ریشه، انتقال آن به بخش هوایی و نهایتاً غلظت این عنصر را در گیاه تابیش از 2/5 برابر افزایش دهد (کریست و همکاران، 2004). آزمایشات در گیاه برنج تلقیح شده با دو گونه از قارچ‌های میکوریز آربوسکولار (*Glomus mosseae and G. intraradices*) نشان داده است که در شرایط کمبود روی، میکوریزی شدن باعث افزایش دو برابری در جذب روی در گیاه برنج می‌شود (حاجی بلند و همکاران، 2009). اورتاس (2002) گزارش کرد که پاسخ به تلقیح قارچ-های میکوریزی در مرکبات فراهمی فسفر و روی را افزایش می‌دهد.

غلظت و مقدار فسفر بخش هوائی و ریشه

کمبود روی در بسیاری از خاک‌های جهان رایج می‌باشد و عمدتاً در خاک‌های با pH قلیائی و یا در خاک-های آهکی دیده می‌شود. اعتقاد بر این است که فسفر و روی با یکدیگر اثرات آنتاگونیسمی دارند. وقتی که یکی از این عناصر در خاک بیش از حد مجاز باشد، دیگری دچار کمبود می‌شود. گزارش شده است که در گیاهان گندم و ذرت کاربرد روی و فسفر اثرات آنتاگونیسمی بر یکدیگر دارند به طوری‌که افزایش در عرضه فسفر باعث کاهش روی در گیاه لوبیا می‌شود. کلنیزاسیون میکوریزی رابطه آنتاگونیسمی فسفر و روی را تغییر می‌دهد، به-طوری‌که اثرات کمبود روی ناشی از فسفر را کاهش می‌دهد (سوبرامانیان و همکاران، 2008). دلایل متعددی وجود دارد که رشد بخش هوائی گیاه گرچه تحت تأثیر غلظت روی قرار می‌گیرد ولی افزایش سطح فسفر کمبود روی را تشدید می‌کند. احتمالاً فسفر از طریق دیگری باعث کاهش جذب روی به وسیله ریشه‌ها شده یا مانع از انتقال روی از ریشه به بخش هوایی می‌شود. چهار ساز و کار ممکن وجود دارد که فسفر باعث کاهش جذب روی از خاک می‌شود: 1- غلظت بالای فسفر باعث جلوگیری از آلودگی ریشه‌ها با قارچ‌های AM می‌شود، 2- کاتیون-های اضافه شده با نمک‌های فسفات می‌تواند باعث جلوگیری از جذب روی، از محلول خاک شود، 3- یون-های H^+ تولید شده به وسیله نمک‌های فسفات، جذب روی از محلول خاک را مهار می‌کند، فسفر باز جذب روی از گیاه به خاک را افزایش می‌دهد (آلووی، 2008).

غلظت و مقدار آهن بخش هوائی و ریشه

از تحقیقات انجام شده در زمینه تأثیر قارچ‌های AM بر جذب آهن توسط گیاهان نتایج مختلفی حاصل شده است. برای مثال همزیستی قارچ با گیاه ذرت باعث افزایش غلظت آهن در بخش‌های گیاه شده است (آلووی، 2008). با این حال در بررسی دیگر بر روی گندم‌های

