اثر کودهای زیستی و شیمیایی بر صفات رشدی و اجزای عملکرد دانه ماش (*Vigna radiata* L.) تحت تنش سمیت مس

زهرا امیریان چلان[۱*]، عادل دباغ محمدی نسب[۲]، روح‌اله امینی[۲]، محمد رضا ساریخانی[۳]

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۰/۱ تاریخ پذیرش: ۹۸/۳/۱۳

۱-دانش آموخته کارشناسی ارشد زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
۲-به ترتیب استاد و دانشیار گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
*مسئول مکاتبه: E-mail: z73amiriyan@gmail.com

چکیده

به منظور بررسی اثر سطوح مس و کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی بر صفات مورفولوژیکی، اجزای عملکرد و عملکرد دانه ماش (*Vigna radiata* L.) آزمایشی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتور اول غلظت مس در چهار سطح شامل صفر، ۵۰ ، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک و فاکتور دوم کاربرد کود شیمیایی و کودهای زیستی شامل باکتری ریزوبیوم *Sinorhizobium meliloti* و قارچ شبه‌میکوریز *Piriformospora indica*، به صورت منفرد و تلفیق آنها باهم و همچنین شاهد بدون کود بودند. نتایج نشان‌داد که صفات مورفولوژیک شامل ارتفاع بوته، تعداد و سطح برگ تحت تاثیر غلظت بالای مس در خاک کاهش یافتند و با کاربرد *P. indica* میزان آنها در بیشترین حد بود. بیشترین وزن‌خشک اندام‌هوایی و ریشه برای سطح $50 mg.kg^{-1}$ مس به دست آمد. کاربرد کود شیمیایی ، *P. indica* و *S. meliloti* باعث افزایش وزن‌خشک ریشه نسبت به سایر تیمارهای کودی شدند. بالاترین عملکرد دانه (۱/۰۴۵گرم) با کاربرد کود شیمیایی در تیمار عدم آلودگی مس حاصل شد. تیمارهای کودی بر تعداد نیام اثر معنی‌داری نداشتند ولی کاربرد تلفیقی قارچ و باکتری باعث افزایش تعداد دانه در نیام شد. کاهش معنی‌دار صفات مورد مطالعه در اثر غلظت بالاتر مس نشان‌دهنده آنست که ماش گیاهی حساس به تنش آلودگی مس می‌باشد. مقایسه میانگین ترکیبات تیماری نشان‌داد که کاربرد کود شیمیایی و *P. indica* در غلظت‌های پایین سبب افزایش تحمل گیاه در برابر سمیت مس شدند و در مقابل در غلظت‌های بالا استفاده از *S. meliloti* منجر به تحمل بهتر سمیت مس نسبت به سایر تیمارها گردید.

واژه های کلیدی: ، گیاه‌پالایی، کود زیستی، سطح برگ، شبه میکوریز، ریزوبیوم ، ماش

Effect of Biological and Chemical Fertilizers on Growth Traits and Yield Components of Mung Bean (*Vigna radiata* L.) under Copper Toxicity Stress

Zahra Amiriyan Chelan[1*], Adel Dabbagh Mohammadi Nassab[2], Rouhollah Amini[2], Mohammad Reza Sarikhani[3]

Received: December 22, 2018 Accepted: June 3, 2019
1-Post Graduate Student of Agronomy, Dept. of Plant Ecophysiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran.
2- Prof. and Assoc. Porf., Dept. of Plant Ecophysiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran.
3- Assoc. Porf., Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran.
*Corresponding author: E-mail: z73amiriyan@gmail.com

Abstract

In order to investigate the effect of different levels of copper and application of biological and chemical fertilizers on morphological traits, yield components and grain yield of mung-bean (*Vigna radiata* L.), a factorial experiment was conducted based on randomized complete block design with three replications. The first factor was soil contamination with copper including 0, 50, 100 and 200mg/kg of soil and the second factor was different fertilizer treatments including chemical fertilizer, *Sinorhizobium meliloti* bacterium, *Piriformospora indica* mycorrhizal-like fungus, *Sinorhizobium* + *Piriformospora* and no fertilizer treatment (control). The results showed that plant height, leaf number and leaf area per plant were decreased under high Cu concentration and the highest values were observed in application of *P. indica*. The highest shoot and root dry weight of mung beanwere obtained at 50mg/kg Cu. Application of *P. indica*, *S. meliloti* and chemical fertilizer increased the root dry weight more than other treatments. The highest grain yield per plant (1.045g) was obtained by application of chemical fertilizer in 0 mg/kg of Cu. Fertilizer treatments had no significant effect on pod number, but the application of *P. indica* + *R. meliloti* increased the seed number per pod. Significant decreases in studied traits of mung-bean in higher concentrations of Cu indicate that mung-bean is susceptible to copper toxicity stress. The mean comparison of the fertilizer treatments showed that application of chemical fertilizer and *P. indica* in lower concentrations of Cu resulted in increase of mung-bean tolerance to Cu toxicity. Also at high concentrations, using *S. meliloti* resulted in higher tolerance to Cu toxicity compared with other treatments.

Keywords: Biological Fertilizer**,** Leaf Area, Mung Bean, Mycorrhizal-Like**,** Phytoremediation, Rhizobium

مقدمه

امروزه، موضوع ورود عناصر سنگین به خاک‌های زراعی، یکی از نگرانی‌های مهم زیست محیطی در دنیا محسوب می‌شود (شافی و همکاران ۲۰۰۹). یون‌های فلزات سنگین زمانی که در مقادیر زیاد در محیط وجود داشته باشند، به وسیله ریشه گیاهان جذب و به اندام-

های هوایی منتقل شده و موجب اختلال در سوخت و ساز گیاه و کاهش رشد می شوند (لی و همکاران ۲۰۱۰). مصرف محصولات کشاورزی حاصل از خاک-های آلوده می‌تواند منجر به تجمع فلزات سنگین در پیکره انسان‌ها و حیوانات گردد (خان ۲۰۰۵). مس از عناصر کم مصرف ضروری است که جزء فلزات سنگین نیز طبقه بندی می‌شود و نقش‌های ساختاری و عملکردی فراوانی در فرآیندهای متابولیکی گیاهان برعهده دارد، ولی هم کمبود و هم مقدار اضافی آن در خاک‌ها موجب اختلالات متابولیکی و بازدارندگی رشد در بیشتر گونه‌های گیاهی می‌شود (زارع‌ده آبادی و همکاران ۲۰۰۹). مس در تسریع واکنش‌های ردوکس درون میتوکندری و کلروپلاست شرکت می‌کند ولی غلظت‌های بالاتر همین عنصر باعث سمیت در بافت‌های گیاهی و کاهش جذب سایر عناصر غذایی می‌شود. همچنین سنتز کلروفیل و واکنش‌های فتوسنتز را کند و در نهایت موجب کاهش رشد گیاهان می‌شود (گیتکه و چو ۲۰۰۳).

