مجله تحقیقات آب و خاک ایران (۴۳) ۱، ۱۳۹۱ (۲۱۹-۲۰۷)

اثر مصرف توأم کادمیوم و روی در یک خاک آهکی بر جذب عناصر فسفر، مس، آهن و منگنز توسط دو رقم برنج در شرایط غرقاب و غیرغرقاب

فرشته ولیزاده فرد[۱]، عادل ریحانی تبار[۲]*، نصرت اله نجفی[۲] و شاهین اوستان[۳]

[۱]دانشجوی سابق کارشناسی ارشد،[۲]استادیار و [۳] دانشیار گروه علوم خاک دانشگاه تبریز

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۰/۱۳- تاریخ تصویب: ۱۳۹۱/۷/۱۹)

چکیده

برای مطالعه اثر کادمیوم(Cd) و روی(Zn) بر غلظت، مقدار و فاکتور انتقال فسفر(P)، مس(Cu)، آهن(Fe) و منگنز(Mn) در گیاه برنج آزمایشی در گلخانه به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو رقم برنج (هاشمی و واندانا)، دو سطح رطوبت (غرقاب و غیر غرقاب)، سه سطح Zn و Cd (۰، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) و در سه تکرار انجام گرفت. نتایج نشان داد که با تغییر رژیم رطوبتی از غرقاب به غیرغرقاب غلظت و مقدار P بخش هوایی و ریشه، مقدار Fe بخش هوایی، غلظت Fe ریشه، غلظت و مقدار Mn بخش هوایی کاهش یافت اما غلظت Cu در بخش هوایی و ریشه و فاکتور انتقال Fe در هر دو رقم افزایش یافت. مصرف Zn ابتدا باعث افزایش و سپس کاهش غلظت P بخش هوایی و ریشه، مقدار P ریشه و غلظت Fe بخش هوایی شد. غلظت Cu و Mn بخش هوایی با مصرف Zn کاهش یافت. مصرف Cd مقدار P، Mn و Fe بخش هوایی و ریشه و مقدار Cu ریشه را ابتدا افزایش و سپس کاهش داد. همچنین غلظت Cu و Fe ریشه، غلظت Mn بخش هوایی و فاکتور انتقال Mn کاهش یافت. بر همکنش Cd و Zn معنی‌دار بوده و مصرف Cd در هر سطح Zn، غلظت و مقدار P بخش هوایی، مقدار Cu و P ریشه، مقدار Fe و Mn بخش هوایی را ابتدا افزایش و سپس کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: واندانا، هاشمی، کادمیوم، روی، فسفر

مقدمه

برنج (*Oryza stiva*) بعد از گندم در سطح جهانی از مهم‌ترین غلات تأمین کننده غذای انسان بویژه در آسیا می‌باشد (Bouman et al., 2007). امروزه به دلایل محدودیت در منابع آبی و بروز خشکسالی‌های متعدد محققان ارقامی از برنج به نام برنج غیرغرقاب یا آپلند (Upland rice) را اصلاح و معرفی کرده-اند که می‌توان به شیوه غیرغرقاب آنها را کاشت. Cd از عناصر غیرضروری و مضر برای انسان‌هاست که از طرق مختلف مثل کودهای فسفری به زمین‌های کشاورزی اضافه شده و ضمن جذب توسط گیاهان می‌تواند وارد چرخه غذایی انسانها شده و باعث بیماری‌های مختلف مثل سرطان شود (Kirkham, 2006). Zn عنصر کم مصرف در تغذیه برنج بوده و با Cd دارای برهمکنش می‌باشد. همچنین عناصر Fe، Mn و Cu از عناصر کم مصرف و P از عناصر پرمصرف مهم برای تغذیه و رشد گیاهان، حیوانات و انسان محسوب می‌شوند و غلظت‌های مناسب آنها در گیاهان برای رشد و تولید محصول و سلامتی حیوانات و انسان ضروری است. Fageria and Baligar (1997) گزارش کردند که از عناصر پرمصرف، Ca و P و از عناصر کم مصرف، Mo و Zn از مهم‌ترین عناصر محدودکننده عملکرد برنج غیرغرقاب در خاک اکسی سول هستند. مسائل مختلفی باعث گسترش کمبود این عناصر می‌شوند که از جمله آنها می‌توان به کیفیت نامناسب آب آبیاری، به زیر کشت بردن خاکهای فقیر، آهک دهی خاکها و افزایش درجه خلوص کودهای شیمیایی مصرفی اشاره کرد (Fageria et al, 2002). با تغییر رژیم رطوبتی از غرقاب به غیرغرقاب قابلیت جذب عناصر تغییر می‌کند. از طرف دیگر، وجود عناصری مثل Cd در محیط رشد باعث اختلال در جذب و انتقال عناصر غذایی می‌شود (Wang-da et al., 2009). در شرایط غرقاب قابلیت جذب P نسبت به شرایط غیرغرقاب افزایش می‌یابد (Najafi and Towfighi, 2007). افزایش P قابل جذب بعد از غرقاب در نتیجه احیای فسفات فریک به شکل فروس محلول $[Fe_3(PO_4)_2]$ ، هیدرولیز فسفات‌های Fe و Al به دلیل افزایش pH در خاکهای اسیدی و انحلال فسفات‌های کلسیم به دلیل افزایش فشار جزئی گاز CO_2 در محلول خاک در خاکهای آهکی که عامل اول از همه مهمتر است. با خشک شدن خاک حل پذیری ترکیبات حاوی P کم می‌شود چون pH کاهش می‌یابد. ترکیبات Fe فروس و مگنتیت (Fe_3O_4) به هیدروکسیدهای فریک بی‌شکل تبدیل می‌شوند. به دلیل سطح ویژه بالا و واکنش‌پذیری زیاد این ترکیبات آهن، فسفات‌های قابل حل به آسانی جذب سطحی شده و قابلیت جذب آنها

* نویسنده مسئول: areyhani@tabrizu.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

کاهش می‌یابد (Patrick et al., 1985). Alloway (2008) گزارش کرد که Mn و Fe ممکن است از جذب Zn توسط برنج در خاک‌های غرقاب جلوگیری کرده و کمبود Zn را تشدید کنند. گیاهان با کمبود Zn می‌توانند مقادیر زیاد P را جذب کنند و سمیت P را در گیاهان افزایش دهند که دلیل آن احتمالاً آسیب دیدن غشای سلولی در ریشه‌هاست.

He et al. (2004) در یک خاک اسیدی از جنوب چین گزارش کردند که عملکرد دانه برنج زمانی که رطوبت خاک در ۶۰٪ ظرفیت نگهداری آب باشد، به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد در حالی که در ۸۰٪ ظرفیت مذکور با حالت غرقاب تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین تأثیر P بر رشد و عملکرد برنج مهم‌تر از مقدار رطوبت خاک ارزیابی شد. محققان مذکور بیان کردند که برنج غرقاب زمانی که P خاک به قدر کافی فراهم باشد، می‌تواند در شرایط هوازی کشت شود. Liu et al. (2003) در بررسی بر همکنش Cd و پنج عنصر غذایی در رقم‌های مختلف برنج به این نتیجه رسیدند که با مصرف Cd متوسط غلظت Fe، Cu و Zn در ریشه و برگ‌ها در مرحله ظهور سنبله افزایش یافت، اما متوسط غلظت عناصر در برگ‌ها به استثنای Cu، در مرحله رسیدن کاهش یافت. Hosseini et al. (2005) گزارش کردند که مصرف Zn باعث افزایش معنی‌دار تعداد پنجه، عملکرد ماده خشک و غلظت Zn، B و K در بخش هوایی برنج رقم قصرالدشتی گردید. غلظت P با مصرف Zn کاهش قابل توجهی یافت ولی غلظت Fe تحت تأثیر قرار نگرفت. Auda and Ali (2010) اثرات سمّیت Cd و Zn بر رشد و تغذیه معدنی هویج را مطالعه و گزارش کردند که افزودن Cd در سطوح بالا، باعث افزایش معنی‌دار غلظت P در بخش‌هوایی و ریشه‌های هویج شد اما در سطح $mg\ Cd\ kg^{-1}$ ۱۰ غلظت P کاهش یافت.

با توجه به محدودیت منابع آبی و لزوم تأمین مواد غذایی برای جمعیت رو به رشد کشور، به تولید برنج به صورت غیرغرقاب باید توجه ویژه نمود و در این میان مطالعه برهمکنش عناصر با تغییر شرایط رطوبتی در ارقام مختلف بومی و وارداتی از اهمیت خاصی برخودار است. با توجه به مطالب مذکور این تحقیق با هدف بررسی اثر دو رقم برنج بومی و وارداتی (هاشمی و واندانا)، رژیم رطوبتی (غرقاب و اشباع متناوب)، سطوح Zn و Cd بر جذب و غلظت عناصر Fe، Mn، P و Cu ریشه‌ها و بخش هوایی برنج در شرایط غرقاب و غیرغرقاب انجام شد.