میکوریزی کاهش اندکی در غلظت آهن مشاهده شده است (طرفدار و مارشنر، 1994). در آزمایش دیگر همزیست شدن قارچ AM با گیاه ذرت باعث افزایش غلظت آهن در بخش هوایی گیاه شده است (کلارک و زتو، 1996)، همچنین کل آهن جذب شده به وسیله سویا و ذرت میکوریزی افزایش یافته است (لامبرت و همکاران، 1979). بعضی از محققان به احتمال وجود ساز و کارهایی از جمله جذب از طریق ترشح یکسری کیلیت کننده‌ها را عنوان کرده‌اند (کاریس و همکاران، 1998). برخی دیگر معتقدند که ریشه‌های میکوریزی از طریق احیای ترکیبات آهن جذب آهن را افزایش می‌دهند و برخی نیز اشاره غیر مستقیم به اثر ترشح پروتون و سایر ترکیبات اسیدی داشته‌اند (کایمی و آشتورد، 1989). کمبود روی باعث افزایش غلظت آهن در بخش هوایی گیاهان چغندر قند و لوبیای چشم بلبلی شد که ممکن است به دلیل اسیدی کردن ریزوسفر کاهش احیاگرها و تولید فیتو سیدروفورها باشد (آلووی، 2008). در بسیاری از گیاهان دولپه‌ای و تک لپه‌ای رشد داده شده در خاک و محلول‌های غذائی، کمبود روی باعث تجمع بالای آهن در ریشه‌ها و بخش هوائی شده است. در یک محلول غذائی آزمایش شده با 9 گونه گیاهی رحیمی و بوسلر (1979) تجمع بیش از حد آهن در برگ‌های گیاهان با کمبود روی را گزارش کردند. غلظت آهن برگ‌ها در محدوده 180 الی 800 $mg\ kg^{-1}$ در وزن خشک، برای گیاهان با کمبود روی و 75 الی300 $mg\ kg^{-1}$ در وزن خشک، برای گیاهان با روی کافی بود. برگ‌های ذرت رشد داده شده در خاک-های آهکی با کمبود روی حاوی 573 $mg\ kg^{-1}$ در وزن خشک آهن بود در صورتی که فراهمی روی آهن برگ‌ها فقط 80 $mg\ kg^{-1}$ در وزن خشک بود (وارناک، 1970). افزایش تجمع آهن در گیاهان با کمبود روی، تحت شرایط تنش‌های گوناگون از جمله خشکی و نور همچنین گزارش شده است (هندری، 1993). تحت این شرایط استرسی تجمع آهن مربوط می‌شود به افزایش پراکسیده شدن لیپیدها و صدمات کلروفیل (ککمک، 2000).

تأثیر تلقیح با قارچ میکوریز بر جذب روی از منبع نامحلول (اکسید روی)

در بررسی سهم هیف‌های میکوریزی در جذب روی مشاهده شده است که هر چه هیف‌ها در اطراف ریشه گسترش بیشتری داشته باشند مقدار جذب روی نیز بیشتر خواهد شد (والنتین و همکاران، 2001؛ کوتاری و همکاران، 1991). افزایش جذب روی در گیاهان میکوریز نشان دهنده گسترش هیف‌های قارچ AM در ناحیه بیرونی مش بوده و دلیل توانایی این گیاهان در استفاده از منابع نامحلول روی بوده است. این مسأله نشان می‌دهد که یکی از اثرات میکوریز در تغذیه روی، نتیجه تشدید سرعت جذب روی از منابع با حل‌پذیری اندک می‌باشد (خلدبرین و اسلام زاده، 1381). قارچ‌های میکوریزی علاوه بر افزایش سطح جذب کننده، توان جذب یونی بیشتر نسبت به سیستم جذب ریشه، انتقال سریع‌تر عناصر از طریق هیف‌ها به ریشه نسبت به مسیر خاک به ریشه و امکان استفاده این قارچ‌ها از منابع غذایی نامحلول و یا کم محلول موجب افزایش جذب مؤثر می‌شوند. علاوه بر فسفر، افزایش جذب عناصر دیگر، به خصوص روی، مس، گوگرد، پتاسیم، ازت، کلسیم و نیز گزارش شده است (صالح راستین، 1380). تلقیح قارچ میکوریزی باعث تغییرات مورفولوژیکی ریشه و CEC ریشه می‌شود. علاوه بر آن باعث افزایش مقدار روی و فسفر قابل دسترس گیاه می‌گردد. این تغییرات باعث می‌شود که اثرات متقابل فسفر و روی افزایش یابد، به طوری که ممکن است توانائی تحمل گیاه به شرایط کمبود روی را افزایش دهد که علت آن به استفاده گیاه از منابع نامحلول مانند فسفر و روی که غیر قابل دسترس برای گیاهان غیرمیکوریزی هستند، مربوط می‌شود. تلقیح قارچ غلظت فسفر و روی را افزایش می‌دهد (سوبرامانیان و همکاران، 2008). قارچ‌های AM به طور مؤثری سطح جذب ریشه را از خاک افزایش می‌دهد که نه تنها باعث افزایش جذب فسفر شده بلکه در مورد سایر عناصر نیز صدق می‌کند. تجمع فسفر گسترش هیفهای میکوریزی را مهار می‌کند که باعث کاهش جذب یون‌هایی مانند روی می‌شود (توسلی، 1378).

