تأثیر مصرف توأم کادمیوم و روی بر ویژگی‌های رشد گیاه برنج و غلظت روی،کادمیوم،آهن و منگنز خاک در دو شرایط رطوبتی 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

کادمیوم (Cd) یکی از سمّی‌ترین آلاینده‌ها بوده و تجمع آن در گیاهان و خاک‌ها نگرانی در این مورد را افزایش داده است. از طرف دیگر Zn عنصر کم‌مصرف در تغذیه برنج بوده و با Cd دارای برهمکنش می‌باشد. برای مطالعه اثر Cd و Zn بر ویژگی‌های رشد گیاه برنج و غلظت Zn، Cd، Fe و Mn در خاک آزمایشی به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو رقم برنج (هاشمی و واندانا)، دو سطح رطوبتی (غرقاب و غیر غرقاب)، سه سطح Zn (۰، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)، سه سطح Cd (۰، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) و در سه تکرار انجام گرفت. نتایج نشان داد با تغییر رژیم رطوبتی از غرقاب به غیرغرقاب وزن بخش هوایی و وزن و حجم ریشه‌ها در هر دو رقم کاهش یافت. رقم واندانا ماده خشک، حجم ریشه و تعداد برگ در بوته بیشتری نسبت به رقم هاشمی داشت. مصرف Zn وزن بخش هوایی و ریشه، حجم ریشه، تعداد برگ و پنجه در بوته، ارتفاع گیاه و کارایی مصرف آب را افزایش داد اما غلظت Cd قابل‌استخراج با DTPA خاک کاهش یافت. مصرف Cd پارامترهای مذکور و غلظت Fe و Zn قابل‌استخراج با DTPA خاک را ابتدا افزایش و سپس کاهش داد. با مصرف Cd، غلظت Cd و Mn قابل‌استخراج با DTPA خاک افزایش یافت. بر همکنش Cd و Zn فقط در مورد Zn قابل استخراج با DTPA معنی‌دار نبود. مصرف Cd در هر سطح Zn وزن بخش هوایی و کارایی مصرف آب را ابتدا افزایش و سپس کاهش داد.

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

مقدمه

در بین سه محصول عمده زراعی در جهان که بیش از ۵۰٪ انرژی مردم دنیا را تأمین می‌کنند، برنج (*Oryza stiva* L.) بعد از گندم مهمترین است. همچنین ۹۰ درصد برنج جهان در آسیا تولید و مصرف می‌شود (Bouman et al. 2007). کشت برنج در ابتدا به‌صورت غرقاب انجام می‌گرفت اما با ادامه روند گرم شدن جهانی و خشک‌تر شدن اقلیم‌های نیمه مرطوب الگوی کشت برنج در حال تغییر از غرقاب به شرایط غیرغرقاب است (Fageria 2009). در این راستا محققان اصلاح نباتات رقم‌هایی از برنج را به نام غیرغرقاب معرفی نمودند که این نوع برنج علاوه بر مصرف کم آب، عملکرد مشابه برنج غرقاب دارد(Gao et al.2006). هاشمی رقم بومی غرقاب و رقم واندانا اصلاح شده برای شرایط غیرغرقاب است(Fageria 2009). کادمیوم یکی از سمّی‌ترین آلاینده‌ها در لایه سطحی خاک است و تجمع آن در گیاهان و خاک‌ها نگرانی در این مورد را افزایش داده است (Alloway, 1995). مقادیر زیاد Cd در انسان‌ها می‌تواند بیماری‌های کلیوی، ریوی، کبدی، استخوانی و حتی سرطان را افزایش دهد (Kirkham, 2006). Afyuni et al. (2007) گزارش کردند که کودهای وارداتی ایران دارای آلودگی کادمیوم می‌باشند و در نتیجه کیفیت پایینی برای کشاورزی دارند. همچنین برخی گزارش‌ها نشان می‌دهد که در برخی مناطق برنج‌کاری کشور میزان کادمیوم دانه برنج بیش از حد مجاز است (Zazoli et al. 2006). Cd با تعادل آبی گیاه برهمکنش دارد و از باز شدن روزنه‌ها جلوگیری می‌کند و با کاهش میزان تعرق و مقدار نسبی آب برگ می‌تواند موجب تنش در گیاهان شود (Sarwar et al. 2010). همچنین جذب زیاد Cd توسط گیاهان از فرایندهای فیزیولوژیکی مثل تنفس، فتوسنتز، متابولیسم نیتروژن و تغذیه معدنی (در جذب و تجمع عناصر غذایی) جلوگیری کرده و در نتیجه باعث رشد ضعیف و زیتوده کم و حتی مرگ گیاه می‌شود (Hassan et al. 2005؛ Wang et al. 2009). Cd و Zn از نظر شیمیایی مشابه بوده (Kirkham, 2006) و بیشتر گزارش‌ها حاکی از برهمکنش منفی میان این دو عنصر در خاک است (Gupta and Potalia, 1990; Savaghebi et al., 2002; Jiao et al., 2004; Chaab and Savaghebi, 2010) اگرچه رابطه سینرژیسمی هم گزارش شده است (Nan et al., 2009; Behtash et al., 2010; al., 2002; Lakzian Moustakas et al.,2011) ممکن است Zn برخی از اثرات مضر

* نویسنده مسئول: areyhani@tabrizu.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