برخی از گیاهان دارای مکانیسم‌های سازگاری برای انباشت یا تحمل غلظت‌های بالای آلاینده‌ها در ریزوسفر خود هستند. استفاده از چنین گیاهانی برا پاکسازی آب، هوا و یا خاک‌های آلوده، گیاه پالایی نامیده می شود (گوش و سینگ ۲۰۰۵). فصل مشترک بین ریزموجودات فراریشه‌ای و ریشه‌های گیاهان، تاثیر بالای آنها در افزایش جذب عناصر غذایی و کاهش سمیت فلزات سنگین می‌باشد (اسمیت و رید ۲۰۱۰). به دلیل از بین رفتن ریزموجودات سودمند در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین، این خاک‌ها غالبا از حاصل‌خیزی اندکی برخوردارند و یا حتی در بعضی از موارد با کمبود عناصر غذایی مورد نیاز جهت رشد مطلوب گیاهان و ریزموجودات مواجه می‌باشند. با این وجود، می‌توان از طریق کاربرد مایه تلقیح میکروب‌های متحمل به فلزات،این خاک‌ها را از لحاظ عناصر غذایی غنی نمود (مایاک و همکاران ۲۰۰٤). مکانیسم‌های مختلف تحمل به فلزات سنگین در میکروب‌های مختلف شناخته شده که شامل ۱- پمپ کردن یون‌های فلزی به خارج از سلول، ۲- تجمع و انباشت یون‌های فلزی در داخل سلول، ۳- تبدیل فلزات سمی به فرم‌های با سمیت کمتر و ٤- جذب یا واجذب فلزات می‌باشند (کریشنامورتی ۲۰۰۰). این فرآیندها حلالیت و زیست فراهمی فلزات را برای گیاه تحت تاثیر قرار داده و اثرات سمی آن‌ها را دست‌خوش تغییر می‌سازد (سیلور ۱۹۹٦). قارچ‌های اندوفایت به عنوان یکی از مهم‌ترین همزیست‌های میکروبی با گیاهان به شمار می‌آیند که علاوه بر رشد و عملکرد گیاهان میزبان خود سبب افزایش مقاومت آن‌ها به تنش‌های زیستی و غیر زیستی می‌گردند (فیورنزا و همکاران ۲۰۰۰)، تاثیر این قارچ‌ها بر افزایش تحمل گیاه نسبت به عنصر مس نیز گزارش شده است (مالینوویسکی و همکاران ۲۰۰٤). *Piriformospora indica* دارای دامنه وسیعی از گیاهان میزبان است که با کلونیزاسیون آن‌ها سبب تحریک رشد و افزایش عملکرد گیاه میزبان در شرایط نامساعد محیطی می-شود (رن و همکاران ۲۰۰٦). ریزوبیوم مشهورترین ریزوباکتر تثبیت کننده نیتروژن مولکولی است، که علاوه بر تحریک رشد گیاهان، سبب افزایش دسترسی گیاه به مواد معدنی در محیط می‌شود (ماتیرو و داکورا ۲۰۰٤). ریزوباکتری‌های محرک رشد به دلیل برخورداری از صفات چندگانه‌ای نظیر مقاومت نسبت به فلزات و تبدیل آن‌ها به فرم‌های با سمیت کم‌تر و همچنین توانایی ارتقای رشد گیاهان از طریق مکانیسم‌های مختلف، یکی از مناسب‌ترین گزینه‌ها جهت استفاده در مطالعات مربوط به زیست‌پالایی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین می‌باشند (خان و همکاران ۲۰۰۹). مطالعات متعدد نشان داده‌اند ریزموجودات فرا ریشه‌ای مانند قارچ‌های میکوریزا و ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه قادر به تغییر ساختار فلزات سنگین در خاک هستند (سیزمور و هادسون ۲۰۰۹ و رویز و همکاران ۲۰۰۹). دپنوسیس و همکاران (۲۰۰٦) نشان

دادند که ریزوباکتری‌های محرک رشد نه تنها کلنیزاسیون ریشه گیاه را افزایش می‌دهند، بلکه به برقراری رابطه میکوریزی کمک کرده و باعث بهبود رشد و عملکرد گیاه می‌شوند.

توانایی گیاه برای رشد سالم و تولید زیست توده کافی در حضور فلزات سنگین آن را برای گیاه‌پالایی مناسب می‌کند (مانت و همکاران ۲۰۰۶). لگوم‌ها و میکروارگانیزم‌های همزیست آن‌ها به دلیل کارایی زیاد در حذف آلودگی‌ها، گزینه‌های خوبی برای گیاه‌پالایی و اصلاح زیستی اراضی آلوده به فلزات سنگین و همچنین دیگر آلاینده‌های آلی می‌باشند (لی و همکاران ۲۰۰۸؛ پاجئلو و همکاران ۲۰۰۸). ماش یکی از گیاهان خانواده بقولات است که در حال حاضر در قسمت‌های مختلف دنیا کشت می‌شود (دینگرا و همکاران ۱۹۹۱) و به لحاظ آنکه منبع سرشاری از پروتئین با کیفیت بالا می‌باشد نقش بسزایی در تغذیه‌ی انسانی در کشورهای در حال توسعه بازی می‌کند (دودواد ۱۹۹۸). گینس و همکاران (۱۹۹۷) گزارش دادند که بر اساس تغییراتی که در رشد، عملکرد و صفات فیزیولوژیکی ماش رخ می‌دهد، این گیاه را می‌توان به عنوان شاخص زیستی سمیت فلزات سنگین در نظر گرفت.

با توجه به فراگیر شدن آلودگی‌های زیست محیطی و همچنین ارزش غذایی بالای گیاه ماش پژوهش حاضر با هدف مطالعه تعدادی از صفات مورفولوژیک و عملکردی گیاه ماش سبز تحت غلظت‌های سمی مس با مصرف برخی از کودهای بیولوژیک و کود شیمیایی اوره اجرا شد. چنانچه ماش در شرایط مذکور رشد و عملکرد مناسبی تولید کند، کارایی لازم برای انباشت مس و پالایش مناطق آلوده به فلزات سنگین را خواهد داشت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوکهای کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۶ در مزرعه‌ای واقع در شهر مراغه اجرا شد. فاکتور اول غلظت مس در ٤ سطح شامل شاهد (عدم مصرف مس)، ۵۰، ۱۰۰و ۲۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم خاک خشک و فاکتور دوم مصرف کود شیمیایی اوره به مقدار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و کودهای زیستی شامل باکتری ریزوبیوم *Sinorhizobium meliloti*، قارچ شبه میکوریز *Piriformospora indica* و تلفیق این دو با هم و همچنین تیمار شاهد (بدون مصرف کود) می‌باشد. در این آزمایش هر جعبه به ابعاد ۲۸×٤۸ سانتی‌متر مربع و ارتفاع ۱۹ سانتی‌متر به عنوان یک واحد آزمایشی در نظر گرفته شد. ویژگیهای خاک مورد استفاده در جدول ۱ ذکر شده است.