مواد و روش‌ها

برای انجام این تحقیق یک خاک لوم رسی با این هدف که مقدار Zn و Cd آن کم باشد، انتخاب و به گلخانه گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز منتقل گردید. نمونه خاک پس از هوا خشک شدن، کوبیده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. سپس بافت خاک به روش هیدرومتر چهار زمانه (Klute, 1986)، pH در سوسپانسیون ۱:۱ خاک و آب مقطر (Richards, 1969)، قابلیت هدایت الکتریکی (EC) در عصاره سوسپانسیون ۱:۱ خاک و آب مقطر (Gupta, 2000)، ماده آلی به روش والکلی- بلک (Nelson and Sommers, 1982)، کربنات کلسیم معادل (CCE) به روش خنثی کردن با اسید کلریدریک و تیتر کردن با سود (Soil Conservation Service, 1992)، سدیم و پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم (Jones, 2001)، P با روش اولسن (Olsen et al., 1954)، Fe، Mn، Cu، Zn و Cd قابل‌استخراج با DTPA (Lindsay and Norvell, 1978) تعیین گردید. سپس خاک با سه سطح Cd (۰، ۵ و۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک از منبع نیترات کادمیوم) تیمار شد و سه بار چرخه خشک و مرطوب شدن تا رطوبت ظرفیت مزرعه (FC) اعمال گردید. سپس سه سطح Zn (۰، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک از منبع نیترات روی) به همراه سایر عناصر مورد نیاز (N وP) مطابق آزمون خاک به گلدان‌ها افزوده شد (جدول ۱). برای این منظور به هر کیلو گرم خاک گلدان میزان ۴۵۰ میلی گرم اوره و ۶۶ میلی گرم CaHPO4 افزوده شد. جهت حذف اثر نیترات همراه معادل آن اوره به گلدان‌ها داده شد. گلدان‌ها به مدت دو هفته در شرایط غرقاب و غیرغرقاب (اشباع متناوب) قرار گرفتند، سپس برنج هاشمی (رقم غرقاب بومی) و واندانا (رقم غیرغرقاب) کشت شدند. در طول دوره رشد، گیاهان با آب مقطر آبیاری شدند. بعد از ۹۰ روز رشد نمونه‌های گیاهی برداشت شدند. سپس با آب مقطر شسته شده و بلافاصله در آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس خشک شدند. برای اندازه‌گیری عناصر Cu، Fe، Mn و P در نمونه‌های گیاهی از روش ترسوزانی استفاده گردید (Waling et al., 1989) و با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل Shimadzu (AA-6300) غلظت عناصر Cu، Fe و Mn اندازه‌گیری گردید. P به روش وانادو مولیبدوفسفریک اسید و با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (APEL, PD-303) در عصاره‌ها اندازه‌گیری شد. مقادیر جذب عناصر Cu، Fe و Mn و P به وسیله گیاه از حاصلضرب غلظت عنصر در ماده خشک گیاه محاسبه گردید. فاکتور انتقال (Translocation factor) از تقسیم غلظت فلز در بخش هوایی به غلظت فلز در ریشه‌های گیاه محاسبه شد. این فاکتور شاخصی است برای تعیین توانایی گیاه در انتقال فلزات از ریشه‌ها به بخش هوایی (Das and Maiti, 2007). رسم نمودارها با نرم افزار Excel و تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم افزار MSTATC و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

Archive of SID

www.SID.ir

نتایج و بحث

برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش در جدول (۱) ارائه شده است. همان طور که مشاهده می‌شود این خاک خنثی، غیر شور، آهکی، بافت نسبتاً ریز، ماده آلی کم، P کم، K، Mn و Cu قابل جذب کافی و Fe و Zn قابل جذب ناکافی می‌باشد.

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

کلاس بافتی	شن	رس	CCE	ماده آلی	N	pH	EC	Na	K	P	Fe	Mn	Cu	Zn	Cd
	(٪)					(۱:۱)	(dS m^{-1})	(mg kg^{-1})							
لوم رسی	۳۸/۵	۳۹	۱۵/۲	۱/۰۱	۰/۰۲	۷	۰/۴۷	۳۲۵/۷	۵۵۶/۴	۸/۷	۳/۹۸	۷/۰۱	۲/۲	۰/۵۲	۰/۰۴۲

غلظت P بخش هوایی: اثر رقم، رژیم رطوبتی، Zn و Cd مصرفی بر غلظت P بخش هوایی معنی‌دار بود (جدول ۲). با تغییر شرایط از غرقاب به غیرغرقاب در رقم هاشمی غلظت P بخش‌هوایی کاهش یافت اما در رقم واندانا تغییری نکرد. این موضوع نشان می‌دهد که احتمالاً غلظت P بخش‌هوایی رقم واندانا وابسته به شرایط رطوبتی نیست. غلظت P بخش‌هوایی در هر دو رژیم رطوبتی در رقم واندانا نسبت به هاشمی کمتر بود. Cherian et al. (1968) گزارش کردند که میزان جذب P و رشد گیاه برنج در شرایط غرقاب نسبت به شرایط غیرغرقاب، بیشتر بود. افزایش سطح Zn مصرفی در هر دو رقم و هر دو رژیم رطوبتی غلظت P بخش‌هوایی را ابتدا کاهش و سپس افزایش داد (جدول ۲). نتایج مشابه توسط Bybordi and Malakouti (2001) نیز گزارش گردیده‌است. کاهش غلظت Zn در گیاه برنج بر اثر سمّیت P توسط Fageria (2009) گزارش شده‌است. زمانی که خاک دارای P و Zn قابل استفاده کمی باشد، افزودن P باعث تحریک رشد و رقیق شدن غلظت Zn می‌شود. البته ممکن است کاهش غلظت Zn مربوط به اثر رقت نباشد بلکه ناشی از تغییر قابلیت استفاده Zn خاک بر اثر افزودن P باشد. ممکن است P مانع از انتقال Zn از ریشه‌ها به بخش هوایی شود. چون P، Zn را در ریشه‌ها از طریق فیتات روی غیرمتحرک می‌کند. همچنین کاتیون‌های همراه نمک‌های فسفاتی از جذب Zn جلوگیری می‌کنند. گزارش شده‌است که P باعث افزایش جذب Zn به اجزای خاک می‌شود (Aloway, 2008).

افزایش سطح Cd مصرفی در رقم واندانا غلظت P بخش هوایی را ابتدا افزایش و سپس کاهش داد که با نتایج Wang-da et al. (2009) مطابقت داشت اما در رقم هاشمی عکس این حالت اتفاق افتاد. با افزایش کادمیوم مصرفی در سطوح دوم و سوم Zn ابتدا غلظت P بخش‌هوایی افزایش و سپس کاهش یافت اما در سطح اول Zn ابتدا کاهش و سپس عدم تغییر معنی‌دار مشاهده گردید (شکل۱). نتایج مشابهی توسط Akay and Koleli (2007) گزارش شده‌است. دامنه کفایت غلظت P بخش هوایی برنج ۰/۱ تا ۰/۴ درصد ماده خشک گزارش شده‌است (Dobermann and Fairhurst, 2000). با توجه به جدول (۲)، در هر دو رقم و در هر دو رژیم رطوبتی غلظت P بخش هوایی بیش از دامنه مذکور بود.

مقدار P بخش هوایی: با تغییر رژیم رطوبتی از غرقاب به غیرغرقاب در هر دو رقم مقدار جذب P توسط بخش‌هوایی کاهش یافت. البته این کاهش در رقم هاشمی بیشتر بود. در شرایط غرقاب pH خاک به سمت ۷ میل می‌کند و حل‌پذیری ترکیبات P زیاد می‌شود و این نتیجه توسط بسیاری از محققان گزارش شده‌است (Cherian et al., 1968; Giordano and Mortvedt, 1972; Patrick et al., 1985; Najafi and Towfighi, 2007). در هر دو رقم با افزایش مقدار Zn مصرفی مقدار جذب P بخش هوایی افزایش یافت. این موضوع در هر دو رژیم رطوبتی در پاسخ به مصرف Zn مشاهده شد (جدول ۲). Giordano (1979) گزارش کرد که جذب P در شرایط غرقاب و غیرغرقاب در گیاه برنج تحت تأثیر مصرف Zn قرار نگرفت اما Fageria (2009) بر همکنش آنتاگونیسمی Zn و P را گزارش کرده‌است. در هر دو رقم برنج با افزایش سطوح Cd مقدار P بخش‌هوایی ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. این نتیجه نشان می‌دهد که اثر آنتاگونیسمی Cd و P در سطوح بالای Cd قابل مشاهده است. با افزایش Cd مصرفی در هر سطح Zn میزان جذب P بخش‌هوایی ابتدا افزایش سپس کاهش یافت. البته با افزایش مقدار Zn مصرفی میزان جذب P بخش‌هوایی افزایش یافت (شکل ۲). افزایش میزان جذب P بخش هوایی در سطح دوم Cd احتمالاً به دلیل تأثیر نیترات همراه است. البته افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی گیاه و به دنبال آن افزایش قابلیت جذب عناصر نیز قابل اغماض نیست اما در سطح سوم، Cd اثر مضر خود را بر جذب این عناصر می‌گذارد.

غلظت P ریشه: اثر رقم، رژیم رطوبتی، Zn و Cd بر غلظت P بخش هوایی معنی‌دار بود (جدول ۲). با تغییر رژیم رطوبتی از غرقاب به غیرغرقاب در هر دو رقم غلظت P ریشه‌ها کاهش یافت. با افزایش سطوح Zn مصرفی در هر دو رقم و هر دو رژیم رطوبتی غلظت P ریشه ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت (جدول ۲) که با نتایج Hosseini et al. (2005) مطابقت داشت. در رقم واندانا با افزایش Cd مصرفی میزان P ریشه ابتدا

Archive of SID
www.SID.ir

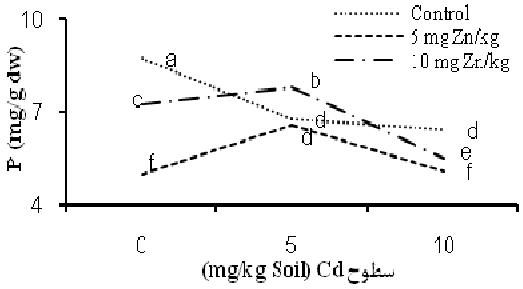
افزایش و سپس تغییر معنی‌داری نکرد. در رقم هاشمی افزایش سطح Cd ابتدا تأثیر معنی‌داری بر غلظت P ریشه نداشت ولی سپس آن را کاهش داد. همچنین با افزایش سطوح Cd مصرفی در شرایط غرقاب غلظت P ریشه ابتدا تحت تأثیر قرار نگرفت اما بعد افزایش یافت. در شرایط غیرغرقاب غلظت P ریشه ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت (جدول ۲). با افزایش سطوح Cd مصرفی در سطح دوم Zn ابتدا غلظت P ریشه افزایش و سپس کاهش یافت اما در سطوح اول و سوم Zn با افزایش Cd مصرفی غلظت P ریشه ابتدا کاهش و سپس بدون تغییر باقی ماند (شکل ۳).