Cd را کاهش دهد. Hassan et al. (2005) گزارش کردند که افزودن Zn به محیط کشت هیدروپونیک سمیت Cd را کاهش و ارتفاع گیاه برنج، بیوماس و میزان کلروفیل و فتوسنتز را افزایش داد. آنان نتیجه گرفتند که Zn با بهبود فتوسنتز باعث کاهش اثرات مضر Cd می‌شود. چنین نتیجه‌ای توسط Savaghebi et al. (2002) نیز گزارش شده‌است. Charati et al. (2005) گزارش کردند که جذب روی توسط گیاه برنج و وزن ماده خشک در پاسخ به افزودن ۵ و۱۰ میکروگرم Zn بر گرم خاک افزایش یافت. آنان گزارش کردند که مصرف Cd، تولید ماده خشک را در بافت‌های گیاهی در هر سطح Zn کاهش داد. Akay and Koleli (2007) گزارش کردند که افزایش Cd غلظت Zn دانه‌ها را کاهش داد ولی اثری بر عملکرد دانه جو در شرایط مزرعه نداشت . آنالیز آماری نشان داد که تأثیر Cd و Zn بر ارتفاع گیاه و وزن هزار دانه معنی‌دار نبود. Auda and Ali (2010) اثر Cd و Zn بر رشد و تغذیه معدنی هویج را بررسی و گزارش کردند که در گیاه هویج افزودن Cd باعث کاهش وزن ریشه و بخش هوایی گردید که ممکن است به اثر آن بر تقسیم سلولی یا انبساط سلولی نسبت داده شود که ممکن است از طریق اثر آن بر ساخت DNA و RNA باشد. رشد نسبی با افزایش Zn به تنهایی یا با ترکیب با هر سه سطح Cd افزایش یافت. این موضوع ممکن است به فعالیت متابولیکی بالای گیاه در حضور Zn و در نتیجه افزایش شدت فتوسنتز و کاهش شدت تنفس نسبت داده شود.

هدف از انجام این تحقیق مطالعه اثر مصرف توأم Zn و Cd بر پاسخ‌های دو رقم برنج (رقم بومی هاشمی و رقم وارداتی واندانا) و غلظت Zn، Cd، Fe و Mn قابل‌استخراج با DTPA خاک در دو شرایط رطوبتی غرقاب و غیرغرقاب در یک خاک آهکی بود.

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. بافت خاک به روش هیدرومتر چهار زمانه (Klute, 1986)، pH در سوسپانسیون ۱:۱ خاک و آب مقطر (U.S. Salinity Staff, 1954)، هدایت الکتریکی (EC) در عصاره سوسپانسیون ۱:۱ خاک و آب مقطر (Soil Conservation Service, 1992) ، ماده آلی به روش والکلی- بلک (Nelson and Sommers, 1982)، کربنات کلسیم معادل (CCE) به روش خنثی کردن با اسید کلریدریک (Soil Conservation Service, 1992)، سدیم و پتاسیم قابل‌استخراج با استات آمونیوم (Jones, 2001)، فسفر با روش اولسن (Olsen et al., 1954)، Fe، Mn، Cu، Zn و Cd قابل‌استخراج با DTPA (Lindsay and Norvell, 1978) تعیین گردید. پس از گذراندن از الک ۲ میلی‌متری، به خوبی مخلوط شده، با سه سطح Cd (۰، ۵ و۱۰ میلی‌گرم Cd بر کیلوگرم خاک از منبع نیترات کادمیوم) تیمار شد و سه بار چرخه خشک و مرطوب شدن تا FC انجام گرفت. سپس مقادیر Zn (۰، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم Zn بر کیلوگرم خاک از منبع نیترات روی) به همراه سایر عناصر مورد نیاز (N وP) مطابق آزمون خاک به گلدانها افزوده شد. برای این منظور به هر کیلو گرم خاک گلدان میزان ۴۵۰ میلی گرم اوره و ۶۶ میلی گرم CaHPO4 افزوده شد.گلدان‌ها به مدت دو هفته در شرایط غرقاب و غیرغرقاب (اشباع متناوب) قرار گرفتند. سپس کشت رقم‌های هاشمی (رقم غرقاب) و واندانا (رقم غیرغرقاب) انجام شد. در طول دوره رشد گیاهان با آب مقطر آبیاری شدند. میزان آب مصرفی هر گلدان به صورت روزانه یادداشت شد. بعد از ۹۰ روز گیاهان برداشت شدند. قبل از برداشت شاخص کلروفیل برگ‌ها توسط دستگاه کلروفیل متر (مدل Hansatech, CL-01) اندازه گیری شد. بعد از اتمام دوره کشت نمونه‌های گیاهی برداشت شدند، سپس با آب مقطر شسته شدند و در آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس خشک شدند. وزن خشک بخش‌هوایی و ریشه و همچنین کارایی مصرف آب با استفاده از فرمول $\% \text{ W.U.E} = \frac{a}{b} \times 100$ (Kramer, 1983) اندازه‌گیری گردید که در آن W.U.E % درصد کارایی مصرف آب، a جرم آون خشک (°C ۷۰) نمونه گیاهی بخش هوایی (g) و b مقدار آب مصرفی در طول دوره‌ی رشد گیاه بودند. همچنین ارتفاع گیاه، تعداد برگ و پنجه در بوته، طول و حجم ریشه‌ها اندازه‌گیری گردید. سپس از خاک گلدان‌ها نمونه برداشته شد و غلظت Fe، Mn، Zn و Cd قابل استخراج با DTPA (Lindsay and Norvell, 1978) با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل Shimadzu (AA-6300) تعیین گردید. رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel و تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با نرم‌افزار MSTATC و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

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 نسبتا ریز، ماده آلی کم، فسفر کم، پتاسیم، منگنز و مس قابل جذب کافی و آهن و Zn قابل جذب ناکافی می‌باشد.