جدول ۱- برخی از مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

گروه بافت	EC ($mS.cm^{-1}$)	pH	OM[1] (%)	P ($mg.kg^{-1}$)	K ($mg.kg^{-1}$)	TN[2] (%)	Cu ($mg.kg^{-1}$)	CEC[3] ($Cmol^{(+)}.kg^{-1}$)
لوم شنی	۱/۷٦	۷/۲۸	۱	۱٦/٥	٦۲۰	۰/۰۳۳	۰/٤۷	۳/٥۳

[1] ماده آلی

[2] نیتروژن کل

[3] ظرفیت تبادل کاتیونی

برای انجام آزمایش سولفات مس ($CuSo_4.5H_2O$) در مقادیر لازم تهیه و بعد از حل شدن در آب بطور یکنواخت بر روی خاک به صورت دستی اسپری شد و پس از مخلوط کردن خاک به مدت ۳۰ روز جعبه‌ها بطور متناوب خشک و تر شدند تا مس در خاک به تعادل نسبی برسد (توران و اسرینگو ۲۰۰۷). بعد از مدت زمان مذکور، بذور ماش با کودهای زیستی مذکور تلقیح شده و سپس کشت ردیفی با قرار دادن ٤ بذر به صورت کپه‌ای در فواصل معین تراکم مطلوب (فاصله روی ردیف ۱۰ سانتی متر، فاصله بین ردیف ۳۰ سانتی متر و عمق کاشت ۲-۳ سانتی متر) انجام گرفت، همچنین به منظور تنک کردن پس از استقرار گیاهچه‌ها فقط ٤ بوته در هر باکس باقی ماند. تیمار اوره نیز با توجه به وزن خاک هر جعبه (۲۰ کیلوگرم) محاسبه و به صورت سرک طی ۲ مرحله (قبل از کاشت و بعد از تنک کردن) از طریق آب آبیاری در اختیار گیاهان قرار گرفت. جهت بر طرف کردن کمبود عناصر غذایی از کود اوره به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار استفاده شد و آبیاری به طور مطلوب و متناوب در محدوده ظرفیت زراعی انجام شد.

بعد از برداشت ارتفاع بوته، تعداد برگ، تعداد نیام در بوته، تعداد دانه در نیام و عملکرد دانه در تمام بوته-های موجود در جعبه (۵ بوته) تعیین شد و بعد از میانگین گیری برای هر بوته محاسبه شد. اندازه گیری سطح برگ نیز در مرحله گلدهی بعد از جدا کردن تمام برگ‌های یک بوته با استفاده از کاغذ میلی‌متری انجام گرفت. برای تعیین وزن خشک بخش هوایی گیاه، پس از جدا نمودن دانه‌های ماش، نمونه‌ها در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲٤ ساعت قرار گرفتند و سپس توزین شدند.

داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار-های SPSS و MSTAT-C مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفته و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

بر طبق نتایج حاصل از تجزیه واریانس تاثیر عوامل مس و کود بر روی ارتفاع بوته ماش در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۲). با افزایش غلظت مس در خاک ارتفاع بوته‌های ماش کاهش یافت، بطوری که بیشترین ارتفاع بوته برای سطح عدم مصرف مس به دست آمد، که البته اختلاف معنی‌داری بین تیمار شاهد و سطح دوم و سوم مس (۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک خشک) وجود نداشت (جدول ۳). در بین عوامل کودی، بیشترین و کمترین ارتفاع بوته به ترتیب مربوط به کاربرد کود اوره و کاربرد باکتری ریزوبیوم بودند (جدول ٤).

نتایج پژوهش مانیواساگا و همکاران (۲۰۱۱) نیز نشان می‌دهد که با افزایش غلظت مس در خاک از ارتفاع بوته ماش کاسته شد. موحدپور و همکاران (۲۰۱٤) کاهش ارتفاع بوته کلزا را با افزایش غلظت مس از ۱۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک خشک را نشان دادند. اثر بازدارندگی مس بر ارتفاع بوته گیاهان ممکن است به دلیل کاهش تقسیم سلولی و اثر منفی فلز سنگین بر فرآیندهای فتوسنتز، تنفس و سنتز پروتئین باشد (اوزونیدو ۱۹۹۵؛ کوپر و همکاران ۱۹۹٦؛ سونمز و همکاران ۲۰۰٦). از آن جایی که نیتروژن یک عنصر تعیین کننده در تغذیه، رشد و عملکرد گیاه به شمار می‌رود، افزایش ارتفاع بوته در غلظت‌های بالای مس می‌تواند به دلیل وجود عنصر نیتروژن در این تیمار باشد که احتمالاً سمیت ناشی از غلظت بالای مس را کاهش داده است (فقیه‌عبدالهی و همکاران ۲۰۱۵).

تعداد و سطح برگ در بوته

اثر سطوح مس و مصرف کود در سطح احتمال یک درصد روی تعداد برگ در هر بوته ماش و اثر سطوح

مس در سطح احتمال یک درصد و مصرف کود در سطح احتمال پنج درصد روی سطح برگ معنی‌دار بود (جدول ۲). با افزایش غلظت مس در خاک تعداد و سطح برگ کاهش یافت، بطوری که سطح عدم مصرف مس بالاترین تعداد و سطح برگ را دارا بود (جدول ۳). همچنین در بین تیمارهای کودی، بوته های تیمار شده با قارچ شبه میکوریز دارای بیشترین تعداد و سطح برگ بودند و بوته‌های بدون تیمار کودی کمترین تعداد برگ و بوته های تیمار شده با باکتری سینوریزوبیوم کمترین سطح برگ را دارا بودند (جدول ٤).

موحدپور و همکاران (۲۰۱٤) گزارش کردند که عدم مصرف سولفات مس در خاک بیشترین تعداد و سطح برگ در بوته کلزا را سبب می‌شود و در غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک این تعداد بطور معنی داری افت پیدا می‌کند. مانیواساگا و همکاران (۲۰۱۱) نیز از پژوهش خود روی ماش نتیجه گرفتند که با افزایش غلظت مس در خاک سطح برگ کاهش می‌یابد. انیس و همکاران (۲۰۱۱) در بررسی توام قارچ‌های تریکودرما و شبه میکوریز روی گیاه فلفل سیاه، افزایش ارتفاع بوته و تعداد برگ در بوته را گزارش دادند. قارچ *P. indica* باعث افزایش جذب آب و عناصر غذایی به ویژه فسفر در گیاهان می‌شود و با دسترسی بیش‌تر به این عناصر، سطح برگ افزایش می‌یابد (اُیلمولر و همکاران، ۲۰۰۹).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریاس اثر سطوح مس و تیمارهای کودی بر برخی صفات رشدی ماش