جدول۲- غلظت و مقدار P بخش هوایی و ریشه‌های برنج در سطوح مختلف Zn و Cd در دو رژیم رطوبتی

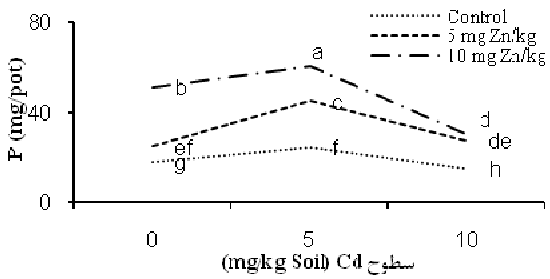
تیمار		بخش هوایی								ریشه‌ها							
$Zn(NO_3)_2$	$Cd(NO_3)_2$	غرقاب		غیرغرقاب		غرقاب		غیرغرقاب		غرقاب		غیرغرقاب		غرقاب		غیرغرقاب	
(mg kg^{-1})		V	H	V	H	V	H	V	H	V	H	V	H	V	H	V	H
		P(mg g^{-1})				P(mg pot^{-1})				P(mg g^{-1})				P(mg pot^{-1})			
۰		۹/۲	۱۳/۵	۴/۲	۸/۲	۸/۳	۳۷/۸	۷/۸	۱۸/۶	۵/۱	۹/۸	۶/۳	۶/۳	۲/۷	۴/۴	۱/۴	۲/۴
۵	۰	۳/۸	۱۱/۶	۴/۲	۷/۶	۱۰/۹	۵۹/۹	۸/۲	۱۹/۴	۵/۲	۷/۷	۴/۷	۷/۴	۳/۱	۷/۷	۱/۴	۳/۰
۱۰		۱۰/۸	۶/۳	۳/۹	۴/۷	۱۵/۹	۳۰/۱	۱۰/۲	۴/۵	۶/۳	۷/۶	۴/۹	۵/۵	۲/۷	۸/۶	۱/۵	۰/۶
۰		۴/۱	۶/۹	۴/۵	۴/۵	۲۷/۵	۴۸/۸	۱۰/۵	۱۲/۳	۶/۴	۱۰/۹	۵/۲	۵/۸	۷/۳	۳۹/۱	۲/۶	۵/۳
۵	۵	۴/۴	۱۲/۵	۴/۴	۵/۱	۴۴/۲	۹۸/۵	۱۹/۹	۱۷/۸	۸/۲	۹/۵	۷/۸	۸/۳	۲۷/۸	۲۳/۴	۱۰/۵	۲/۵
۱۰		۴/۸	۴/۷	۶/۱	۴/۸	۳۰/۰	۴۰/۱	۳۴/۸	۵/۰	۹/۹	۸/۴	۶/۰	۵/۳	۳۷/۸	۲۵/۳	۱۳/۱	۰/۶
۰		۴/۴	۱۰/۹	۷/۵	۶/۲	۴۷/۶	۸۱/۷	۶۵/۲	۱۰/۲	۶/۱	۸/۰	۷/۱	۵/۲	۱۷/۰	۱۳/۰	۲۲/۱	۱/۲
۵	۱۰	۳/۹	۱۲/۷	۹/۵	۵/۰	۴۷/۶	۸۵/۱	۷۳/۲	۳۶/۶	۵/۹	۸/۱	۶/۶	۴/۳	۲۵/۹	۲۶/۸	۳۵/۶	۷/۶
۱۰		۴/۶	۷/۸	۴/۲	۵/۵	۳۹/۰	۵۴/۶	۱۸/۹	۱۰/۰	۶/۵	۷/۹	۴/۶	۵/۶	۲۰/۱	۱۲/۱	۱/۵	۱/۶
۰/۰۵LSD		۰/۱۲		۰/۶۶		۰/۱۰۳		۰/۱۹									
A		**		**		**		**									
B		**		**		**		**									
C		**		**		**		**									
D		**		**		**		**									
B×A		**		**		**		**									
C×A		**		**		**		**									
C×B		*		**		**		**									
D×A		**		**		**		**									
D×B		ns		ns		**		**									
D×C		**		**		**		**									
C×B×A		**		**		**		**									
D×B×A		**		**		ns		**									
D×C×A		**		**		**		**									
D×C×B		**		**		**		**									
D×C×B×A		**		**		**		**									

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

A،B، C و D به ترتیب رقم برنج، رژیم رطوبتی، سطوح روی و کادمیوم می باشند. V، رقم واندنا و H، رقم هاشمی می‌باشد

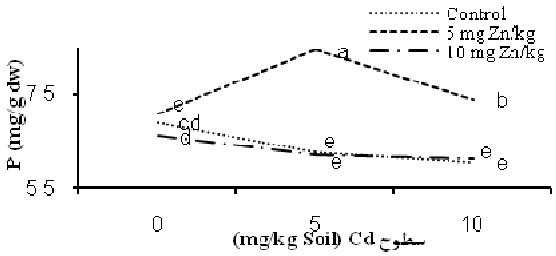


شکل ۱- بر همکنش سطوح Zn و Cd بر غلظت P بخش هوایی

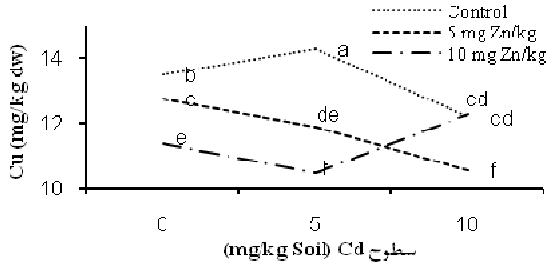


شکل ۲- بر همکنش سطوح Zn و Cd بر مقدار P بخش هوایی

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۳- بر همکنش سطوح Zn و Cd بر غلظت P ریشه



شکل۴- بر همکنش سطوح Zn و Cd بر غلظت Cu بخش هوایی

مقدار P ریشه: با تغییر شرایط رطوبتی از غرقاب به غیر-غرقاب در هر دو رقم مورد آزمایش میزان جذب P توسط ریشه کاهش یافت که این کاهش در رقم هاشمی بیشتر بود. با افزایش سطوح Zn در رقم هاشمی مقدار جذب P توسط ریشه‌ها ابتدا افزایش سپس کاهش یافت. اما در رقم واندانا با افزایش سطوح Zn مصرفی میزان جذب P ریشه تا سطح سوم افزایش یافت. در شرایط غرقاب افزایش Zn مصرفی میزان P ریشه را ابتدا افزایش و سپس کاهش داد. در شرایط غیرغرقاب با مصرف Zn میزان جذب P ریشه ابتدا افزایش و سپس ثابت ماند (جدول۲) که با نتایج Fageria (2009) مطابقت داشت. در غلظت‌های پایین Zn، معمولاً جذب P بر اثر آسیب دیدن غشای سلولی ریشه‌ها افزایش می‌یابد که باعث شدیدتر شدن کمبود Zn می‌شود. تأثیر سطوح Cd مصرفی بر مقدار P ریشه در رقم هاشمی ابتدا مثبت اما سپس منفی و معنی‌دار بود. اما در رقم واندانا این پارامتر ابتدا تغییر معنی‌داری نکرد و سپس کاهش یافت. در رژیم رطوبتی غرقاب ابتدا با مصرف Cd میزان جذب P ریشه ابتدا افزایش و سپس تغییر نکرد. در شرایط غیرغرقاب میزان جذب P ریشه ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت (جدول ۲). با افزایش Cd مصرفی در سطح دوم Zn تغییر معنی‌داری در میزان جذب P ریشه مشاهده نشد اما در سطح اول و سوم Zn ابتدا مقدار P ریشه افزایش و سپس کاهش یافت.

غلظت Cu بخش هوایی: اثر رقم، رژیم رطوبتی، Zn و Cd بر غلظت Cu بخش هوایی معنی‌دار بود (جدول ۳). با تغییر رژیم رطوبتی از غرقاب به غیرغرقاب غلظت Cu بخش هوایی در هر دو رقم برنج افزایش یافت (جدول ۳). پاسخ ارقام به مصرف Zn از نظر غلظت Cu متفاوت بود به طوری که با مصرف Zn در رقم واندانا غلظت Cu بخش هوایی کاهش یافت اما در رقم هاشمی ابتدا تغییر معنی‌داری نکرد و سپس افزایش یافت. Cu و Zn برای ناقل‌های مشابه روی سطوح غشای سلولی با هم رقابت می‌کنند و هم این که Cu از تحرک دوباره Zn در داخل گیاه تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Fageria, 2009). در مورد مصرف Cd نیز تقریباً نتیجه مشابهی حاصل شد. نتایج مشابهی توسط Bingham et al. (1976) و Wand-da et al. (2009) گزارش شده است. بر همکنش Zn و Cd در مورد غلظت Cu بخش هوایی معنی‌دار بوده و با مصرف Cd در سطح اول Zn ابتدا غلظت Cu بخش هوایی افزایش و سپس کاهش یافت. غلظت Cu بخش هوایی در سطح دوم Zn کاهش و در سطح سوم Zn ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت اما به طور کلی با مصرف Zn غلظت Cu بخش هوایی کاهش یافت (شکل ۴) که با نتایج Koleli et al. (2004) مطابقت داشت. فلزات سنگین درر غلظت‌های پایین منجر به افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی گیاه و قابلیت جذب عناصر می‌شوند اما در سطوح بالا جذب عناصر غذایی رامختل می‌کنند (Barcelò and Poschenrieder, 2002). دامنه کفایت غلظت Cu بخش هوایی برنج ۷ تا ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک گزارش شده‌است (Dobermann and Fairhurst, 2000). با توجه به جدول (۳)، در هر دو رقم و در هر دو رژیم رطوبتی غلظت Cu بخش هوایی در حد بهینه بود.