Archive of SID

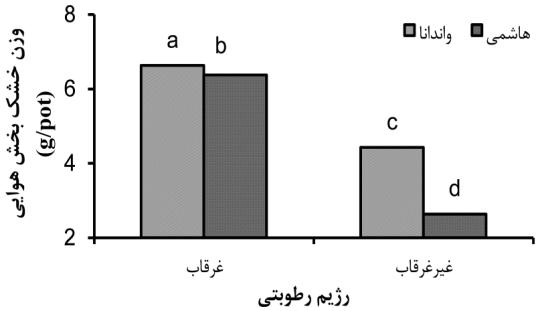
www.SID.ir

جدول ۱- برخی ویژگی های 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

وزن خشک بخش هوایی و ریشه

جدول (۲) نشان می‌دهد که تأثیر رقم، رژیم رطوبتی، Zn و Cd مصرفی بر وزن خشک بخش هوایی و ریشه معنی‌دار است. با تغییر شرایط از غرقاب به هوازی در هر دو رقم وزن خشک بخش‌هوایی و ریشه کاهش یافت که این کاهش در رقم هاشمی بیشتر بود (شکل‌های ۳ و ۴). نتایج مشابهی توسط Gao et al. (2006) و Baker (2009) گزارش شده است. مصرف Zn در هر دو رقم وزن خشک بخش‌هوایی را افزایش داد که با نتایج Mahmoodi et al. (2004)، Auda and Ali (2010) و Behtash et al. (2010) مطابقت داشت. البته این افزایش در رقم هاشمی در سطح سوم Zn معنی‌دار نبود که با نتایج Choudhary et al. (1994) مطابقت داشت. در هر دو رژیم رطوبتی با افزایش سطوح Zn وزن خشک بخش‌هوایی و ریشه افزایش یافت. این نتیجه مشابه نتایج Maftoon and Karimian (1989)، Faiziasl and Valizadeh (2004) و Wang et al. (2009) بود. همچنین در هر سطح Zn مصرفی در شرایط غرقاب وزن خشک بخش هوایی بیشتر از شرایط غیرغرقاب می‌باشد. چون قابلیت جذب Zn بعد از غرقاب کاهش می‌یابد (Towfighi and Najafi, 2002) در نتیجه گیاه به مصرف Zn پاسخ بیشتری می‌دهد. با افزایش سطوح Cd مصرفی در هر سطح Zn، وزن خشک بخش هوایی ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت (شکل ۵). نتایج مشابهی توسط Charati et al. (2005)، Gao et al (2006) و Hanan (2008) گزارش شده‌است. Zn ممکن است از گیاهان در مقابل سمیت Cd از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌هایی مثل سوپر اکسید دیسموتاز (یک آنزیم دارای Zn) و همچنین رقابت با Cd برای پیوند با گروه‌های SH– آنزیم‌ها و پروتئین‌های غشا محافظت کند (Koleli et al., 2004) اما Liu et al (2003) در برنج و Behtash et al (2010) در چغندر لبویی گزارش کردند که بر همکنش Zn و Cd بر عملکرد معنی‌دار نبود. بر همکنش Zn و Cd در مورد وزن خشک ریشه هم معنی‌دار بود اما مصرف Cd در سطح دوم Zn تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک ریشه نداشت. اما در سطوح اول و سوم Zn ابتدا آن را افزایش و سپس کاهش داد هرچند که افزایش وزن خشک ریشه توسط سطح دوم Cd مصرفی در سطح سوم Zn مشهودتر است (شکل ۶). احتمالاً دلیل این افزایش وزن خشک ریشه در سطح دوم Cd به نیترات همراه و تأثیر مثبت بر جذب عناصر دیگر مربوط می‌شود. مثلاً مقدار Zn بخش‌هوایی و غلظت آهن و منگنز قابل استخراج با DTPA در این سطح Cd افزایش یافت ولی در سطح سوم با جلوگیری از جذب عناصر و اختلال در سیستم غشای ریشه باعث کاهش وزن خشک ریشه گردید. دلیل افزایش پارامترهای رشد در غلظت پایین Cd، ممکن است افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی گیاه (Wu et al., 2003)، افزایش حل‌پذیری ترکیبات حاوی Fe و قابلیت جذب آن، تغییر تنظیم کننده‌های رشد و جلوگیری از سمّیت P، Cu و Mn و جلوگیری از کاهش Ca باشد. نتایج مشابه توسط Hanan (2008) نیز گزارش شده‌است. همچنین افزایش رشد در غلظت‌های پایین فلزات سنگین به افزایش ترشح کربوهیدارت‌ها و اسیدهای آلی از ریشه که تخصیص کربن را در خاک رایزوسفر افزایش می‌دهند، نسبت داده شده‌است اما در غلظت‌های بالا به سبب جلوگیری از رشد ریشه و فعالسازی فلز در ریزوسفر باعث تشدید اثر سمّیت آلاینده‌ها بر فعالیت میکروبی خاک می‌شود. همچنین گزارش شده که معدنی شدن N در سطوح پایین Cd تشدید می‌شود اما در سطوح بالای Cd از معدنی شدن N جلوگیری می‌شود (Yang et al., 2005).

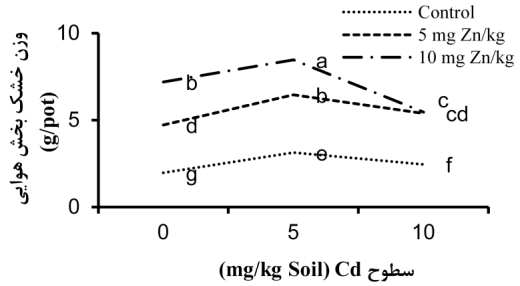


شکل ۱- بر همکنش رژیم رطوبتی و رقم برنج بر وزن خشک بخش هوایی

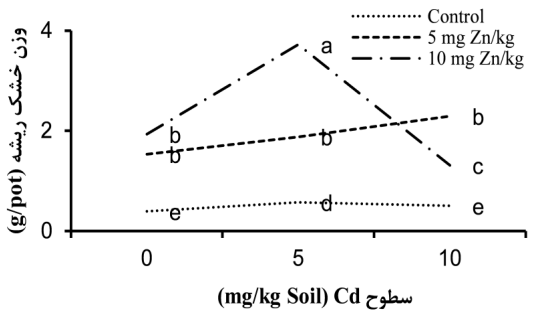
شکل ۲- بر همکنش رژیم رطوبتی و رقم برنج بر وزن خشک ریشه

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۳- بر همکنش سطوح Zn و Cd بر وزن خشک بخش هوایی



شکل ۴- بر همکنش سطوح Zn و Cd بر وزن خشک ریشه

جدول۲- وزن خشک بخش هوایی و ریشه‌ها و تعداد پنجه در بوته برنج در سطوح مختلف Zn و Cd در دو رژیم رطوبتی