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		ارتفاع بوته	سطح برگ	تعداد برگ	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	طول دوره رشد رویشی	طول دوره رشد زایشی
بلوک	۲	۰/٦٥$^{n.s}$	۱/۳۰۱$^{n.s}$	۰/۱۷٦$^{n.s}$	۰/۰۱٦$^{n.s}$	۰/۰۰۰۰۱٥$^{n.s}$	٦/۱۲۷*	۰/۰٥۰$^{n.s}$
سطوح مس	۳	٥۰۲/۷٦۰**	۱۰۱/٥۲٥**	۲/۲٤۸**	۰/٤٦۰ **	۰/۰۰۰۸۱۲**	۱٤۸/٥۱۷**	۰/۲٤٤$^{n.s}$
کود	٤	۱۲/۷۸۱**	۲/٥۹۳*	۱/۷۸۰**	۰/۰۱۱$^{n.s}$	۰/۰۰۰٤۰٦**	۸/۷۰٥**	۱/۸۹۲$^{n.s}$
مس×کود	۱۲	۲/۲۷۲$^{n.s}$	۱/۲۲۱$^{n.s}$	۰/۳۳۲$^{n.s}$	۰/۰۰۷$^{n.s}$	۰/۰۰۰۰۱۲$^{n.s}$	۳/۰۷۸*	۱/۸۱٤$^{n.s}$
خطا	۳۸	۲/٥٤٥	۰/۷۱۷	۰/۳۹۱	۰/۰۱٥	۰/۰۰۰۰۱٦	۱/٤۳۷	۱/۲۹٦
ضریب تغییرات (٪)		٥/۹۱	۹/۲۰	٤/٤۹	۱۳/٥٤	۲/۹۹	۲/۰۱	۲/۹۳

** معنی داری در سطح۰/۰۱ . * معنی داری درسطح ۰/۰٥ . n.s غیر معنی دار می باشد.

وزن خشک اندام هوایی و ریشه

اثر سطوح مس روی وزن خشک اندام هوایی و ریشه و همچنین اثر عوامل مختلف کودی بر روی وزن خشک ریشه در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی دار بودند در حالیکه تیمارهای کودی روی وزن خشک اندام هوایی بوته ماش اثر معنی داری نداشتند (جدول ۲). با افزایش غلظت مس در خاک وزن خشک اندام‌های هوایی در بوته های ماش تا سطح ۵۰ میلی‌گرم افزایش مقدار اندکی از خود نشان داد که البته با شاهد و غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم اختلاف معنی‌داری نداشت و کمترین مقدار آن برای غلظت ۲۰۰ میلی گرم ثبت شد. وزن خشک ریشه با افزایش غلظت مس در خاک تا سطح ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک به طور معنی داری افزایش یافت ولی با افزایش بیشتر غلظت مس در خاک وزن خشک ریشه نیز کاهش معنی داری پیدا کرد، بطوریکه کمترین میزان آن در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شد (جدول ۳). همچنین در بین تیمارهای کودی بیشترین مقدار وزن خشک ریشه برای بوته های تیمار شده با کود اوره ثبت شد که اختلاف معنی داری با بوته های تیمار شده با شبه میکوریز و سینوریزوبیوم نداشتند.

کمترین میزان وزن خشک ریشه نیز به ترتیب برای تیمار تلفیق قارچ و باکتری و همچنین شاهد بدون کود ثبت شد (جدول ٤).

اثر مثبت مس در غلظتهای پایین بر افزایش وزن خشک اندام‌هوایی و ریشه ماش (مانیواساگا و همکاران ۲۰۱۱)، ذرت (موکاوت و همکاران ۱۹۹٦)، برنج (لیدون و هنریکوس ۱۹۹۳) ریواس (عزیز و همکاران ۲۰۱۰)، بابونه آلمانی (کواکیک و همکاران ۲۰۰۸)، گندوم دوروم (میچائو و همکاران ۲۰۰۸) و بالنگوی شهری (عسگری لجایر و همکاران ۲۰۱۵) گزارش گردیده است. در رابطه با تأثیر مثبت مس در سطوح کم کاربرد بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه می‌توان بیان نمود که با توجه به غلظت کم این عنصر در خاک مورد مطالعه، کاربرد این سطوح به دلیل فراهم نمودن عناصر غذایی مورد نیاز رشد (بوربوری و طهرانی ۲۰۱۱)، فراهم آوردن تعادل تغذیه‌ای و اثرهای مثبت این عناصر بر جذب و انتقال سایر عناصر غذایی کم‌مصرف و پرمصرف (علی و همکاران، ۲۰۰۲؛ پنده و همکاران ۲۰۰۷)، افزایش مساحت، طول و قطر ریشه (میچائو و همکاران ۲۰۰۸)، افزایش فتوسنتز و تنفس (ریون و آلووی ۲۰۰٤)، فعال سازی آنزیم‌های دخیل در متابولیسم گیاه (لی و همکاران ۲۰۱۰) باعث افزایش وزن خشک ریشه و اندام هوایی می‌گردد. جلیازکووا و همکاران (۲۰۰۳) افت وزن اندام‌های گیاهی در حضور غلظت بالاتر فلزات سنگین را اختلال در متابولیسم کلی سلول‌ها دانستند.

جدول ۳- مقایسه میانگین سطوح مختلف مس برای صفات رشدی،عملکرد و اجزای عملکرد ماش

سطوح مس	ارتفاع بوته (cm)	تعداد برگ	سطح برگ (cm^2)	وزن خشک اندام هوایی (g)	وزن خشک ریشه (g)	تعداد نیام در بوته	وزن صد دانه (g)
۰mg	۳۰/۳۱a	۱٤/۳۲a	۱۰/۸٦a	۱/۰۰۰٥a	۰/۱۳۸۳b	۱/٥۸a	٤/٦٥a
٥۰mg	۲۹/۹٥a	۱٤/۰۷a	۱۰/٤٦ab	۱/۰۰۷۳a	۰/۱٤۳۹a	۱/۷۲a	٤/۳۳ab
۱۰۰mg	۲۹/۳۷a	۱۳/۹۰a	۱۰/۱۸b	۰/۹٦۷۱a	۰/۱۳۲۲c	۱/٦۳a	٤/۳۰ab
۲۰۰mg	۱۸/۳۳b	۱۳/٤۰b	٥/۳۳c	۰/٦٤۳۱b	۰/۱۲٦۹d	۱/۲٦b	۳/۹٦b

میانگین‌هایی که حداقل یک حرف لاتین مشترک دارند، در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