جدول 1- تأثیر میکوریزی شدن در دو حالت کمبود (Zn-) و کفایت روی (Zn+) در گیاه ذرت بر وزن تر و خشک بخش هوائی و ریشه و درصد کلنیزاسیون ریشه

تیمار روی	تیمار قارچی	وزن تر بخش هوایی (g plant $^{-1}$)	وزن تر ریشه (g plant $^{-1}$)	وزن خشک بخش هوایی (g plant $^{-1}$)	وزن خشک ریشه (g plant $^{-1}$)	درصد کلنیزاسیون ریشه
+Zn	- M	7/21 ± 0/27 ^{b}	5/11 ± 0/16 ^{b}	0/60 ± 0/02 ^{b}	0/53 ± 0/02 ^{b}	0/00 ± 0/00 ^{c}
	+ M	8/71 ± 0/25 ^{a}	6/60 ± 0/18 ^{a}	0/73 ± 0/04 ^{a}	0/69 ± 0/03 ^{a}	16/41 ± 2/37 ^{b}
-Zn	- M	2/54 ± 0/23 ^{d}	1/95 ± 0/13 ^{d}	0/21 ± 0/03 ^{d}	0/20 ± 0/01 ^{d}	0/00 ± 0/00 ^{c}
	+ M	5/13 ± 0/31 ^{c}	3/57 ± 0/22 ^{c}	0/43 ± 0/05 ^{c}	0/37 ± 0/04 ^{c}	39/68 ± 4/21 ^{a}

حروف لاتین غیر مشابه در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار می‌باشد (آزمون دانکن، $P < 0/05$).

جدول 2- تأثیر میکوریزی شدن در دو حالت کمبود (Zn-) و کفایت روی (Zn+) در گیاه ذرت غیرمیکوریزی (M-) و میکوریزی (M+) بر روی غلظت و مقدار روی، فسفر و آهن بخش هوائی و ریشه

تیمارها		غلظت روی (µg g^{-1})		غلظت فسفر (mg g^{-1})		غلظت آهن (µg g^{-1})	
روی	قارچ	بخش هوایی	ریشه	بخش هوایی	ریشه	بخش هوایی	ریشه
+Zn	-M	99/24 ± 2/36 ^{b}	157/8 ± 3/38 ^{b}	1/59 ± 0/11 ^{c}	1/34 ± 0/09 ^{c}	72/35 ± 5/94 ^{c}	185/4 ± 7/22 ^{a}
	+M	149/8 ± 2/43 ^{a}	205/9 ± 3/56 ^{a}	1/56 ± 0/17 ^{c}	1/35 ± 0/08 ^{c}	79/60 ± 5/94 ^{c}	155/3 ± 7/36 ^{b}
-Zn	-M	16/76 ± 2/57^{d}	34/60 ± 3/93 ^{d}	3/20 ± 0/13 ^{b}	2/02 ± 0/05 ^{b}	143/0 ± 5/94 ^{b}	165/4 ± 7/45 ^{ab}
	+M	47/76 ± 2/24 ^{c}	50/48± 3/84 ^{c}	3/94 ± 0/12 ^{a}	2/52 ± 0/06 ^{a}	172/6 ± 5/94 ^{a}	184/8± 7/85 ^{a}