تیمار		وزن خشک بخش هوایی ($g\ pot^{-1}$)				وزن خشک ریشه ($g\ pot^{-1}$)				تعداد پنجه در بوته			
		غرقاب		غیرغرقاب		غرقاب		غیرغرقاب		غرقاب		غیرغرقاب	
$Zn(NO_3)_2$	$Cd(NO_3)_2$	واندانا	هاشمی	واندانا	هاشمی	واندانا	هاشمی	واندانا	هاشمی	واندانا	هاشمی	واندانا	**هاشمی**
	($mg\ kg^{-1}$)												
۰	۰	۰/۹	۲/۸	۱/۸۶	۲/۲۸	۰/۵۲	۰/۴۵	۰/۲۲	۰/۳۸	۵/۷	۶/۸۳	۱۰/۳۳	**۱۰/۰۰**
	۵	۲/۸۵	۵/۱۴	۱/۹۵	۲/۵۷	۰/۵۹	۰/۹۹	۰/۲۹	۰/۴	۷/۶۹	۶/۰۰	۷/۶۷	**۶/۵۸**
	۱۰	۱/۴۷	۴/۷۴	۲/۶۲	۰/۹۶	۰/۴۳	۱/۱۴	۰/۳۲	۰/۱۱	۹/۶۱	۷/۱۷	۹/۰۰	**۸/۵**
	۰	۶/۶۸	۷/۱	۲/۳۵	۲/۷۳	۱/۱۳	۳/۵۷	۰/۵	۰/۹۲	۱۵/۳۱	۷/۴۷	۱۳/۵	**۱۰/۱۷**
۵	۵	۹/۹۵	۷/۸۹	۴/۵۱	۳/۴۶	۳/۳۹	۲/۴۷	۱/۳۵	۰/۳	۱۴/۴۲	۵/۷۵	۱۱/۹۲	**۹/۵**
	۱۰	۶/۲۶	۸/۵۸	۵/۶۹	۱/۰۴	۳/۸۴	۳/۰۱	۲/۲	۰/۱۲	۱۴/۲۵	۷/۵۸	۱۶/۱۷	**۶/۳۳**
	۰	۱۰/۸۲	۷/۵۴	۸/۷۵	۱/۶۴	۲/۷۶	۱/۶۴	۳/۱۱	۰/۲۲	۱۵/۷۸	۶/۳۸	۱۶/۰۰	**۵/۳۳**
۱۰	۵	۱۲/۱۳	۶/۷	۷/۷	۷/۳۱	۴/۳۶	۳/۳۱	۵/۳۹	۱/۸۱	۱۷/۶۷	۵/۷۵	۱۵/۴۲	**۸/۵**
	۱۰	۸/۶۱	۶/۹۷	۴/۴۶	۱/۸	۳/۱۱	۱/۵۳	۰/۳۳	۰/۲۹	۱۲/۳۳	۹/۴۴	۱۸/۰۰	**۶/۳۳**
LSD۰.۰۵		۰/۳۲				۰/۱۸						۰/۰۵	
A		**				**						**	
B		**				**						**	
C		**				**						**	
D		**				**						**	
B×A		**				**						*	
C×A		**				**						**	
C×B		**				*						**	
D×A		**				**						ns	
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

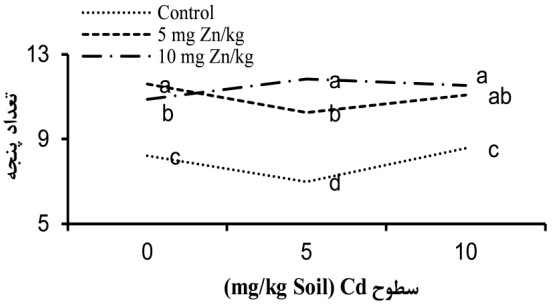
A، B، C و D به ترتیب رقم برنج، رژیم رطوبتی، سطوح روی و کادمیوم می باشند.

تعداد پنجه در بوته

رقم واندانا تعداد پنجه بیشتری داشته و همچنین در شرایط غیرغرقاب بیشترین تعداد پنجه حاصل شد. با افزایش مقدار Zn مصرفی، تعداد پنجه زیاد شد و با مصرف Cd تعداد پنجه ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت اما با شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۲). همان طور که در شکل (۵) مشاهده می‌شود با افزایش سطوح Cd در سطوح اول و دوم Zn تعداد پنجه با افزایش Cd مصرفی ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت که البته این افزایش در سطح دوم Zn معنی‌دار نبود. در سطح سومZn تعداد پنجه ابتدا افزایش و سپس تغییر معنی‌داری نکرد.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۵- بر همکنش سطوح Zn و Cd بر تعداد پنجه در بوته

ارتفاع گیاه

با تغییر شرایط از غرقاب به غیرغرقاب ارتفاع گیاه در رقم واندانا افزایش اما در رقم هاشمی کاهش یافت (جدول ۳). با افزایش سطوح Zn در هر دو رقم و در هر دو رژیم رطوبتی ارتفاع گیاه افزایش یافت. نتایج مشابهی توسط Hassan et al. (2005) گزارش شده‌است. البته افزایش سطوح Zn در رقم هاشمی در سطوح بالا تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع گیاه نداشت. با افزایش Cd مصرفی در سطح اول Zn ارتفاع گیاه ابتدا کاهش یافت و سپس تفاوت معنی‌داری نکرد. در سطوح دوم و سوم Zn ابتدا ارتفاع گیاه افزایش و سپس در سطح دوم Zn کاهش یافت اما در سطح سوم Zn تغییر معنی‌داری نکرد (شکل ۷). نتایج مشابهی توسط Akay and Koleli (2007) گزارش شده‌است.