مقدار Cu بخش هوایی: با تغییر الگوی رطوبتی از غرقاب به غیرغرقاب مقدار Cu بخش هوایی کاهش یافت. با مصرف Zn در هر دو رقم مقدار Cu بخش هوایی افزایش یافت. با مصرف Cd در هر دو رقم و رژیم رطوبتی ابتدا مقدار Cu بخش هوایی افزایش و سپس کاهش یافت. بر همکنش Cd و Zn در مورد این صفت معنی‌دار نشد. با مصرف Cd در سطوح اول و دوم Zn غلظت Cu ریشه کاهش یافت. مقدار Cu بخش هوایی در سطح سوم Zn ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت (جدول۳). در غلظت‌های پایین Zn، تأثیر Cd بر میزان جذب عناصر بیشتر است اما وقتی مقدار Zn مصرفی بالا باشد از تأثیر سوء Cd بر جذب عناصر غذایی جلوگیری می‌کند (Koleli et al., 2004).

غلظت Cu ریشه: با تغییر رژیم رطوبتی از غرقاب به غیرغرقاب در رقم واندانا غلظت Cu ریشه تغییر معنی‌داری نکرد اما در رقم هاشمی افزایش یافت. درهر دو رقم با مصرف Zn ابتدا غلظت Cu ریشه کاهش و سپس افزایش یافت. با مصرف Cd در هر دو رقم و رژیم رطوبتی غلظت Cu ریشه کاهش یافت (جدول۳). با مصرف Cd در سطح اول Zn ابتدا غلظت Cu کاهش و سپس تغییر معنی‌داری نکرد. در سطح دوم Zn کاهش یافت و در سطح سوم Zn غلظت Cu ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت (شکل ۵).

Archive of SID

www.SID.ir

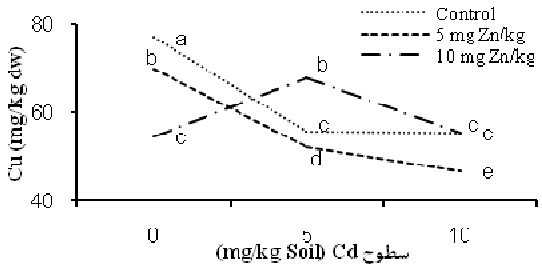
جدول۳- غلظت و مقدار Cu بخش هوایی و ریشه‌های برنج در سطوح مختلف Zn و Cd در دو رژیم رطوبتی

تیمار		بخش هوایی								ریشه‌ها							
$Cd(NO_3)_2$	$Zn(NO_3)_2$	غرقاب		غیرغرقاب		غرقاب		غیرغرقاب		غرقاب		غیرغرقاب		غرقاب		غیرغرقاب	
(mg kg^{-1})		V	H	V	H	V	H	V	H	V	H	V	H	V	H	V	H
		Cu(mg kg^{-1})				Cu(mg pot^{-1})				Cu(mg kg^{-1})				Cu(mg pot^{-1})			
۰		۱۴/۹	۱۰/۵	۱۴/۱	۱۴/۶	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۸۲/۰	۶۸/۰	۹۳/۶	۶۵/۱	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۲
۵	۰	۱۷/۰	۸/۸	۱۵/۸	۱۵/۷	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۴	۵۰/۵	۵۰/۳	۵۷/۷	۶۴/۰	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۲
۱۰		۱۵/۷	۷/۰	۱۲/۵	۱۴/۰	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۱	۵۰/۱	۵۱/۳	۴۷/۵	۷۲/۶	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۰۱
۰		۱۴/۴	۶/۲	۱۴/۸	۱۵/۶	۰/۱	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۴	۸۵/۴	۵۳/۳	۷۸/۲	۶۳/۲	۰/۱	۰/۱۹	۰/۰۴	۰/۰۶
۵	۵	۷/۸	۱۳/۰	۱۳/۹	۱۲/۴	۰/۰۸	۰/۱	۰/۰۶	۰/۰۴	۴۳/۵	۳۹/۶	۶۰/۲	۶۵/۷	۰/۱۵	۰/۱	۰/۰۸	۰/۰۲
۱۰		۶/۷	۱۳/۰	۱۰/۷	۱۱/۹	۰/۰۴	۰/۱۱	۰/۰۶	۰/۰۱	۵۱/۲	۳۵/۵	۴۷/۵	۵۳/۲	۰/۲	۰/۱۱	۰/۱	۰/۰۱
۰		۱۲/۷	۹/۹	۸/۷	۱۵/۶	۰/۱۴	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۲	۴۵/۶	۵۴/۰	۷۰/۰	۴۹/۰	۰/۱۲	۰/۰۹	۰/۲۲	۰/۰۱
۵	۱۰	۷/۷	۱۰/۹	۱۱/۳	۱۲/۱	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۰۹	۰/۰۹	۹۲/۴	۵۸/۲	۵۵/۳	۶۵/۴	۰/۴	۰/۱۹	۰/۳	۰/۱۲
۱۰		۹/۱	۱۵/۹	۱۳/۲	۱۱/۰	۰/۰۸	۰/۱۱	۰/۰۶	۰/۰۲	۶۵/۸	۵۱/۷	۵۶/۷	۴۷/۴	۰/۲	۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۰۱
۰/۰۵LSD		۱/۰۱				۰/۰۲				۰/۲۹				۰/۰۳			
A		ns				**				**				**			
B		**				**				**				**			
C		**				**				**				**			
D		**				**				**				**			
B×A		**				**				**				**			
C×A		**				**				**				**			
C×B		**				**				**				**			
D×A		**				**				*				*			
D×B		**				**				**				**			
D×C		**				ns				**				**			
C×B×A		**				ns				**				ns			
D×B×A		**				**				**				ns			
D×C×A		**				ns				**				**			
D×C×B		**				**				**				**			
D×C×B×A		**				**				**				**			

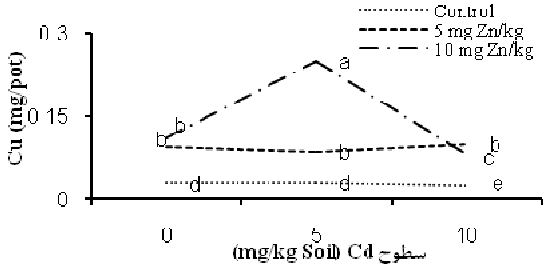
ns، * و ** به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

A،B، Cو D به ترتیب رقم برنج، رژیم رطوبتی، سطوح روی و کادمیوم می باشند.V ، رقم واندنا و H، رقم هاشمی می‌باشد

Archive of SID



شکل۵- بر همکنش سطوح Zn و Cd بر غلظت Cu ریشه



شکل۶- بر همکنش سطوح Zn و Cd بر مقدار Cu ریشه

مقدار Cu ریشه: اثر رقم، رژیم رطوبتی، Zn و Cd بر مقدار Cu ریشه معنی‌دار بود (جدول ۳). با تغییر رژیم رطوبتی از غرقاب به غیرغرقاب مقدار Cu ریشه کاهش یافت. با مصرف Zn در هر دو رژیم رطوبتی مقدار Cu ریشه افزایش یافت. با مصرف Cd در هر دو رقم و رژیم رطوبتی ابتدا مقدار Cu ریشه افزایش و سپس کاهش یافت. بر همکنش Cd و Zn در مورد این صفت معنی‌دار شد و با مصرف Cd در سطح سوم Zn ابتدا مقدار Cu ریشه افزایش و سپس کاهش یافت. به عبارت دیگر تأثیر Cd بر مقدار جذب این عنصر در ریشه در سطوح بالای Zn (10 mg kg^{-1}) معنی‌دار بود (شکل ۶).

www.SID.ir

جدول۴- غلظت و مقدار Fe بخش هوایی و ریشه‌های برنج در سطوح مختلف Zn و Cd در دو رژیم رطوبتی