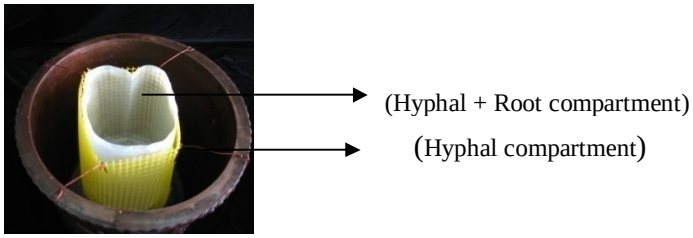
تیمارها		مقدار روی (µg plant $^{-1}$)		مقدار فسفر (mg plant $^{-1}$)		مقدار آهن (µg plant $^{-1}$)	
روی	قارچ	بخش هوایی	ریشه	بخش هوایی	ریشه	بخش هوایی	ریشه
+Zn	-M	71/20 ± 2/94 ^{b}	89/04 ± 3/52 ^{b}	0/81 ± 0/09 ^{bc}	0/68 ± 0/04 ^{b}	42/84 ± 3/41 ^{c}	94/36 ± 5/38 ^{a}
	+M	112/2 ± 2/85 ^{a}	151/5 ± 3/97 ^{a}	1/06 ± 0/07 ^{b}	0/89 ± 0/03 ^{a}	62/68 ± 3/86 ^{b}	98/77 ± 5/57 ^{a}
-Zn	-M	3/63 ± 2/76 ^{d}	7/64 ± 3/34 ^{d}	0/57 ± 0/04 ^{c}	0/38 ± 0/05 ^{c}	50/45 ± 3/53 ^{c}	70/38 ± 5/49 ^{b}
	+M	24/82 ± 3/04 ^{c}	20/52 ± 3/62 ^{c}	1/47± 0/09 ^{a}	0/92 ± 0/04 ^{a}	86/52 ± 3/26 ^{a}	91/07 ± 5/86 ^{a}

حروف لاتین غیر مشابه در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار می‌باشد (آزمون دانکن، $P < 0/05$)

جدول 3- غلظت و مقدار روی و فسفر بخش هوائی و ریشه، در گیاه ذرت غیر میکوریزی (M-) و تلقیح شده با *گلوموس اینترارادیسز* (M+) در حضور روی نامحلول (ZnO)

تیمار قارچی	غلظت روی (µg g^{-1})		غلظت فسفر (mg g^{-1})	
	بخش هوایی	ریشه	بخش هوایی	ریشه
+M	187/13 ± 72/02 ^{a}	379/53 ± 192/55 ^{a}	1/53 ± 0/18 ^{a}	1/38 ± 0/07 ^{a}
-M	68/99 ± 19/41 ^{b}	155/31 ± 50/74 ^{b}	1/33 ± 0/22 ^{a}	0/98 ± 0/00 ^{b}
تیمار قارچی	**مقدار روی (µg plant $^{-1}$)**		**مقدار فسفر (mg plant $^{-1}$)**	
	بخش هوایی	**ریشه**	**بخش هوایی**	**ریشه**
+M	850/85 ± 570/85 ^{a}	359/96 ± 192/55 ^{a}	6/89 ± 0/26 ^{a}	1/28 ± 0/09 ^{a}
-M	158/71 ± 119/76 ^{b}	111/83 ± 50/74 ^{b}	3/06 ± 0/29 ^{b}	0/71 ± 0/02 ^{b}

حروف لاتین غیر مشابه در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار می‌باشد (آزمون دانکن، $P < 0/05$).



شکل 1- نمایی از یک گلدان که با مش نایلونی به دو قسمت تقسیم شده است

فهرست منابع:

1. افشارنیا، م. 1388.بررسی تأثیر کمبود روی بر گیاه ذرت میکوریزی و اثر تنش‌های نوری بر آن. پایان نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز
2. توسلی، ع. 1378. بررسی تأثیر قارچ‌های بومی میکوریز VA در رشد ذرت و جذب فسفر و برخی عناصر کم مصرف در سطوح مختلف فسفر. پایاننامه کارشناسی ارشد،دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.
3. خلدبرین، ب. و ط. اسلام زاده. 1380. تغذیه معدنی گیاهان عالی (ترجمه). در دو جلد. انتشارات دانشگاه شیراز.
4. رونقی، ع.، ا. ادهمی و ن. کریمیان. 1381. تأثیر فسفر و روی بر رشد و ترکیب شیمیایی ذرت. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. 6: 105-118.
5. سالار دینی، ع.ا. 1382. حاصلخیزی خاک. انتشارات دانشگاه تهران.
6. صالح راستین، ن. 1380. کودهای بیولوژیک و نقش آنها در راستای نیل به کشاورزی پایدار. نشر آموزش کشاورزی.
7. Abbott, L.K. and A.D.Robson. 1985. Formation of external hyphae in soil by four species of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. New Phytol, 99: 245-255.
8. Allen, M.F. 1992. Mycorrhizal Functioning. Chapman and Hall, New York.
9. Alloway. B.J., 2002. Zinc-the vital micronutrient for healthy, high-value crops. International Zinc Association (IZA) available in http://www.interzinc.org/pdf/SustainableDevelopmentFactsheets.pdf.
10. Alloway, B.J., 2008. Zinc in soils and crop nutrition. Second edition, published by IZA and IFA,Brussels, Belgium and Paris, France.
11. Bolan, N.S. 1991. A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. Plant Soil, 134: 189-207.
12. Bukvić1, G., M. Antunović, S. Popović, M. Rastija, 2003. Effect of P and Zn fertilisation on biomass yield and its uptake by maize lines (*Zea mays* L.), Plant Soil Environ, 49(11):505-510.
13. Caimey. J. W. G. and A. E. Ashtord. 1989. Reducing activity at the root surface in *Eucaliptus Pilularris-Pisolithus tinctorius* ectomycorrhizas. Plant Phytology. 16:99-105.
14. Cakmak, I. 2000. Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. New Phytol, 146: 185-205.
15. Cakmak, I. 2006. Role of mineral nutrients in tolerance of crop plants to environmental stress factors Plant and Cell Physiology. 38: 433-440.
16. Cardoso, I.M. and T.W. Kuyper. 2006. Mycorrhizas and tropical soil fertility. Agri. Ecosyst. Environ, 116: 72-84.
17. Caris. C., H. Wolfgang, J.H. Heidi, R.Volker and G. Eckhaed. 1998. Studies of iron transport by arbuscular mycorrhizal hyphae from soil to peanut and sorghum plants. Mycorrhiza., 8:35-39.