جدول۳- ارتفاع ساقه، تعداد برگ، شاخص کلروفیل برنج در سطوح مختلف Zn و Cd در دو رژیم رطوبتی

تیمار		ارتفاع گیاه				شاخص کلروفیل				تعداد برگ در بوته			
		غرقاب		غیرغرقاب		غرقاب		غیرغرقاب		غرقاب		غیرغرقاب	
$Zn(NO_3)_2$	$Cd(NO_3)_2$	واندانا	هاشمی	واندانا	هاشمی	واندانا	هاشمی	واندانا	هاشمی	واندانا	هاشمی	واندانا	هاشمی
(mg kg^{-1})													
	۰	۴۴/۴۵	۷۰/۷۵	۷۳/۱۷	۸۸/۷۲	۶/۱۷	۹/۱۶	۱۱/۲۸	۱۵/۹۴	۹/۶۴	۱۱/۲۵	۱۲/۱۷	۱۴/۴۴
۰	۵	۵۲/۷۵	۹۳/۵	۵۵/۴۷	۵۲/۰۰	۹/۶۱	۱۶/۷۹	۹/۸۸	۱۶/۸۴	۱۳/۰۰	۱۴/۴۲	۱۱/۱۷	۸/۴۲
	۱۰	۴۵/۳۸	۷۶/۷۵	۵۴/۵	۷۴/۵	۷/۷۸	۱۶/۲۶	۹/۷	۹/۹۷	۱۲/۹۲	۱۴/۵	۱۱/۵	۱۵/۸۹
	۰	۵۳/۲۵	۸۷/۶۹	۵۳/۳	۸۸/۷۲	۱۰/۰۹	۱۵/۷۵	۱۱/۴۲	۲۲/۵۱	۱۶/۰۰	۱۴/۱۷	۲۲/۳۳	۱۴/۱۷
۵	۵	۷۳/۴۲	۹۹/۸۳	۷۸/۵	۹۲/۳۳	۱۰/۵۱	۱۴/۷۱	۹/۵۱	۱۶/۸۴	۲۳/۱۷	۱۴/۴۲	۲۲/۵	۱۴/۸۳
	۱۰	۷۵/۵۶	۹۳/۵	۶۵/۳۳	۵۶/۲۲	۱۰/۹۱	۱۵/۳۱	۹/۶۴	۱۰/۱۶	۲۱/۰۹	۱۴/۶۷	۱۹/۸۳	۹/۷۲
	۰	۷۰/۲۲	۸۸/۷۲	۶۹/۷۸	۶۱/۰۰	۱۱/۲۴	۱۴/۸	۱۵/۵۱	۱۲/۳۲	۲۷/۲۶	۱۳/۴۲	۲۰/۰۰	۹/۶۷
۱۰	۵	۶۷/۱۷	۱۰۷/۴	۶۴/۰۸	۹۰/۵	۹/۶۴	۱۳/۸	۱۰/۰۱	۱۴/۵۵	۲۳/۱۷	۱۳/۵۸	۲۲/۷۵	۱۳/۶۷
	۱۰	۷۳/۵	۸۹/۸۹	۸۷/۰۰	۸۴/۸۳	۱۰/۴	۱۳/۳۵	۸/۲۳	۱۳/۶۷	۱۹/۵۸	۱۰/۷۸	۱۹/۰۰	۱۰/۱۵
۰/۰۵LSD		۵/۶۹				۰/۱۳						۰/۲۶	
A		**				**						**	
B		**				**						**	
C		**				**						**	
D		**				**						**	
B×A		**				**						ns	
C×A		**				**						**	
C×B		**				*						**	
D×A		**				**						ns	
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.

تعداد برگ در بوته

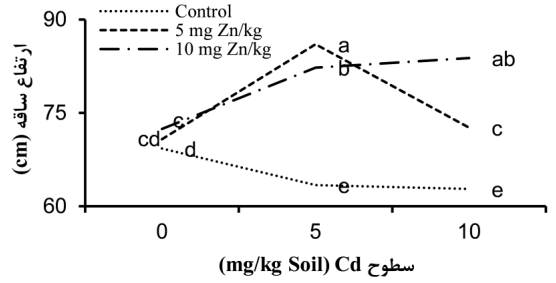
نتایج نشان داد که رقم واندانا تعداد برگ بیشتری داشته و در شرایط غرقاب بیشترین تعداد برگ بدست آمد (جدول ۳). با افزایش مقدار Zn مصرفی تعداد برگ زیاد شده و با مصرف Cd تعداد برگ ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. در رقم واندانا مصرف Zn تعداد برگ را افزایش اما در رقم هاشمی ابتدا تأثیر معنی‌داری نداشت و سپس آن را کاهش داد. واکنش رقم واندانا در مورد صفت تعداد برگ به مصرف Zn بیشتر از رقم بومی

Archive of SID
www.SID.ir

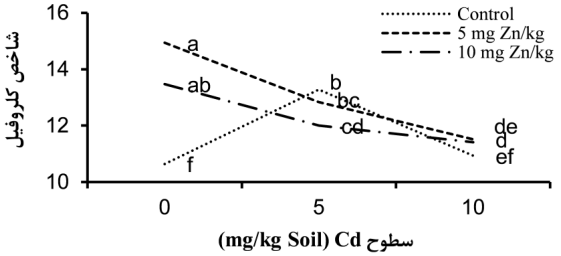
هاشمی بود. در شرایط غرقاب مصرف Zn تعداد برگ را افزایش داد اما بین سطح دوم و سوم Zn اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. نتایج مشابهی توسط Wang et al. (2009) نیز گزارش شده‌است. در شرایط غیرغرقاب بر اثر مصرف Zn تعداد برگ ابتدا افزایش سپس کاهش یافت. در رژیم رطوبتی غرقاب با افزایش سطوح Cd تعداد برگ را ابتدا افزایش و سپس کاهش داد. در شرایط غیرغرقاب افزایش سطوح Cd ابتدا تأثیر معنی‌داری بر تعداد برگ نداشت و سپس آن را کاهش داد. با افزایش مقدار Cd مصرفی در سطح دوم Zn ابتدا تعداد برگ افزایش و سپس کاهش یافت. نتایج مشابهی توسط Hanan (2008) گزارش شده‌است. Behtash et al. (2010) گزارش کردند که بر همکنش Zn و Cd بر تعداد برگ معنی‌دار نبود. برگ محل اصلی فتوسنتز است. هر چه شدت فتوسنتز بیشتر باشد، تعداد برگ زیاد می‌شود. Cd از فتوسنتز گیاه جلوگیری کرده و باعث کاهش تعداد برگ می‌شود.