جدول۴- مقایسه میانگین تیمارهای کودی برای صفات رشدی،عملکرد و اجزای عملکرد ماش

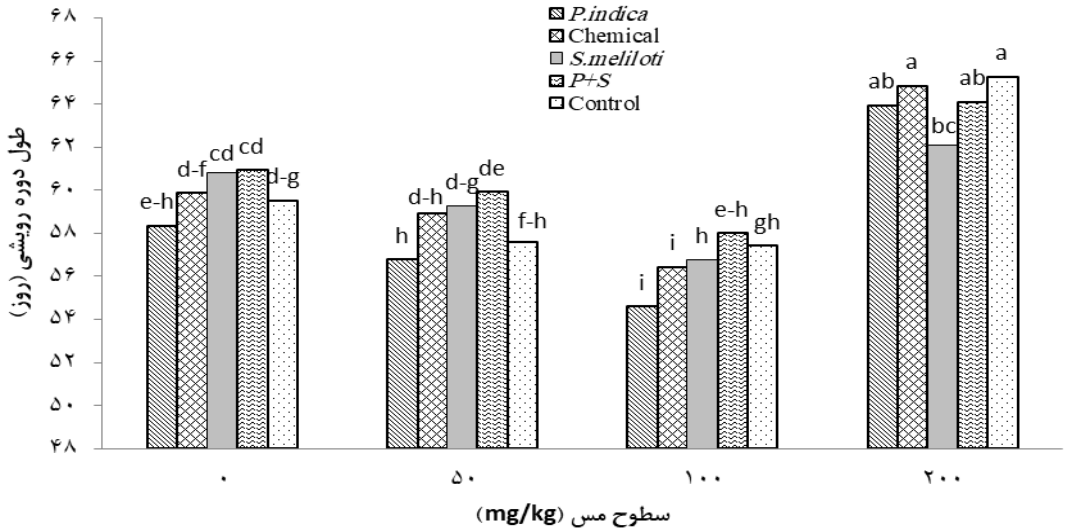
کود	ارتفاع بوته (cm)	تعداد برگ	سطح برگ (cm^3)	وزن خشک ریشه (g)	وزن صد دانه (g)
P. indica	۲۷/٥۷ab	۱٤/٤۰a	۹/۸۲a	۰/۱۳۸۱a	٤/۹٤a
Chemical	۲۸/٤۹a	۱٤/۰۸ab	۹/٤۳ab	۰/۱٤۱۱a	٤/۳۱b
S. meliloti	۲٥/۹٤c	۱۳/٦۲bc	۸/۷٤b	۰/۱۳۹۳a	٤/۲٦b
P + S	۲٦/٦٤bc	۱٤/۰٦ab	۸/۷٥b	۰/۱۲۹٥b	۳/۸۷b
Control	۲٦/۳۱bc	۱۳/٤٤c	۹/۳۰ab	۰/۱۲۸٦b	٤/۱٦b

میانگین‌هایی که حداقل یک حرف لاتین مشترک دارند، در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

طول دوره رشد رویشی

بر طبق نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) مشاهده می‌شود که اثر سطوح مختلف مس، کود و اثر متقابل این دو فاکتور بر روی طول دوره رشد رویشی معنی-دار می‌باشد. مقایسه میانگین ترکیبات تیماری (شکل ۱) دو فاکتور نشان می‌دهد که بوته‌های تیمار شده در سطح ۱۰۰ میلی‌گرم مس بر کیلوگرم خاک با قارچ شبه میکوریز بطور معنی‌داری در زمان کمتری نسبت به سایر تیمارها مرحله رشد رویشی خود را به اتمام رسانیده‌اند.

با توجه به مشاهدات استنباط می‌شود که بوته‌های ماش در سطح ۱۰۰ میلی‌گرم مس بر کیلوگرم خاک با کوتاه کردن طول دوره رشد رویشی خود سعی کرده‌اند که از میزان تنش ناشی از سمیت مس بکاهند و در غلظت بالاتر (۲۰۰ میلی‌گرم مس بر کیلوگرم خاک) این اثر سمی مس بر گیاه غالب شده و با کاهش شاخص کلروفیل، سطح برگ و سنتز مواد فتوسنتزی منجر به کاهش سرعت رشد محصول و افزایش طول دوره رشد رویشی شده است.



شکل ۱. مقایسه میانگین طول دوره رویشی در سطوح مختلف مس با کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی
(میانگین‌هایی که حداقل یک حرف لاتین مشترک دارند، در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند)

طول دوره رشد زایشی

سطوح مختلف مس و تیمارهای متفاوت کودی بر طول دوره رشد زایشی بوته‌های ماش تاثیر معنی‌داری نداشتند (جدول ۲).

تعداد نیام در بوته

بر اساس مشاهدات اثر سطوح مس روی تعداد نیام در هر بوته ماش در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده ولی تیمارهای کودی روی این صفت اثر معنی-داری نداشتند، همچنین اثر متقابل این دو فاکتور روی تعداد نیام غیر معنی‌دار بود (جدول ۵). بیشترین تعداد نیام در بوته برای غلظت ۵۰ میلی‌گرم (بدون اختلاف معنی‌دار با سطوح صفر و ۱۰۰ میلی‌گرم مس بر کیلوگرم خاک) و کمترین آن برای غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم مس در کیلوگرم خاک خشک مشاهده گردید (جدول ۳). تشکری فرد و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند که تعداد نیام در بوته کلزا، در غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم نیترات مس بیشتر از شاهد و غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم بوده است. همچنین موحدپور و همکاران (۱۳۹۳) گزارش کردند که با افزایش غلظت مس در خاک از تعداد خورجین در بوته کلزا کاسته می‌شود. همچنین قانی

(۲۰۱۰) گزارش کرد که غلظت بالای کادمیوم خاک باعث کاهش تعداد نیام در بوته ماش سبز می‌شود.

تعداد دانه در نیام

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که اثرات سطوح مس و تیمارهای کودی و ثاثیر متقابل این دو فاکتور نیز درسطح احتمال یک درصد بر تعداد دانه در نیام ماش معنی‌دار بوده است (جدول۵).

جدول۵- تجزیه واریانس اثرات سطوح مس و تیمارهای کودی بر عملکرد و اجزای عملکرد ماش

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		تعداد نیام در بوته	تعداد دانه در نیام	وزن صد دانه	عملکرد دانه تک بوته
بلوک	۲	۰/۰۹$^{n.s}$	۰/۷۸۵$^{n.s}$	۰/۰۳٦$^{n.s}$	۰/۰۰٤$^{n.s}$
سطوح مس	۳	۰/۵۹٦**	۵٦/۱۳۵**	۰/۱۷٤*	۰/۷۳۱**
کود	٤	۰/۱۰۸$^{n.s}$	۸/۳۹۰**	۱/۸٤۷**	۰/۰۷۰*
مس× کود	۱۲	۰/۰۸۹$^{n.s}$	۲/۵۸۱**	۰/٤۷۷$^{n.s}$	۰/۰۵۱**
خطا	۳۸	۰/۰۸۹	۰/۷٤۷	۰/۲۸۱	۰/۰۱۲
ضریب تغییرات (٪)		۱۹/۲٤	۱۰/۰۳	۱۲/۲۸	۱۸/۰۲

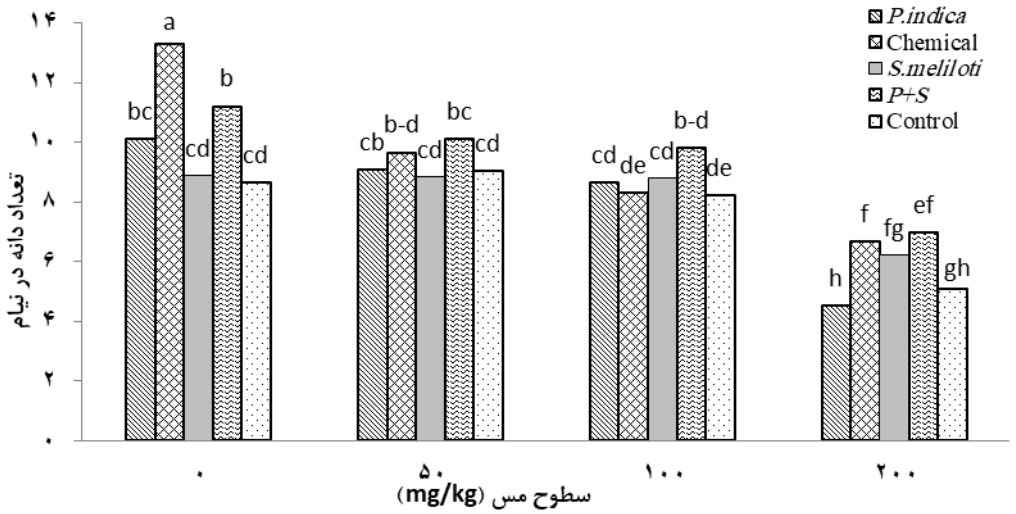
** معنی داری در سطح۰/۰۱ . * معنی داری درسطح ۰/۰۵ . n.s غیر معنی داری می‌باشد.