18. Christie, P., Li, X. and B. Chen. 2004. AM can depress translocation of zinc to shoot of host plants in soils moderately polluted with zinc. Plant Soil, 261: 209-217.
19. Clark, R.B. and S.K. Zeto. 1996. Mineral acquisition by mycorrhizal maize grown on acid and alkaline Soil. Soil Biochem., 28:1495-1503.
20. Cottenie, A.1980. Soil and Plant Testing. FAO Soils Bulletin, No. 38/2, pp. 94-100.
21. Degryse, F., E. Smolders. and D. R. Parker. 2007. Metal complexes increase uptake of Zn and Cu by plants: implications for uptake and deficiency studies in chelator- buffered solutions. Plant Soil. 289,171-185.
22. Faber, B.A., , R.J. Zasoski, R.G. Burau, and K. Uriu. 1990. Zinc uptake by corn as affected by vesicular-arbuscular mycorrhizae. Plant soil, 129 (2):121-130.
23. Giovannetti. M., C. Sbrana, A. S. Citernesi, L. Avio, A. Gollott, V. Gianinazzi-Pearson, and S. Gianinazzi. 1994. Recognition and infection process basis for host specificity of arbuscular mycorrhizal fungus. In: Impact of Arbuscular Mycorrhizas on Sustainable Agricultur and Natural Ecosystems, Giannassi, S. and Schuepp, H. (Eds.). Brikhauser Verlag Basel. Switzerland pp. 61-71.
24. Gupta, P. K. and K. K. Vyas. 1994. Effect of phosphorus, zinc and molybdenum on the yield and quality of soybean. Legume Res. 17: 5-7.
25. Hajiboland, R., N. Aliasgharzad, R. Barzeghar. 2009. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi on uptake of Zn and P by two contrasting rice genotypes. Plant soil environ, 55(3): 93–100.
26. Hendry, G.A.F. 1993. Oxygen, free radical process and seed longevity. Seed Science Research, 3:141-153.
27. Karimian, N. 1995. Effect of nitrogen and phosphorus on zinc nutrition of corn in a calcareous soil. J . Plant Nutr. 18:2261-2271.
28. Kothari, S. K., H. Marschner. and V. Romheld. 1991. Contribution of the VA mycorrhizal hyphae in acquisitions of phosphorus and zinc by maize grown in a calcareous soil. Plant Soil 131: 177-185.
29. Lambert, H. D., D. E. Baker. and H. Jr. Cole. 1979. The role of mycorrhizae the interactions of phosphorus with zinc, copper, and other elements. Soil. Soc. Am. Journal, 43:976-980.
30. Maftoun, M. and Karimian. 1989. Relative efficiency of two zinc sources for maize (*Zea mays* L.) in two calcareous soils from an arid area of Iran. Agronomie 9: 771-775.
31. Malakouti, M.J. (2007) Zinc is a neglected element in the life cycle of plants. Middle astern and russian journal of plant science and biotechnology, 1 (1):1-12.
32. Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants, 2nd edn. London, UK, Academic Press.
33. Neuman, E. and E. Geouge. 2004. Colonization with the AMF *Glomus mosseae* (Nicol and Gerd.) enhanced phosphorus uptake from dry soil in sorghum bicolor (L.) Plant Soil, 261: 245-255.
34. Norrif, I.R., D.J. Read. and A. K. Varma. 1992. Methods in Microbiology. Vol 24. Techniques for Study of Mycorrhiza. Academic press, London.
35. Ortas, I., D. Ortakci, Z. Kaya, A. Cinar, N. Onelge. 2002. Mycorrhizal dependancy of sour orange in relation to phosphorus and zinc nutrition. J Plant Nutr, 25:1263–1279.
36. Pairunan, A.K., A.D. Robson, and L.K. Abbott. 1980. The effectiveness of vesicular – arbuscular mycorrhiza in increasing growth and phosphorus uptake of subterranean clover from phosphorus of different solubilities. New Phytol, 84: 327-338.
37. Parker, D. R.1997. Response of six crop species to solution zinc activities buffered with HEDTA.Soil Sci. Soc. Am. J. 61:161-167.

38. Rahimi, A. and W. Bussler. 1979. Die Entwicklung und der Zn-, Feund P-Gehalt hoherer Pflanzen in Abhangigkeit vom Zinkangebot. Zeitschrift fuX r Pflanzenernaehrung und Bodenkunde, 142:15-27.
39. Rengel, Z. and R. Graham. 1996. Uptake of zinc from chelate-buffered nutrient solutions by wheat genotypes differing in zinc efficiency. Journal of Experimental Botany, 47: 217- 226.
40. Subramanian, K.S., C. Bharathi and A. Jegan. 2008. Response of maize to mycorrhizal colonization at varying levels of zinc and phosphorus. Biol Fertil Soils, 45:133–144.
41. Tarafdar, J.S., H. Marschner. 1994. Efficiency of VAM hyphae in utilization of organic phosphorus by wheat plant. Soil Sci. Plant Nutr, 40 (4): 593-600.
42. Valentain, A. J., B. A. Osborne and D. T. Mitchell. 2001. Interactions between phosphorus supply and total nutrient availability on mycorrhizal colonization, growth and photosynthesis of cucumber. Hort. Sci. 88: 177-187.
43. Waling, I., W.V. Vark, V.J.G. Houba and J.J. Vanderlee. 1989. Soil and plant analysis a series of syllabi. Part 7. Plant Analysis Procedures. Wageningen Agriculture University.
44. Warnock, R.E. 1970. Micronutrient uptake and mobility within corn plants (*Zea mays* L.) in relation to phosphorus-induced zinc deficiency. Soil Science Society of American Proceedings, 34: 765-769.
45. Westerman, L.Z. 1990. Soil Testing and Plant Analysis. Soil Science Society of America, INC. Madison, Wisconsin, USA.