شاخص کلروفیل برگها

تأثیر رقم، رژیم رطوبتی، Zn و Cd بر شاخص کلروفیل برگ‌ها معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج نشان داد که با تغییر شرایط از غرقاب به غیرغرقاب شاخص کلروفیل برگها در رقم هاشمی تغییر نیافت اما در رقم واندانا افزایش یافت. البته این پارامتر در برگهای رقم هاشمی بیشتر بود. افزایش مقدار Zn مصرفی در هر دو رقم شاخص کلروفیل را ابتدا افزایش و سپس کاهش داد. البته این کاهش از نظر آماری معنی‌دار نبود. نتایج مشابهی توسط Hassan et al. (2005) و Behtash et al. (2010) گزارش شده‌است. در رژیم رطوبتی غرقاب افزایش مقدار نیترات Zn مصرفی شاخص کلروفیل برگها را افزایش و سپس تغییر معنی‌داری نکرد. در شرایط غیرغرقاب با افزایش مقدار Zn بین تیمارها در شاخص کلروفیل برگ تفاوتی مشاهده نشد. این موضوع نشان می‌دهد که مقادیر بالای Zn تأثیر چندانی بر شاخص کلروفیل ندارد. با افزایش نیترات کادمیوم مصرفی در سطح اول Zn، شاخص کلروفیل ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. با افزایش سطوح نیترات کادمیوم در سطح دوم Zn شاخص کلروفیل کاهش یافت. در سطح سوم Zn با افزایش نیترات کادمیوم مصرفی ابتدا کاهش و سپس تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. نتایج مشابه توسط Hanan (2008) نیز گزارش شده‌است. Behtash et al. (2010) گزارش کردند که بر همکنش Zn و Cd بر میزان کلروفیل برگ معنی‌دار بود و Zn از تخریب کلروفیل توسط Cd جلوگیری کرد. Cd باعث کاهش و توقف رشد ریشه، اختلال در جذب و انتقال عناصر غذایی، کاهش میزان کلروفیل و اختلال در فعالیت‌های آنزیم‌های دخیل در فتوسنتز می‌شود (Savaghebi et al., 2002).



شکل ۶- بر همکنش سطوح Zn و Cd بر ارتفاع گیاه برنج



شکل ۷- بر همکنش سطوح Zn و Cd بر شاخص کلروفیل برگهای برنج

طول و حجم ریشه

با تغییر شرایط از غرقاب به غیرغرقاب حجم و طول ریشه‌ها در هر دو رقم کاهش یافت و با مصرف Zn در رقم واندانا حجم و طول ریشه‌ها افزایش یافت اما در رقم هاشمی به رغم افزایش حجم ریشه با مصرف Zn، بین سطح دوم و سوم Zn اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد (جدول ۵). مصرف Cd در سطح اول Zn تأثیری بر حجم ریشه نداشت، در سطح دوم Zn ابتدا تأثیر معنی‌داری بر حجم ریشه نداشت اما بعداً آن را کاهش داد. در سطح سوم Zn حجم ریشه را ابتدا افزایش و سپس کاهش داد. افزایش Cd مصرفی در هر سطح Zn طول ریشه را ابتدا افزایش و سپس کاهش داد. فقط در سطح اول Zn بین دو سطح دوم و سوم Cd اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. نتایج مشابهی توسط Hanan (2008) گزارش شده‌است.

کارایی مصرف آب

با تغییر شرایط از غرقاب به غیرغرقاب کارایی مصرف آب در رقم واندانا بیشتر اما در رقم هاشمی کمتر شده است که این امر نشان دهنده اصلاح ژنتیکی این رقم برای شرایط غیرغرقاب است (شکل ۸). با افزایش سطوح Zn در هر دو رقم کارایی مصرف آب افزایش یافت. همچنین افزایش مقدار Zn خاک بر کارایی مصرف آب در هر دو رژیم رطوبتی مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۴). افزایش نیترات کادمیوم مصرفی کارایی مصرف آب را در هر دو رقم ابتدا افزایش و سپس کاهش داد. این نتیجه در هر دو رژیم رطوبتی نیز مشاهده شد (جدول ۴). با افزایش سطوح کادمیوم در هر سطح Zn کارایی مصرف آب ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. این نتیجه نشان می‌دهد که کادمیوم در

Archive of SID
www.SID.ir

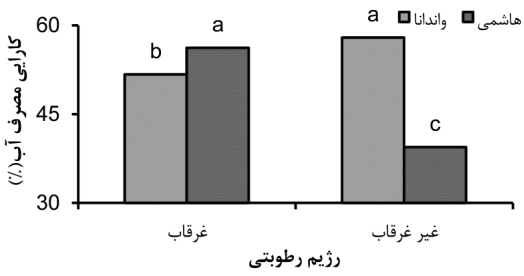
سطوح بالا کارایی مصرف آب را کاهش می دهد (شکل ۹). افزایش کارایی مصرف آب با مصرف Cd در سطح دوم آن به اثر نیترات همراه و افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی گیاه مربوط می‌شود.