با توجه به شکل ۲ مشاهده می‌شود که تیمار کودی تلفیق قارچ شبه‌میکوریز و باکتری ریزوبیوم در تمام سطوح مس موجب افزایش تعداد دانه در نیام نسبت به سایر تیمارهای کودی شده است.

کریمی و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی روی گیاه لوبیا سبز نشان دادند که تیمار کودهای زیستی و قارچ میکوریز آربوسکولار دارای بیشترین تعداد دانه در نیام نسبت به شاهد بودند. از دلایل بهبود رشد و عملکرد گیاه با کاربرد کودهای زیستی می‌توان به افزایش سطح ریشه و بهبود جذب عناصر معدنی قابل دسترس، افزایش فتوسنتز، بهبود رشد گیاه و در نتیجه باعث افزایش زیست توده گیاه در حضور قارچ میکوریز (اسمیت و رید ۲۰۱۰؛ بال و آلتینسان ۲۰۰۸) و تثبیت نیتروژن و رها سازی نیتروژن قابل مصرف در مراحل حساس ساقه‌روی و نیام‌دهی در حضور باکتری‌های محرک رشد (کایا و همکاران ۲۰۰۲) اشاره کرد.

وزن صد دانه

بر طبق جدول ۵ مشاهده می‌شود که غلظت‌های مختلف مس در سطح احتمال پنج درصد و تیمارهای مختلف کود در سطح احتمال یک درصد بر روی وزن صد دانه ماش اثر معنی‌داری داشتند. بیشترین وزن صد دانه نسبت به سایر تیمارها، میان سطوح مختلف مس برای تیمار عدم مصرف سولفات مس (جدول ۳) و در بین تیمارهای کودی برای بوته‌های تیمار شده با قارچ شبه‌میکوریز به دست آمد (جدول ٤).



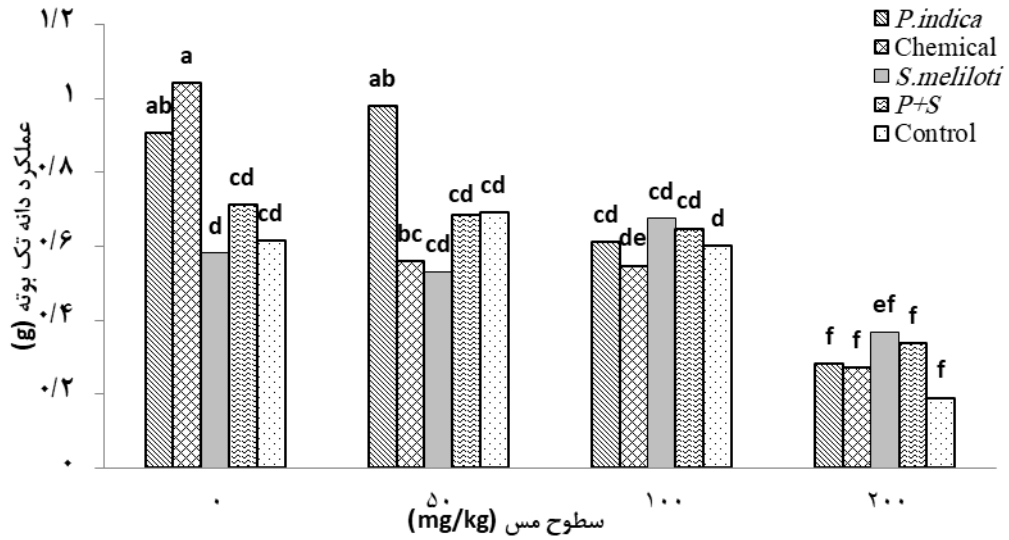
شکل۲. مقایسه میانگین تعداد دانه در نیام در سطوح مختلف مس با کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی

(میانگین‌هایی که حداقل یک حرف لاتین مشترک دارند، در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند)

کاهش وزن دانه را می‌توان به نقش منفی مس در غلظت‌های بالا به عنوان عنصر سنگین در جذب عناصر غذایی و انتقال آن‌ها به سلول‌های گیاه نسبت داد که سبب کاهش رشد و فتوسنتز گیاه شده است، در نتیجه در مرحله‌ی پر شدن دانه، شیره‌ی پرورده کمتری به دانه‌ها انتقال داده شده و دانه‌های کوچک با وزن کمتری تولید می‌شود (تقوی قاسمخیلی و همکاران ۱۳۹۳). اردکانی و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند که تلقیح برنج با قارچ میکوریزا باعث افزایش معنی‌دار در وزن هزار دانه شد.

عملکرد دانه تک‌بوته

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۵) مشخص شد که عملکرد دانه تک بوته ماش تحت تاثیر معنی‌دار عوامل مس، کود و اثر متقابل آن‌ها قرار گرفت. با افزایش غلظت مس خاک عملکرد دانه تک بوته کاهش یافت بطوریکه بیشترین آن برای تیمار عدم مصرف مس و کمترین آن هم برای سطح ۲۰۰ میلی‌گرم مس بر کیلوگرم حاصل شده است (جدول ۳). در بین عوامل کود نیز بالاترین عملکرد دانه برای تیمار با قارچ شبه-میکوریز به دست آمد (جدول ٤). برهمکنش دو تیمار، کود اوره در سطح صفر میلی‌گرم مس و قارچ شبه میکوریز در سطح ۵۰ میلی‌گرم مس نسبت به سایر تیمارها عملکرد بالاتری داشتند (شکل ۳). مطالعات وانی و همکاران (۲۰۰٦) بر روی ماش، موحدپور و همکاران (۱۳۹۳) بر روی کلزا و غلامی (۲۰۱٤) بر روی ذرت با نتایج این آزمایش مبنی بر کاهش عملکرد دانه در غلظت‌های بالای مس همخوانی دارد. به نظر می‌رسد قارچ‌های میکوریزی از طریق افزایش زیست توده ساقه به دلیل افزایش جذب عناصر غذایی توسط هیف‌ها و یا بهبود رشد ریشه و همچنین افزایش آسیمیلاسیون مواد فتوسنتزی در ساقه به علت افزایش سطح برگ و افزایش ظرفیت فتوسنتزی در دوره قبل از گلدهی، می-توانند در مرحله پس از گلدهی با انتقال مجدد این مواد فتوسنتزی از منابع به مخازن عملکرد دانه را بهبود بخشند (بومسما و وین ۲۰۰۸).