تیمار		بخش هوایی								ریشه‌ها							
$Cd(NO_3)_2$	$Zn(NO_3)_2$	غرقاب		غیرغرقاب		غرقاب		غیرغرقاب		غرقاب		غیرغرقاب		غرقاب		غیرغرقاب	
(mg kg^{-1})		V	H	V	H	V	H	V	H	V	H	V	H	V	H	V	H
		Fe(mg kg^{-1})				Fe(mg pot^{-1})				Fe(mg kg^{-1})				Fe(mg pot^{-1})			
۰		۴۱۵/۷	۲۵۴/۲	۴۹۱/۳	۳۳۶/۰	۰/۴	۰/۷	۰/۹	۰/۸	۱۱۵۱۰/۵	۱۱۸۶۱/۱	۵۲۰۶/۲	۹۶۶۳/۸	۶/۰	۵/۳	۱/۱	۳/۷
۵	۰	۴۰۴/۰	۲۵۵/۳	۲۱۷/۶	۳۳۸/۴	۱/۲	۱/۳	۰/۴	۰/۸	۱۲۰۵۰/۵	۱۰۱۸۵/۵	۳۶۱۱/۸	۴۳۶۸/۳	۷/۱	۱۰/۰	۱/۱	۱/۷
۱۰		۴۳۵/۲	۲۴۴/۳	۳۶۱/۵	۳۴۷/۳	۰/۶	۱/۲	۰/۹	۰/۳	۱۱۴۹۸/۵	۶۴۶۱/۴	۲۵۶۳/۳	۳۳۷۳/۲	۴/۹	۷/۴	۰/۸	۰/۴
۰		۳۴۲/۰	۲۳۴/۰	۲۵۳/۷	۲۲۴/۸	۲/۳	۱/۶	۰/۶	۰/۶	۱۴۵۱۸/۱	۵۵۰۱/۴	۴۳۱۹/۸	۶۴۴۹/۱	۱۶/۴	۱۹/۷	۲/۲	۵/۹
۵	۵	۳۵۳/۷	۲۴۷/۲	۱۹۷/۲	۳۵۲/۶	۳/۵	۲/۰	۰/۹	۱/۲	۹۷۱۹/۱	۵۴۶۹/۴	۴۵۴۵/۱	۴۳۷۰/۳	۳۲/۹	۱۳/۵	۶/۳	۱/۳
۱۰		۲۳۵/۵	۲۰۸/۹	۵۵/۹	۵۱۸/۹	۱/۶	۱/۸	۰/۳	۰/۵	۱۱۲۱۰/۹	۷۰۸۱/۸	۴۷۴۳/۳	۳۳۸۶/۰	۴۲/۹	۲۱/۳	۱۰/۴	۰/۴
۰		۴۴۸/۴	۲۳۷/۰	۳۴۲/۳	۴۹۹/۶	۴/۹	۱/۸	۳/۰	۰/۸	۱۱۵۲۷/۱	۷۷۳۴/۹	۶۴۳۹/۰	۴۴۶۱/۶	۳۱/۹	۱۲/۶	۲۰/۰	۱/۰
۵	۱۰	۲۸۳/۸	۲۷۱/۶	۱۷۶/۱	۳۵۱/۸	۳/۵	۱/۸	۱/۴	۲/۶	۵۷۰۹/۴	۷۷۲۱/۰	۵۵۵۷/۳	۵۳۷۷/۸	۲۵/۰	۲۵/۶	۲۹/۸	۹/۷
۱۰		۱۶۹/۸	۲۳۸/۳	۲۵۴/۸	۴۴۷/۷	۱/۵	۱/۷	۱/۱	۰/۸	۱۱۳۳۵/۳	۴۵۰۰/۰	۲۴۵۴/۰	۶۶۰۴/۴	۳۵/۲	۶/۸	۰/۸	۱/۹
۰/۰۵LSD		۴۶/۹۷		۰/۱۳				۲/۷۲				۰/۵۴					
A		ns		**				**				**					
B		**		**				**				**					
C		**		**				**				**					
D		**		**				**				**					
B×A		**		**				**				ns					
C×A		**		**				**				**					
C×B		**		**				**				**					
D×A		**		**				**				**					
D×B		**		ns				**				**					
D×C		**		**				**				**					
C×B×A		**		**				**				ns					
D×B×A		**		**				**				**					
D×C×A		**		**				**				**					
D×C×B		**		**				**				**					
D×C×B×A		**		*				**				**					

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

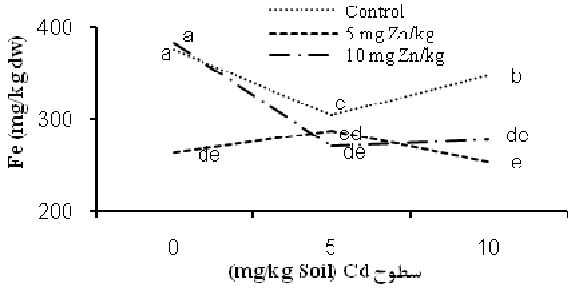
A،B، Cو D به ترتیب رقم برنج، رژیم رطوبتی، سطوح روی و کادمیوم می باشند.V ، رقم واندنا و H، رقم هاشمی می‌باشد

غلظت Fe بخش هوایی: اثر رقم، رژیم رطوبتی، Zn و Cd مصرفی بر غلظت Fe بخش هوایی معنی‌دار بود (جدول ۴). با تغییر رژیم رطوبتی از غرقاب به غیرغرقاب غلظت Fe بخش هوایی در رقم واندانا کاهش اما در رقم هاشمی افزایش یافت. این موضوع نشان می‌دهد که پاسخ دو رقم به تغییر رژیم رطوبتی در مورد این صفت متفاوت است. نتایج مشابهی توسط Bingham et al. (1976) نیز گزارش شده است. با مصرف Zn غلظت Fe بخش هوایی ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. Reddy (1982) بیان کرد که مصرف Zn انتقال Fe به بخش هوایی را در برنج کاهش نداد. در شرایط غرقاب ممکن است به دلیل افزایش غلظت Fe، غلظت این عنصر تحت تأثیر مصرف Zn قرار نگیرد. با مصرف Cd غلظت Fe بخش هوایی ابتدا کاهش و سپس تغییر معنی‌داری نکرد که با نتایج Bingham et al. (1976) مطابقت داشت. Wang-da et al. (2009) گزارش کردند که با مصرف Cd، غلظت Zn، Fe و Mn کاهش یافت. Cd با تغییر نفوذپذیری غشای پلاسمایی جذب و تجمع عناصر غذایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و منجر به کمبود یا اختلال عناصر غذایی می‌شود (Wang-da et al., 2009). Fageria (2009) گزارش کرد که قابلیت جذب Fe توسط برنج در حضور P، Zn، Cu و Mn کاهش می‌یابد. جلوگیری از جذب Fe توسط P ممکن است مربوط به رقابت آن با ریشه برای Fe^{2+} و جلوگیری از احیای Fe^{3+} در محلول باشد. جذب N به شکل NO_3^- نیز به دلیل افزایش pH، حل پذیری و جذب Fe را کاهش می‌دهد (Fageria, 2009). بر همکنش Cd و Zn بر غلظت Fe بخش هوایی معنی‌دار بود و با مصرف Cd در سطح اول Zn ابتدا غلظت Fe بخش هوایی کاهش و سپس افزایش یافت. غلظت Fe بخش

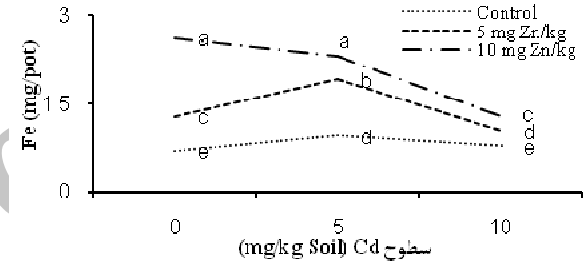
Archive of SID

www.SID.ir

هوایی در سطح دوم Zn ابتدا بدون تغییر و سپس کاهش یافت و در سطح سوم Zn ابتدا کاهش و سپس بدون تغییر باقی ماند (شکل ۷). دامنه کفایت غلظت Fe بخش هوایی برنج ۱۰۰-۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک می‌باشد (Dobermann and Fairhurst, 2000). با توجه به جدول (۴)، غلظت Fe بخش هوایی در هر دو رقم به رغم آهکی بودن خاک مور آزمایش بیش از دامنه کفایت بود.



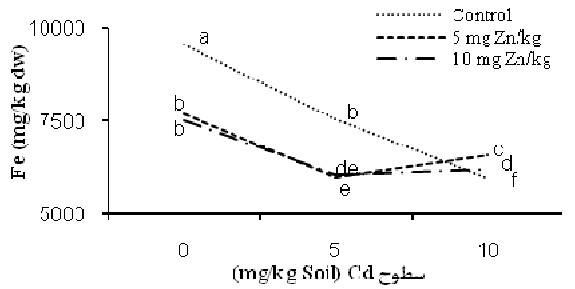
شکل ۷- بر همکنش سطوح Zn و Cd بر غلظت Fe بخش هوایی



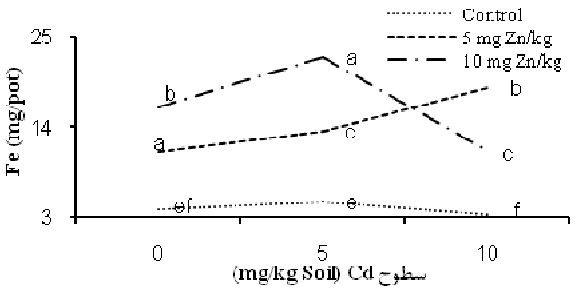
شکل ۸- بر همکنش سطوح Zn و Cd بر مقدار Fe بخش هوایی

مقدار Fe بخش هوایی: با تغییر شرایط رطوبتی از غرقاب به غیرغرقاب مقدار Fe بخش هوایی در هر دو رقم کاهش یافت که مورد انتظار بود (جدول ۴). چون با تغییر رژیم رطوبتی با افزایش pH حل پذیری ترکیبات آهن کاهش می‌یابد (Fageria, 2009). مصرف Zn این پارامتر را در هر دو رقم و هر دو رژیم رطوبتی افزایش داد. شاید دلیل این امر افزایش رشد ریشه‌ها و امکان جذب بیشتر Fe باشد. مصرف Cd مقدار Fe بخش هوایی را در هر دو رقم و رژیم رطوبتی ابتدا افزایش و سپس کاهش داد. مصرف Cd در سطوح اول و دوم Zn ابتدا مقدار Fe بخش هوایی را افزایش و سپس کاهش داد. در سطح سوم Zn ابتدا این پارامتر بدون تغییر و سپس کاهش یافت (شکل ۸). بر همکنش Fe و Zn از نظر اثر بر غلظت هر یک آنها در بخش هوایی معمولاً آنتاگونیستی است. فقط زمانی سینرژیستی است که Zn و P در ریشه‌ها باعث رسوب $FePO_4$ در ریشه می‌شود که باعث افزایش جذب Fe می‌شود (Kabata-Pendias, A and Pendias, 2001).