جدول۴- طول و حجم ریشه، کارایی مصرف آب در سطوح مختلف Zn و Cd در دو رژیم رطوبتی

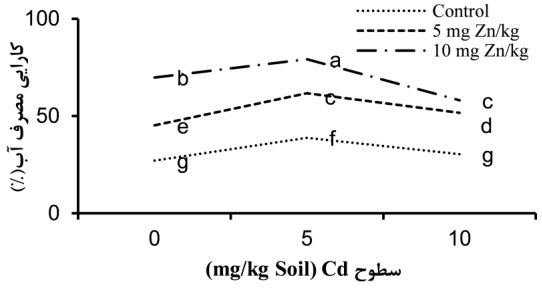
تیمار		طول ریشه				حجم ریشه				کارایی مصرف آب			
		غرقاب		غیرغرقاب		غرقاب		غیرغرقاب		غرقاب		غیرغرقاب	
$Zn(NO_3)_2$	$Cd(NO_3)_2$	واندانا	هاشمی	واندانا	هاشمی	واندانا	هاشمی	واندانا	هاشمی	واندانا	هاشمی	واندانا	هاشمی
	($mg\ kg^{-1}$)												
۰	۰	۲۰/۶۷	۲۶/۰۰	۱۶/۳۳	۱۳/۶۷	۹/۳۳	۹/۳۳	۷/۶۷	۹/۳۳	۱۲/۷۲	۳۱/۹۴	۲۹/۷۲	۳۴/۱۱
	۵	۲۳/۸۳	۲۶/۳۳	۲۱/۰۰	۳۴/۰۰	۱۰/۰۰	۱۱/۶۷	۷/۳۳	۱۱/۶۷	۳۳/۶۲	۳۱/۱۷	۴۷/۲۳	۴۳/۱۶
	۱۰	۲۵/۳۳	۳۵/۳۳	۲۴/۰۰	۱۵/۸۳	۹/۶۷	۱۳/۳۳	۱۰/۰۰	۳/۳۳	۱۸/۷۸	۴۰/۸۳	۴۸/۸۱	۱۳/۲۳
۵	۰	۲۴/۳۳	۴۵/۸۳	۲۵/۶۷	۲۶/۳۳	۱۴/۳۳	۳۹/۳۳	۲۶/۰۰	۲۰/۰۰	۶۰/۱۳	۳۰/۳۱	۴۹/۶۶	۴۰/۶۴
	۵	۳۸/۳۳	۴۱/۰۰	۳۷/۶۷	۲۷/۱۷	۲۱/۶۷	۴۵/۰۰	۳۵/۰۰	۱۵/۰۰	۷۸/۰۳	۵۲/۷۹	۶۴/۸۴	۵۱/۳۵
	۱۰	۳۶/۰۰	۳۲/۶۷	۴۰/۰۰	۱۲/۵	۴۲/۶۷	۱۸/۳۳	۲۶/۶۷	۴/۶۷	۳۹/۶	۷۴/۵۲	۷۶/۲۲	۱۶/۰۶
۱۰	۰	۳۵/۶۷	۳۵/۱۷	۳۷/۶۷	۲۰/۱۷	۶۵/۰۰	۲۱/۶۷	۳۸/۳۳	۷/۰۰	۸۱/۵۸	۱۰۵/۳۸	۶۷/۲۶	۲۵/۱۷
	۵	۴۵/۳۳	۴۲/۰۰	۳۶/۳۳	۴۵/۰۰	۶۳/۳۳	۳۳/۳۳	۲۶/۶۷	۴۷/۶۷	۷۳/۹۷	۸۳/۸۴	۵۴/۷۳	۱۰۴/۴۵
	۱۰	۳۵/۰۰	۲۶/۰۰	۳۴/۰۰	۲۱/۶۷	۵۲/۰۰	۱۶/۶۷	۲۰/۰۰	۶/۳۳	۶۶/۸۱	۷۰/۶۶	۶۷/۶۳	۲۶/۹۱
۰/۰۵LSD		۴/۸۷				۰/۳۵				۱۰/۴			
A		**				**				**			
B		**				**				**			
C		**				**				**			
D		**				**				**			
B×A		**				**				**			
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.



شکل ۸- بر همکنش رژیم رطوبتی و رقم برنج بر کارایی مصرف آب



شکل ۹- بر همکنش سطوح Zn و Cd بر کارایی مصرف آب

غلظت Zn خاک قابل استخراج با DTPA

غلظت Zn قابل استخراج با DTPA خاک تحت تأثیر رقم برنج، رژیم رطوبتی، Zn و Cd قرار گرفت (جدول ۵). با تغییر شرایط از غرقاب به غیرغرقاب غلظت Zn قابل استخراج با DTPA با کاشت رقم واندانا کاهش یافت. نتایج مشابهی توسط Baker (2009) گزارش گردیده‌است. کاهش میزان قابلیت استفاده Zn خاک بعد از غرقاب توسط محققان زیادی گزارش شده‌است (Halder and Mandel, 1979; Towfighi and Najafi 2002). آنان دلیل این کاهش را به کاهش پارامتر ریداکس، افزایش حلالیت Fe و Mn و P و اثر ضدیتی آنها بر قابلیت استفاده Zn نسبت داده‌اند. با افزایش سطوح Zn در هر دو رقم و هر دو رژیم رطوبتی میزان Zn قابل استخراج با DTPA افزایش یافت (جدول

Archive of SID

www.SID.ir

۵). همان طور که نتایج نشان می‌دهد میزان Zn قابل استخراج با DTPA در حالت غرقاب نسبت به غیرغرقاب کاهش یافته که این نتیجه توسط بسیاری از محققان گزارش شده‌است (Robson, 1993). با افزایش مقدار Cd مصرفی در رژیم رطوبتی غرقاب ابتدا میزان Zn قابل استخراج با DTPA افزایش و سپس تغییر معنی‌داری نکرد. اما در شرایط غیرغرقاب افزودن Cd در میزان Zn قابل استخراج با DTPA ابتدا تأثیر معنی‌داری نداشت و سپس آن را کاهش داد.

جدول ۵- غلظت عناصر Cd و Zn، Mn و Fe قابل استخراج با DTPA در خاک لوم رسی در سطوح مختلف Zn و Cd در دو رژیم رطوبتی و دو رقم برنج