شکل۳ . مقایسه میانگین عملکرد دانه در سطوح مختلف مس با کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی
(میانگین‌هایی که حداقل یک حرف لاتین مشترک دارند، در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند)

نتیجه گیری کلی

با توجه به تغییرات صفات مورفولوژیک، فنولوژیک و عملکرد ماش در سطح بالای مس در خاک می‌توان نتیجه گرفت که این گیاه از پتانسیل تولید پایینی برای رشد در خاک‌های آلوده به مس بر خوردار است. البته با توجه به اینکه تغییرات تعدادی از صفات مانند ارتفاع بوته، تعداد برگ و تعداد نیام در بوته بین سطوح صفر تا ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم مس غیر معنی‌دار بودند، استنباط می‌شود که ماش می‌تواند در غلظت های پایین-تر مس در خاک عملکرد بیولوژیکی نسبتا خوبی داشته باشد و بنابراین می‌توان آن را در مناطقی با آلودگی کمتر مس به منظور تولید علوفه مورد کشت قرار داد. کلیه تیمارهای کودی استفاده شده در این آزمایش تحت تنش مس باعث افزایش معنی‌دار صفات مورفولوژیک ماش شدند و عملکرد دانه ماش را نسبت به شاهد بدون کود افزایش دادند. کاربرد باکتری *سینوریزوبیوم* به عنوان کود بیولوژیکی در غلظت‌های پایین مس باعث کاهش عملکرد دانه نسبت به شاهد بدون کود گردید، ولی همین تیمار در غلظت‌های بالا منجر به افزایش این صفت نسبت به سایر تیمارهای کودی شد. استفاده از قارچ شبه میکوریز در غلظت‌های پایین باعث افزایش قابل توجه عملکرد دانه ماش شد ولی در غلظت‌های بالای مس در خاک، کارایی آن کاهش پیدا کرد، با این حال حتی در غلظت بالا نیز سبب تولید عملکرد دانه بیشتر نسبت به شاهد بدون کود گردید.

منابع مورد استفاده

Abdollahi L, Yaghoubian Y and Alavi S. 2015. Effect of *Piriformospora indica* and *Trichoderma tomentosum* fungi on basil (*Ocimum basilicum* L.) growth under copper nitrate levels. Journal of Soil Management and Sustainable Production, 5(1): 113-127.

Ali NA, Bernal MP and Ater M. 2002. Tolerance and bioaccumulation of copper in Phragmites australis and *Zea mays*. Plant and Soil, 239(1): 103-111.

Anith KN, Faseela KM, Archana PA and Prathapan KD. 2011. Compatibility of Piriformospora indica and *Trichoderma harzianum* as dual inoculants in black pepper (*Piper nigrum* L.). Symbiosis, 55(1): 11-17.

Ardekani M, Rajali F and Heidari S. 2012. Study the effect of arbuscular biological fertilizer on yield and yield components of rice cultivars. Journal of Plant Ecophysiology, 4(11): 1-13.

Asgari H, Hadiyan J, Savaghebi G and Motasharezadeh B. 2015. Effect of different levels of copper and zinc on essential oil yield and percentage, Cu and Zn concentration and some growth traits of basil (*Ocimum basilicum* L .). Plant Production Technology, 6(2): 33-47.

Aziz EE, Ezz El-Din AA and Omer EA. 2010. Influence of zinc and iron on plant growth and chemical constituents of *Cymbopogon citratus* L. grown in newly reclaimed land. International Journal of Academic Research, 2(4): 278-283.

Bal U and Altintas S. 2008. Effects of *Trichoderma harzianum* on lettuce in protected cultivation. Journal of Central European Agriculture, 9(1): 63-70.

Boomsma CR and Vyn TJ. 2008. Maize drought tolerance: potential improvements through arbuscular mycorrhizal symbiosis? Field Crops Research, 108(1): 14-31.

Boorboori MR and Tehrani MM. 2011. Effect on interactive of values and application method of copper and zinc on plant characteristics and protein of wheat. Crop Physiology Journal. 2(8): 29-44.

Dhingra KK, Dhillon MS, Grewal DS and Sharma K. 1991. Performance of maize and mung bean intercropping in different planting patterns and row orientations. Indian Journal of Agronomy, 36(2): 207-212.

Dodwad IS, Salimath PM and Patil SA. 1998. Evolution of green gram collection for dry matter accumulation and its partitioning. Legume Research, 21(3/4): 209-212.

Duponnois R, Kisa M, Assigbetse K, Prin Y, Thioulouse J, Issartel M, Moulin P and Lepage M. 2006. Fluorescent pseudomonads occuring in Macrotermes subhyalinus mound structures decrease Cd toxicity and improve its accumulation in sorghum plants. Science of the Total Environment, 370(2-3): 391–400.

Fiorenza S, Oubre L and Herbward C. 2000. Phyteremediation of Hydrocarbon Contaminated Soil. CRC Press.

Gaetke LM and Chow CK. 2003. Copper toxicity, oxidative stress, and antioxidant nutrients. Toxicology, 189(1-2): 147-163.

Geuns JM, Cuypers AJ, Michiels T, Colpaert JV, Laere A, Van Den Broeck KA and Vandecasteele C H. 1997. Mung bean seedlings as bio-indicators for soil and water contamination by cadmium. Science of the Total Environment, 203(3): 183-197.

Ghani A. 2010. Effect of cadmium toxicity on the growth and yield components of mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek]. World Applied Sciences Journal, 8: 26-29.

Gholami B, Mohammadi Nasab AD, Amini R and Shakiba MR. 2014. Morphophysiological characteristics of corn (*Zea mays*) affected by copper and humic acid. International Journal of Biosciences (IJB), 5(7): 176-183.

Ghosh M and Singh SP. 2005. A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of it's by products. Asian Journal on Energy & Environment, 6(4): 18.

Glick B R. 2003. Phytoremediation: synergistic use of plants and bacteria to clean up the environment. Biotechnology Advances, 21(5): 383-393.

Jeliazkova E, Craker LE and Xing B. 2003. Seed germination of anise, caraway, and fennel in heavy metal contaminated solutions. Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants, 10(3): 83-93.

Karimi K, Bolandnazar S and Ashoori S. 2013. Effect of bio-fertilizer and arbuscular mycorrhizal fungi on yield, growth characteristics and quality of green bean (*Phaseolous vulgaris* L.). Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 23(3): 157-167.

Kasim W A. 2006. Changes induced by copper and cadmium stress in the anatomy and grain yield of *Sorghum bicolor* (L.) Moench. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 8(1): 123-128.

Kaya Y, Kaya Y, Arisoy R Z and Göcmen A. 2002. Variation in grain yield and quality traits of bread wheat genotypes by zinc fertilization. Pakistan Journal of Agronomy, 1(4): 142-144.

Khan A G. 2005. Role of soil microbes in the rhizospheres of plants growing on trace metal contaminated soils in phytoremediation. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology, 18(4): 355-364.

Khan M S, Zaidi A, Wani P A and Oves M. 2009. Role of plant growth promoting rhizobacteria in the remediation of metal contaminated soils. Environmental chemistry letters, 7(1): 1-19

Kováčik J, Grúz J, Bačkor M, Tomko J, Strnad M and Repčák M. 2008. Phenolic compounds composition and physiological attributes of *Matricaria chamomilla* grown in copper excess. Environmental and Experimental Botany, 62(2): 145-152.