غلظت Fe ریشه: اثر رقم، رژیم رطوبتی، Zn و Cd مصرفی بر غلظت Fe ریشه معنی‌دار بود (جدول ۴). غلظت Fe ریشه در هر دو رقم با تغییر رژیم رطوبتی کاهش یافت (جدول ۴). مصرف Zn غلظت Fe ریشه را ابتدا کاهش داد و سپس اثر معنی‌داری بر آن نداشت. مصرف Cd در هر دو رژیم رطوبتی غلظت Fe ریشه را کاهش داد. مصرف Cd در سطح اول Zn غلظت Fe ریشه را کاهش و در سطح دوم Zn ابتدا آن را کاهش و سپس افزایش داد. غلظت Fe ریشه در سطح سوم Zn ابتدا کاهش یافت و سپس بدون تغییر ماند (شکل ۹). Koleli et al. (2004) گزارش کردند که مصرف Cd غلظت Fe و Cu را در شرایط کمبود Zn کاهش داد اما زمانی که Zn کافی بود، اثر معنی‌داری بر غلظت این عناصر نداشت. کاهش رشد گیاه با مصرف Cd همراه با افزایش غلظت سایر عناصر است (اثر تغلیظ). در شرایط کمبود Zn نسبت به شرایط Zn کافی غلظت Fe و Cu بیشتر بودند. این نتایج در رابطه با مسئله رقابت بین Zn، Fe و Cu برای جذب توسط ریشه‌ها و انتقال به بخش هوایی است. کاهش غلظت Fe و Cu در شرایط کمبود Zn و سمیت Cd احتمالاً به دلیل آسیب به ریشه‌ها است که بر اثر کمبود Zn و سمّیت Cd ایجاد می‌شود (Fageria, 2009). Savaghebi et al. (1381) گزارش کردند که غلظت Fe، Mn و Cu در دانه گندم با مصرف Cd و Zn کاهش یافت. اثر ضدیت بین Zn و Fe مربوط به اثر رقابتی این دو عنصر در محل جذب است ولی مطالعات انجام شده در محلول‌های کشت نشان می‌دهد که با افزایش غلظت Fe انتقال Zn در گیاه کاهش می‌یابد.



شکل ۹- بر همکنش سطوح Zn و Cd بر غلظت Fe ریشه



شکل ۱۰- بر همکنش سطوح Zn و Cd بر مقدار Fe ریشه

مقدار Fe ریشه: با مصرف Zn مقدار Fe ریشه افزایش یافت (جدول ۴). با مصرف Cd در هر دو رقم و رژیم رطوبتی

www.SID.ir

مقدار Fe ریشه ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. مصرف Cd در سطح اول Zn اثر معنی‌داری بر مقدار Fe ریشه نداشت. در سطح دوم Zn مقدار Fe ریشه را افزایش و در سطح سوم Zn ابتدا آن را افزایش و سپس کاهش داد (شکل ۱۰).

جدول ۵- غلظت و مقدار Mn بخش هوایی و ریشه‌های برنج در سطوح مختلف Zn و Cd در دو رژیم رطوبتی

تیمار		بخش هوایی								ریشه‌ها							
$Zn(NO_3)_2$	$Cd(NO_3)_2$	غرقاب		غیرغرقاب		غرقاب		غیرغرقاب		غرقاب		غیرغرقاب		غرقاب		غیرغرقاب	
($mg\ kg^{-1}$)		V	H	V	H	V	H	V	H	V	H	V	H	V	H	V	H
		Mn ($mg\ kg^{-1}$)				Mn ($mg\ pot^{-1}$)				Mn ($mg\ kg^{-1}$)				Mn ($mg\ pot^{-1}$)			
	۰	۸۷۲/۱	۵۶۳/۶	۴۵۱/۲	۵۰۵/۲	۰/۸	۱/۶	۰/۸	۱/۲	۲۶۵/۰	۳۴۷/۷	۵۰۳/۲	۳۶۴/۷	۰/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۱
۰	۵	۷۳۵/۱	۴۵۹/۸	۴۷۶/۱	۴۶۹/۵	۲/۱	۲/۴	۰/۹	۱/۲	۳۳۵/۴	۱۸۶/۱	۳۷۵/۷	۳۵۸/۹	۰/۲	۰/۲	۰/۱	۰/۱
	۱۰	۹۳۰/۱	۴۶۹/۴	۴۵۶/۴	۴۳۸/۵	۱/۴	۲/۲	۱/۲	۰/۴	۴۶۷/۸	۵۰۰/۶	۲۳۷/۵	۳۸۱/۱	۰/۲	۰/۶	۰/۰۷	۰/۰۴
	۰	۸۶۳/۶	۵۵۴/۱	۴۷۸/۰	۴۵۹/۴	۵/۸	۳/۹	۱/۱	۱/۳	۳۳۵/۶	۱۴۵/۷	۱۴۳/۰	۳۵۵/۳	۰/۴	۰/۵	۰/۰۷	۰/۳
۵	۵	۶۲۷/۵	۴۵۶/۲	۴۶۶/۵	۴۶۵/۶	۶/۲	۳/۶	۲/۱	۱/۶	۲۴۶/۱	۱۴۶/۲	۲۳۸/۶	۱۶۱/۶	۰/۸	۰/۴	۰/۳	۰/۰۵
	۱۰	۳۶۶/۸	۲۷۲/۰	۲۳۵/۹	۳۵۳/۷	۲/۳	۲/۳	۱/۳	۰/۴	۲۴۵/۱	۲۰۷/۴	۳۸۴/۱	۳۷۲/۱	۰/۹	۰/۶	۰/۹	۰/۰۵
	۰	۹۲۶/۸	۴۲۳/۶	۴۴۷/۵	۲۴۹/۶	۱۰/۰	۳/۲	۳/۹	۰/۴	۲۷۱/۲	۱۶۴/۵	۱۷۳/۴	۴۲۱/۷	۰/۸	۰/۳	۰/۵	۰/۱
۱۰	۵	۴۱۴/۷	۴۳۰/۹	۴۵۵/۷	۳۴۸/۸	۵/۰	۲/۹	۳/۵	۲/۶	۲۶۷/۹	۱۹۴/۸	۲۲۳/۹	۲۰۶/۷	۱/۲	۰/۷	۱/۲	۰/۴
	۱۰	۳۷۶/۰	۴۰۷/۲	۳۷۷/۰	۴۰۲/۰	۳/۲	۲/۸	۱/۷	۰/۷	۳۶۸/۴	۲۳۵/۰	۲۳۹/۵	۳۲۹/۳	۱/۱	۰/۴	۰/۱	۰/۱
۰/۰۵LSD		۰/۸۵				۰/۱۰۳				۳۳/۹				۰/۰۷			
A		**				**				**				**			
B		**				**				**				**			
C		**				**				**				**			
D		**				**				**				**			
B×A		**				**				**				ns			
C×A		**				**				**				**			
C×B		*				*				**				**			
D×A		**				**				**				**			
D×B		**				**				**				**			
D×C		**				**				*				**			
C×B×A		**				**				**				**			
D×B×A		**				**				**				ns			
D×C×A		**				**				**				**			
D×C×B		**				**				**				**			
D×C×B×A		**				**				**				**			

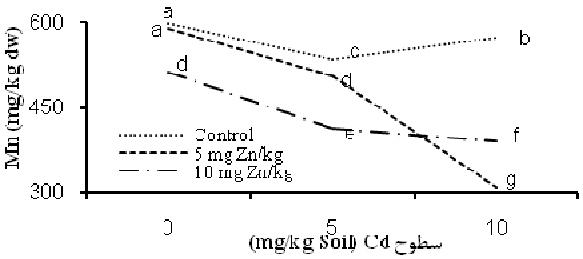
ns، * و ** به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

A،B، Cو D به ترتیب رقم برنج، رژیم رطوبتی، سطوح روی و کادمیوم می باشند.V ، رقم واندنا و H، رقم هاشمی می‌باشد

غلظت Mn بخش هوایی: با تغییر رژیم رطوبتی از غرقاب به غیرغرقاب غلظت Mn بخش هوایی در هر دو رقم برنج کاهش معنی‌دار یافت. نتایج مشابهی توسط Bingham et al. (1976) و Wang-da et al. (2009) نیز گزارش شده است. با مصرف Zn وCd غلظت Mn بخش هوایی کاهش یافت که با نتایج Faiziasl and Valizadeh (2004) مطابقت داشت. Ramachandran and D'Souza (2002) بر همکنش آنتاگونیسمی بین Mn و Cd را گزارش دادند در حالی که Chen et al. (2007) بر همکنش سینرژیسمی بین این عناصر گزارش کردند. رقابت Mn با Cd برای ناقل‌های مشابه در سطح غشای سلولی احتمالاً دلیل بر همکنش ضدیتی آنهاست (Sarwar et al., 2010). با مصرف Cd در سطح اول Zn ابتدا غلظت Mn بخش هوایی کاهش و سپس افزایش یافت. در سطوح دوم و سوم Zn این پارامتر کاهش یافت (شکل ۱۱). دامنه کفایت غلظت Mn بخش هوایی برنج ۱۵۰-۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک گزارش شده است (Dobermann and Fairhurst, 2000). با توجه به جدول (۵)، در هر دو رقم و در هر دو رژیم رطوبتی غلظت Mn بخش هوایی بالاتر از حد بهینه مذکور بود.

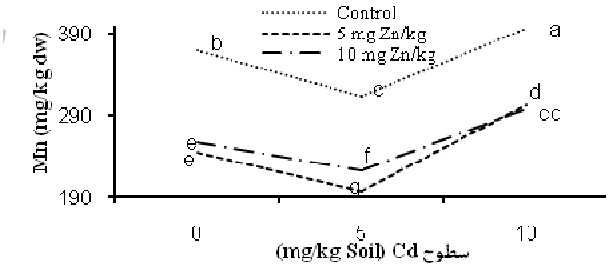
Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱۱- بر همکنش سطوح Zn و Cd بر غلظت Mn بخش هوایی

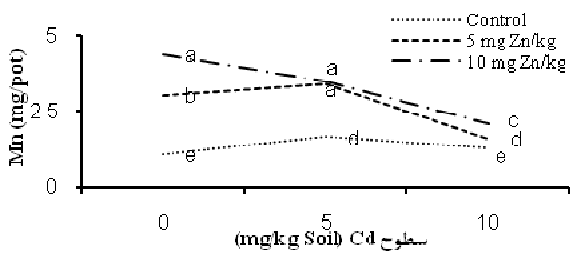
مقدار Mn بخش هوایی: با تغییر رژیم رطوبتی از غرقاب به غیرغرقاب مقدار Mn بخش هوایی در هر دو رقم برنج کاهش معنی‌دار یافت (جدول ۵). با مصرف Zn مقدار Mn بخش هوایی در هر دو رقم برنج و هر دو رژیم رطوبتی افزایش یافت. با مصرف Cd مقدار Mn بخش هوایی ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. بر همکنش Cd و Zn در مورد مقدار Mn بخش هوایی معنی‌دار بود و با مصرف Cd در سطوح اول و دوم Zn ابتدا مقدار Mn بخش هوایی افزایش و سپس کاهش یافت. در سطح سوم Zn این پارامتر ابتدا بدون تغییر بود و سپس کاهش معنی‌دار یافت (شکل ۱۲). ددر سطح دوم Cd به دلیل اثر نیترات همراه، میزان جذب Mn افزایشش یافته اما در سطح سوم Cd، این عنصر اثر منفی برجذب Mn داشت. همچنین جذب N به شکل



شکل ۱۳- بر همکنش سطوح Zn و Cd بر غلظت Mn ریشه

مقدار Mn ریشه: به طور کلی با مصرف Zn مقدار Mn ریشه ابتدا کاهش و سپس بدون تغییر ماند. با مصرف Cd مقدار Mn ریشه در هر دو رقم و هر دو رژیم رطوبتی ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. با مصرف Cd در سطح اول Zn مقدار Mn ریشه تغییر معنی‌داری نکرد. در سطح دوم ابتدا بدون تغییر ماند و سپس افزایش یافت. در سطح سوم ابتدا در مقدار Mn ریشه افزایش و سپس کاهش مشاهده شد (شکل ۱۴).

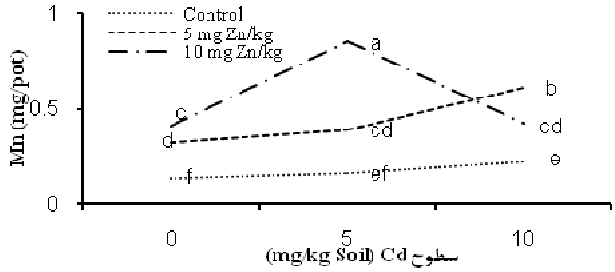
فاکتور انتقال: با تغییر رژیم رطوبتی از غرقاب به غیرغرقاب فاکتور انتقال P در رقم واندانا افزایش اما در رقم هاشمی کاهش یافت. ههمچنین در این شرایط فاکتور انتقال Fe در هر دو رقم افزایش یافت. این نتیجه نشان می‌دهد که انتقال Fe به بخش هوایی گیاه در شرایط غیرغرقاب نسبت به شرایط غرقاب بیشتر است. در هر دو رقم هاشمی و واندانا و هر دو رژیم



شکل ۱۲- بر همکنش سطوح Zn و Cd بر مقدار Mn بخش هوایی

نیترات می‌تواند اثرات مضر Cd را تاحدی کاهس دهد به دلیل این که با مکانیسم سمیت‌زدایی Cd را بیشتر در ریشه تجمع می‌دهد (Sarwar et al., 2010).

غلظت Mn ریشه: اثر رقم، رژیم رطوبتی، Zn و Cd بر غلظت Mn ریشه معنی‌دار بود (جدول ۵). با تغییر رژیم رطوبتی از غرقاب به غیرغرقاب غلظت Mn ریشه در رقم واندانا کاهش معنی‌دار اما در رقم هاشمی افزایش یافت. با مصرف Zn غلظت Mn ریشه ابتدا کاهش و سپس بدون تغییر ماند. با مصرف Cd غلظت Mn ریشه در هر دو رقم و هر دو رژیم رطوبتی ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت. با مصرف Cd در هر سطح Zn ابتدا غلظت Mn ریشه کاهش و سپس افزایش یافت (شکل ۱۳).



شکل ۱۴- بر همکنش سطوح Zn و Cd بر مقدار Mn ریشه

رطوبتی با افزایش سطوح Zn مصرفی فاکتور انتقال P و Fe ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت (جدول ۶). این نتیجه نشان می‌دهد که Zn در سطوح پایین از انتقال Fe و P به بخش هوایی جلوگیری کرده اما در سطح بالا چنین اثری ندارد. اما فاکتور انتقال Mn ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. با مصرف Zn ابتدا تغییری در فاکتور انتقال Cu مشاهده نشد و سپس کاهش یافت. در رقم واندانا با افزایش Cd مصرفی فاکتور انتقال P ابتدا کاهش اما بعد افزایش یافت. اما در رقم هاشمی نتیجه معکوس بود. این موضوع نشان دهنده‌ی تأثیر متفاوت رقم با مصرف Cd بر فاکتور انتقال P است. در شرایط غرقاب تأثیر Cd مصرفی بر فاکتور انتقال P ابتدا غیر معنی‌دار بود اما بعد آن را کاهش داد. در شرایط غیرغرقاب مصرف Cd اثر معنی‌داری بر این فاکتور نداشت. به طور کلی با مصرف Cd فاکتور انتقال Cu و Fe

Archive of SID

www.SID.ir

افزایش اما فاکتور انتقال Mn کاهش یافت. بر همکنش Zn و Cd در مورد فاکتور انتقال عناصر مورد مطالعه معنی‌دار شد (جدول ۶). به طور کلی تأثیر رقم، رژیم رطوبتی، سطوح Zn و Cd بر فاکتور انتقال عناصر P، Fe، Cu و Mn به عوامل ذکر شده بستگی دارد. میانگین فاکتور انتقال برای چهار عنصر مورد مطالعه به صورت زیر بود:

$$Fe=0.05 < Cu=0.21 < P=0.98 < Mn=1.91$$

بنابراین در شرایط این آزمایش هر دو رقم Mn را در بخش هوایی و Fe و Cu را در ریشه‌ها بیشتر انباشته می‌کند اما P تقریباً تحت تأثیر قرار نگرفت. همچنین از بین عناصر مورد مطالعه فقط فاکتور انتقال Mn در رقم واندانا بیشتر از هاشمی بود. نتایج نشان می‌دهد که در خاک‌های دارای مقادیر مشابهی از Cd و Zn انتقال عنصر کم مصرف مثل Fe به بخش هوایی کمتر می‌شود.

جدول۶- فاکتور انتقال عناصر P، Cu، Fe و Mn برنج در سطوح مختلف Zn و Cd در دو رژیم رطوبتی

تیمار		فاکتور انتقال P				فاکتور انتقال Cu				فاکتور انتقال Fe				فاکتور انتقال Mn			
		غرقاب		غیرغرقاب		غرقاب		غیرغرقاب		غرقاب		غیرغرقاب		غرقاب		غیرغرقاب	
$Zn(NO_3)_2$	$Cd(NO_3)_2$ (mg kg^{-1})	V	H	V	H	V	H	V	H	V	H	V	H	V	H	V	H
	۰	۱/۸	۱/۳۸	۰/۶۶	۱/۳	۰/۱۸	۰/۱۶	۰/۱۵	۰/۲۲	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۱	۰/۰۴	۳/۳	۱/۶	۰/۹	۱/۴
۰	۵	۰/۷	۱/۵	۰/۸۹	۱/۰۲	۰/۳۳	۰/۱۸	۰/۲۷	۰/۲۵	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۰۸	۲/۲	۲/۵	۱/۳	۱/۳
	۱۰	۱/۷	۰/۸۴	۰/۸۱	۰/۸۵	۰/۳۱	۰/۱۴	۰/۲۶	۰/۱۹	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۱۴	۰/۱	۲/۰	۰/۹	۱/۹	۱/۲
	۰	۰/۶	۰/۶۳	۰/۸۶	۰/۷۸	۰/۱۷	۰/۱۲	۰/۱۹	۰/۲۵	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۴	۲/۶	۳/۸	۳/۳	۱/۳
۵	۵	۰/۵	۱/۳۱	۰/۵۷	۰/۶۲	۰/۱۸	۰/۳۳	۰/۲۳	۰/۲	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۸	۲/۶	۳/۱	۲/۰	۲/۹
	۱۰	۰/۵	۰/۵۶	۱/۰۴	۰/۹	۰/۱۳	۰/۳۷	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۱۵	۱/۵	۱/۳	۰/۶	۱/۰
	۰	۰/۷	۱/۳۷	۱/۰۵	۱/۱۹	۰/۲۸	۰/۱۸	۰/۱۲	۰/۳۲	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۱۱	۳/۴	۲/۶	۲/۶	۰/۶
۱۰	۵	۰/۷	۱/۵۸	۱/۴۴	۱/۱۸	۰/۰۸	۰/۱۹	۰/۲	۰/۱۹	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۷	۱/۶	۲/۲	۲/۱	۱/۷
	۱۰	۰/۷	۰/۹۹	۰/۹۲	۰/۹۸	۰/۱۴	۰/۳۱	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۱	۰/۰۷	۱/۰	۱/۸	۱/۶	۱/۲
۰/۰۵LSD		۰/۰۵				۰/۰۳				۰/۰۲				۰/۰۹			
A		**				**				**				**			
B		**				**				**				**			
C		**				**				**				**			
D		**				**				**				**			
B×A		**				ns				**				ns			
C×A		**				**				**				**			
C×B		**				ns				**				**			
D×A		**				*				**				**			
D×B		**				**				**				**			
D×C		**				**				**				**			
C×B×A		**				**				**				**			
D×B×A		**				**				**				**			
D×C×A		**				**				**				**			
D×C×B		**				**				**				**			
D×C×B×A		**				**				**				**			

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

A،B، Cو D به ترتیب رقم برنج، رژیم رطوبتی، سطوح روی و کادمیوم می باشند.V ، رقم واندنا و H، رقم هاشمی می‌باشد