Krishnamurthy GSR. 2000. Speciation of heavy metals: An approach for remediation of contaminated soils, in remediation engineering of contaminated soils. New York: Marcel Decker Inc, 709.

Kumar R, Mehrotra NK, Nautiyal BD, Kumar P and Singh PK. 2009. Effect of copper on growth, yield and concentration of Fe, Mn, Zn and Cu in wheat plants (*Triticum aestivum* L.). Journal of Environmental Biology, 30(4): 485-488.

Küpper H, Küpper F, and Spiller M. 1996. Environmental relevance of heavy metal-substituted chlorophylls using the example of water plants. Journal of Experimental Botany, 47(2): 259-266.

Lee S H, Lee W S, Lee C H and Kim J G. 2008. Degradation of phenanthrene and pyrene in rhizosphere of grasses and legumes. Journal of Hazardous Materials, 153(1-2): 892-898.

Li Q, Cai S, Mo C, Chu B, Peng L and Yang F. 2010. Toxic effects of heavy metals and their accumulation in vegetables grown in a saline soil. Ecotoxicology and Environmental Safety, 73(1): 84-88.

Lidon FC and Henriques FS. 1993. Effects of copper toxicity on growth and the uptake and translocation of metals in rice plants. Journal of Plant Nutrition, 16(8): 1449-1464.

Malek-Mohammadi M, Maleki A, Siaddat S A and Beigzade M. 2013. The effect of zinc and potassium on the quality yield of wheat under drought stress conditions. International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 6(16): 1164.

Malinowski DP, Zuo H, Belesky DP and Alloush GA. 2004. Evidence for copper binding by extracellular root exudates of tall fescue but not perennial ryegrass infected with *Neotyphodium* spp. endophytes. Plant and Soil, 267(1-2) 1-12.

Manivasagaperumal R, Vijayarengan P, Balamurugan S and Thiyagarajan G. 2011. Effect of copper on growth, dry matter yield and nutrient content of *Vigna radiata* (L.) Wilczek. Journal of Phytology, 3(3): 379-387.

Mant C, Costa S, Williams J and Tambourgi E. 2006. Phytoremediation of chromium by model constructed wetland. Bioresource Technology, 97(15): 1767-1772.

Matiru VN and Dakora FD. 2004. Potential use of rhizobial bacteria as promoters of plant growth for increased yield in landraces of African cereal crops. African Journal of Biotechnology, 3(1): 1-7.

Mayak S, Tirosh T and Glick BR. 2004. Plant growth-promoting bacteria that confer resistance to water stress in tomatoes and peppers. Plant Science, 166(2): 525-530.

Michaud A M, Chappellaz C and Hinsinger P. 2008. Copper phytotoxicity affects root elongation and iron nutrition in durum wheat (*Triticum turgidum durum* L.). Plant and Soil, 310(1-2): 151-165.

Mohsen A, Dowidar S, Abo-Hamad S and Khalaf B. 2013. Role of cyanobacteria in amelioration of toxic effects of copper in'*Trigonella foenum gracum*'. Australian Journal of Crop Science, 7(10): 1488.

Mocquot B, Vangronsveld J, Clijsters H and Mench M. 1996. Copper toxicity in young maize (*Zea mays* L.) plants: effects on growth, mineral and chlorophyll contents, and enzyme activities. Plant and Soil, 182(2): 287-300.

Movahedpour F, Dabbagh Mohammadi Nassab A, Najafi N and Amini R. 2015. Effect of humic acid and EDTA on growth characteristics, grain yield and yield components of oilseed rape (*Brassica napus* L.) under copper toxicity stress. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 24(4.1): 103-121.

Oelmüller R, Sherameti I, Tripathi S and Varma A. 2009. *Piriformospora indica*, a cultivable root endophyte with multiple biotechnological applications. Symbiosis, 49(1): 1-17.

Ouzounidou G. 1995. Cu-ions mediated changes in growth, chlorophyll and other ion contents in a Cu-tolerantKoeleria splendens. Biologia Plantarum, 37(1): 71.

Pajuelo E, Rodríguez-Llorente ID, Dary M and Palomares AJ. 2008. Toxic effects of arsenic on *Sinorhizobium Medicago sativa* symbiotic interaction. Environmental Pollution, 154(2): 203-211.

Pande P, Anwar M, Chand S, Yadav VK and Patra DD. 2007. Optimal level of iron and zinc in relation to its influence on herb yield and production of essential oil in menthol mint. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 38(5-6): 561-578.

Ren A, Gao Y, Zhang L and Xie F. 2006. Effects of cadmium on growth parameters of endophyte‐infected endophyte‐free ryegrass. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 169(6): 857-860.

Rion B and Alloway J. 2004. Fundamental aspects of zinc in soils and plants. International Zinc Association, 23: 1-128.

Ruiz E, Rodríguez L and Alonso-Azcárate J. 2009. Effects of earthworms on metal uptake of heavy metals from polluted mine soils by different crop plants. Chemosphere, 75(8): 1035-1041

Shafi M, Bakht J, Hassan M J, Raziuddin M and Zhang G. 2009. Effect of cadmium and salinity stresses on growth and antioxidant enzyme activities of wheat (*Triticum aestivum* L.). Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 82(6): 772-776.

Silver S. 1996. Bacterial resistances to toxic metal ions-a review. Gene, 179(1): 9-19.

Smith SE and Read DJ. 2010. Mycorrhizal symbiosis. Academic press.

Sizmur T and Hodson M E. 2009. Do earthworms impact metal mobility and availability in soil?–A review. Environmental pollution, 157(7): 1981-1989.

Sonmez S, Kaplan M, Sonmez NK, Kaya H and Uz I. 2006. High level of copper application to soil and leaves reduce the growth and yield of tomato plants. Scientia Agricola, 63(3): 213-218.

Taghavi Ghasemkheyli F, Pirdashti H, Bahmanyar M and Tajick Ghanbary M. 2015. The Effect of *Trichoderma harzianum* and cadmium on tolerance index and yield of barley (*Hordeum vulgare* L.). Journal of Water and Soil, 28(1), 157-165.

Tashakorifard E, Taghavi Ghasemkheyli F, Pirdashti H, Tajik Ghanbary M A and Bahmanyar M A. 2016. Symbiotic effect of *Trichoderma atroviride* on growth characteristics and yield of two cultivars of rapeseed (*Brassica napus* L.) in a contaminated soil treated with copper nitrate. Iranian Journal of Field Crops Research, 15(1): 74-86.

Turan M and Esringu A. 2007. Phytoremediation based on canola (*Brassica napus* L.) and Indian mustard (*Brassica juncea* L.) planted on spiked soil by aliquot amount of Cd, Cu, Pb, and Zn. Plant Soil and Environment, 53(1): 7.

Wani PA, Khan MS and Zaidi A. 2007. Cadmium, chromium and copper in green gram plants. Agronomy for Sustainable Development, 27(2): 145-153.

Zare Dehabadi S and Asrar Z. 2009. Effect of excess zinc on the concentration of some mineral element and antioxidant responses of spearmint (*Mentha spicata* L.). Iranian Journal of Medical and Aromatic Plants, 24(4): 530-540.