نتیجه گیری کلی

به طور کلی با تغییر رژیم رطوبتی از غرقاب به غیرغرقاب در هر دو رقم مورد آزمایش غلظت و مقدار P بخش هوایی و ریشه، غلظت و مقدار Mn بخش هوایی و مقدار Fe بخش هوایی کاهش یافت اما غلظت Cu بخش هوایی و ریشه افزایش یافت. مصرف Zn غلظت P بخش هوایی و ریشه و غلظت Fe بخش هوایی را ابتدا افزایش و سپس کاهش داد و غلظت Cu و Mn بخش هوایی کاهش یافت. مصرف Cd نیز مقدار Fe، Cu وP بخش هوایی را ابتدا افزایش و سپس کاهش و غلظت Fe و Cu ریشه را کاهش داد. رقم واندانا غلظت Fe و Mn بیشتری نسبت به رقم هاشمی داشت. غلظت P و Fe بخش هوایی در حد سمّیت گزارش شد. هر دو رقم برنج و در هر دو رژیم رطوبتی Fe و Cu را بیشتر در ریشه‌ها انباشته می‌کنند اما Mn را به بخش هوایی منتقل می‌کنند. تأثیر Cd و Zn در هر دو رقم و هر دو رژیم

Archive of SID
www.SID.ir

رطوبتی بر غلظت، مقدار و فاکتور انتقال عناصر مورد مطالعه متفاوت بود.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از پایان نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول بوده که بدین وسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تبریز بدلیل تأمین هزینه‌های لازم تقدیر و تشکر می‌گردد. همچنین بذور برنج از مؤسسه تحقیقات برنج کشور تهیه شده بود که از زحمات بی‌دریغ آقای دکتر دواتگر صمیمانه تشکر می‌شود. همچنین از کلیه داوران محترم این مقاله سپاسگذاریم.

REFERENCES

Akay, A. and Koleli, N. (2007). Interaction between cadmium and zinc in barley (*Hordeum Vulgare L.*) growth under field conditions. *Bangladesh Journal of Botany*, 36(1), 13-19.

Alloway, B. J. (2008) *Zinc in soils and crop nutrition* (2nd ed.). Published by IZA and IFA Brussels, Belgium and Paris, France.

Auda, M. A. and Ali, E. E. S. (2010). Cadmium and zinc toxicity effects on growth and mineral nutrients of carrot (*Daucus carata*). *Pakistan Jouranl of Botany*, 42(1), 341-351.

Barcelò, J. and Poschenrieder, C. (2002). Fast root growth responses, root exudates and internal detoxication as clues to the mechanisms of aluminium toxicity and resistance: A review. *Environmental and Experimental Botany*,48, 75-92.

Bingham, F. T., Page, A. L., Mahler, R. J. and Ganje, T. J. (1976). Cadmium availability to rice in sludge-amended soil under "flood" and "nonflood" culture. *Soil Science Society of American Journal*, 40, 715-719.

Bouman , B. A. M., Humphreys, E., Tuong, T. P. and Barker, R. (2007). Rice and Water. *Advances in Agronomy*, 92, 187-237.

Bybordi, A. and Malakouti, M. J. (2001). Effects of different levels of phosphorus and zinc on cadmium content of two potato varieties in Sarab, east Azarbyjan. http:// www.sid.ir. (In Farsi)

Chen, F., Dong, J., Wang, F., Wu, F., Zhang, G. and Li, G. (2007). Identification of barley genotypes with low grain Cd accumulation and its interactionwith fourmicroelements. *Chemosphere*, 67, 2082–2088.

Cherian, E. C., Paulsen, G. M. and Murphy, L. S. (1968). Nutrient uptake by lowland rice under flooded and nonflooded. *Agronomy Journal*, 60, 554-557.

Das, M., and Maiti, S. K. (2007). Metal accumulation in 5 native plants growing on abandoned CU-tailings ponds. *Applied Ecology and Environment Research*, 5(1), 27-35.

Dobermann, A. and Fairhurst, T. H. (2000). Rice (Nutrient Disorders & Nutrient Management). IRRI, Manila, Philippines.

Fageria, N. K. (2009) *The use of nutrients in crop plants*. CRC by Press Taylor & Francis Group, LLC. Fageria, N. K. and Baligar, V. C. (1997). Response of common bean, upland rice, corn, wheat, and soybean to soil fertility of an Oxisol. *Journal of Plant Nutrition*, 20(10), 1279-1289.

Fageria, N. K., Baligar, V. C. and Clark, R. B. (2002). Micronutrients in crop production . *Advances in Agronomy*, 77, 185-268.

Faiziasl, V. and Valizadeh, Gh. R. (2004). Effects of phosphorus and zinc fertilizer applications on nutrient concentrations in plant and grain yield in cv. Sardari «*Triticum Aestivum*» under dryland conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 6(3), 223-235. (In Farsi)

Giordano, P. M. (1979). Soil temperature and nitrogen effects on response of flooded and nonflooded rice to zinc. *Plant Soil*, 52, 365-372.

Giordano, P. M. and Mortvedt, J. J. (1972). Rice response to Zn in flooded and nonflooded soil. *Agronomy Journal*, 64, 521-524.

Gupta, P. K. (2000). *Soil, Plant, Water, and Fertilizer Analysis*. Agrobios, New Dehli, India.

He, Y., Shen, Q., Kong, H., Xiong, Y. and Wang, X. (2004). Effect of soil moisture content and phosphorus application on phosphorus nutrition of rice cultivated in different water regime systems. *Journal of Plant Nutrition*, 27(12), 2259–2272.

Hosseini, S. M., Maftun, M., Karimian, N., Ronagi, A. and Emam, Y. (2005). Growth and chemical composition of rice as affected by rates of B and Zn. *Iranian Journal of Agriculture Science*, 36(4), 869-883. (In Farsi)

Jones, B. Jr. (2001). Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. CRC Press, USA.

Kabata-Pendias, A. and Pendias, H. (2001) *Trace elements in soils and plants*. (3rd ed.). CRC Press, LLC.

Kirkham, M. B. (2006). Cadmium in plants on polluted soils: Effects of soil factors, hyper accumulation, and amendments. *Geoderma*, 137, 19-32.

Klute, A. (1986). *Methods of soil analysis*. Part 1-Physical and mineralogical methods. (2nd .ed). ASA and SSSA. Madison, WI.

Koleli, N., Eker, S. and Cakmak, I. (2004). Effect of zinc fertilization on cadmium toxicity in durum and bread wheat grown in zinc-different soils. *Environmental Pollution*, 131, 453-459.

Lindsay, W. L. and Norvell, W. A. (1978). Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of American Journal*, 42, 421-428.

Liu, J., Li, K., Xu, J., Liang, J. , Lu, X., Yang, J. and Zhu, Q. (2003). Interaction of Cd and five mineral nutrients for uptake and accumulation in different rice cultivars and genotypes. *Field Crops Research*, 83, 271-281.

Marschner, H. (1995) *Mineral nutrition of higher plants* (2nd ed.). Instiitute of plant nutrition university of Hohenheim Germeny, Academic

Archive of SID

www.SID.ir

Press.

Najafi, N. and Towfoghi, H. (2007). Changes in available phosphorus and inorganic phosphorus fractions after water logging in paddy soils of north of Iran. In: Proceedings of the *10 th Iranian Soil Science Congress*, 26-28 Aug, Tehran University, Karaj, Iran.(In Farsi)

Nelson, D. W. and Sommers, L. E. (1982). Total carbon, organic carbon and organic matter. In: Page, et al. (Ed.). *Methods of soil analysis*. Part 2. 2nd .(pp. 539-579). ASA, SSSA, Madison, WI. USA.

Neue, H. U., Quijano, C., Senadhira, D. and Setter, T. (1998). Strategies for dealing with micronutrient disorders and salinity in lowland rice systems. *Field Crops Research*, 56, 139-155.

Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S. and Dean, L. A. (1954). *Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate*. USDA. Cire. 939. U. S. Gov. Print office, Washington, DC.

Patrick, W. H., Duane, Jr., Mikkelsen, S. and Wells, B. R. (1985) Plant Nutrient behavior in flooded soil. In *Fertilizer Technology and Use* (3rd ed.). (pp. 197-228). Soil Science Society of America, Madison, WI53711, USA.

Ramachandran, V. and D'Souza, T. J. (2002). Plant uptake of cadmium, zinc and manganese fromfour contrasting soilsamended with Cd-enriched sewage sludge. *J Environ Sci Health Toxic Hazard Subst Environ Eng*, **37**,1337–1346.

Reddy, K. C. K. (1982). Iron nutrition of wheat and rice as influenced by application of zinc, phosphorus, and farmyard manure in lateritic, black and alluvial soils. *Journal of Plant Nutrition*, 5: 761-768.

Richards, L. A. (1969). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. US Salinity Laboratory Staff. Agricultural Handbook, NO.60, USDA, USA.

Sarwar, N., Saifullah, Malhi, S. S., Zia, M. H., Naeem, A., Bibiand, S. and Farid, G. (2010). Role of mineral nutrition in minimizing cadmium accumulation by plants. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90, 925-937.

Savaghebi, Gh., Ardalan, M. M. and Malakouti, M. J. (2002). Effects of combined application of cadmium and zinc in calcareous soil on responses of wheat plant. *Iranian Journal of Agriculture Science*, 33(2), 333-341. (In Farsi)

Waling, I., Vark, W. V., Houba, V. J. G. and Vanderlee, J. J. (1989). *Soil and Plant analysis*, a seris of syllabi. Wageningen Agriculture University, the Netherlands.

Wang-da, C., Hai-gen, Y., Hong-mei, Z. and Xian-guo, T. (2009). Influences of cadmium on grain mineral nutrient contents of two rice genotypes differing in grain cadmium accumulation. *Rice Science*, 16(2), 151-156.

Archive of SID

www.SID.ir