تیمار		Zn (mg kg^{-1})				Cd (mg kg^{-1})				Fe (mg kg^{-1})				Mn (mg kg^{-1})			
		غرقاب		غیرغرقاب		غرقاب		غیرغرقاب		غرقاب		غیرغرقاب		غرقاب		غیرغرقاب	
$Zn(NO_3)_2$ (mg kg^{-1})	$Cd(NO_3)_2$	واندانا	هاشمی	واندانا	هاشمی	واندانا	هاشمی	واندانا	هاشمی	واندانا	هاشمی	واندانا	هاشمی	واندانا	هاشمی	واندانا	هاشمی
	۰	۰/۳۶	۰/۳۷	۰/۳۳	۰/۴۵	۰/۵۸	۰/۵۸	۱/۰۸	۰/۴۴	۱۲۵/۶۳	۱۵۲/۶۳	۱۹/۵۲	۵۷/۱۸	۵۹/۴۵	۶۴/۶۷	۲۸/۲۳	۶۴/۸۹
۰	۵	۰/۴۸	۰/۴۳	۰/۴۲	۰/۴۹	۱/۲	۱/۲۷	۱/۲۴	۱/۲۸	۱۷۲/۸۲	۱۸۸/۱۴	۲۳/۶۳	۱۹/۴	۷۵/۳۳	۷۹/۰۰	۲۹/۲۷	۳۷/۲۱
	۱۰	۰/۳۸	۰/۴۷	۰/۲۸	۰/۲۶	۲/۱۹	۱/۴	۲/۵۶	۱/۱۹	۱۵۶/۶۸	۱۹۸/۷۵	۱۴/۰۰	۶۲/۱۴	۵۵/۶۳	۸۲/۰۰	۲۳/۴۷	۵۰/۰۳
	۰	۰/۸۳	۰/۷۲	۰/۶۵	۱/۲۹	۰/۶۶	۰/۶۶	۰/۴	۰/۴	۲۰۷/۱۹	۱۶۶/۹۹	۱۶/۴۹	۲۰/۱۱	۷۸/۶۴	۷۴/۵۲	۱۹/۷۱	۴۲/۰۳
۵	۵	۱/۲۲	۱/۱	۰/۵۱	۱/۰۶	۱/۴۴	۱/۲۳	۰/۸۳	۱/۴۶	۲۸۴/۴۴	۲۴۷/۶۸	۲۰/۷	۱۵/۳۸	۹۱/۳۴	۸۹/۶۹	۱۶/۵۴	۲۱/۳۸
	۱۰	۱/۰۴	۰/۹	۰/۶۹	۱/۱۵	۱/۴۵	۱/۵۲	۱/۲	۱/۶۸	۲۸۵/۹۷	۲۶۲/۷۸	۱۵/۴۹	۱۴/۲۶	۷۹/۰۷	۸۴/۰۴	۳۷/۲۶	۳۰/۰۵
	۰	۱/۳۵	۱/۰۶	۱/۰۶	۱/۷۵	۰/۵۸	۰/۵۸	۰/۴۱	۰/۴۱	۲۳۷/۰۱	۲۴۳/۱۵	۳۲/۹	۲۰/۰۷	۶۴/۵۹	۶۶/۰۵	۲۳/۱۲	۲۱/۹۷
۱۰	۵	۱/۱۳	۱/۳۳	۱/۴۱	۱/۸۳	۰/۹۸	۱/۱۳	۰/۸۵	۱/۳۶	۲۷۱/۵۲	۱۲۴/۴۶	۳۰/۷۱	۲۲/۲	۶۳/۹۹	۶۴/۹۹	۱۹/۹۷	۱۹/۰۸
	۱۰	۱/۲۳	۱/۳۶	۰/۷۵	۱/۷۳	۱/۲۵	۱/۴۷	۰/۷۳	۱/۰۲	۲۴۰/۶۳	۱۱۲/۶۴	۲۳/۰۷	۱۷/۷۴	۶۴/۶۶	۵۷/۵۶	۳۳/۰۹	۲۴/۶۳
LSD۰/۰۵		۰/۱۷				۰/۰۷				۳/۴۴				۰/۱۳			
A		**				ns				**				**			
B		ns				**				**				**			
C		**				**				**				**			
D		**				**				**				**			
B×A		**				ns				**				**			
C×A		**				**				**				**			
C×B		**				**				**				**			
D×A		ns				**				**				**			
D×B		**				*				**				**			
D×C		ns				**				**				**			
C×B×A		**				**				**				**			
D×B×A		**				**				**				**			
D×C×A		**				**				**				**			
D×C×B		**				**				**				**			
D×C×B×A		**				ns				**				**			

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.

غلظت Cd خاک قابل استخراج با DTPA

جدول (۵) نشان می‌دهد که با افزایش Zn مصرفی میزان Cd خاک قابل استخراج با DTPA، در حالتی که رقم واندانا کاشته شده بود، کاهش یافت. در رقم هاشمی ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. همچنین با افزایش سطوح Zn مصرفی در هر دو رژیم رطوبتی میزان Cd قابل استخراج با DTPA روند کاهشی نشان داد. اثر آنتاگونیسمی Zn و Cd توسط بسیاری از محققان گزارش شده‌است. با افزایش Cd مصرفی در سطوح اول و دوم Zn، مقدار Cd قابل استخراج با DTPA افزایش یافت. البته این افزایش با افزایش سطوح Zn مصرفی کمتر شد. در سطح سوم Zn مقدار Cd قابل استخراج با DTPA ابتدا افزایش و سپس تغییر معنی‌داری نکرد.

غلظت Fe خاک قابل استخراج با DTPA

غلظت Fe قابل استخراج با DTPA به طور معنی‌داری تحت تأثیر رقم برنج، رژیم رطوبتی، Zn و Cd قرار گرفت (جدول ۵). با تغییر شرایط از غرقاب به غیرغرقاب در هر دو رقم میزان Fe

Archive of SID

www.SID.ir

قابل استخراج با DTPA کاهش یافت که قابل انتظار بود. در شرایط غرقاب به دلیل حاکم بودن فرایند احیا، موادی نظیر اکسیدهای Fe احیا شده در نتیجه غلظت Fe محلول و قابل استخراج با DTPA افزایش می‌یابد (Patrik et al., 1985; Marschner, 1995). اخیراً Baker (2009) نیز چنین نتیجه‌ای را گزارش کرده‌است. در مورد برنج، افزایش احیای Fe، فراهم بودن آن را افزایش می‌دهد. افزایش Fe محلول و تبادلی با کاهش Eh و pH اتفاق می‌افتد. توزیع Fe در بخش تبادلی و محلول وابسته به pH است. مواد آلی، رس، مقدار هیدروکسیدهای Fe، pH خاک و دما بر غلظت Fe^{2+} در خاک‌های غرقاب تأثیر می‌گذارند (Fageria, 2009). در رقم واندانا با افزایش سطوح Zn مقدار Fe قابل استخراج با DTPA افزایش یافت و در رقم هاشمی با افزایش سطوح Zn میزان Fe قابل استخراج با DTPA ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. در شرایط غرقاب ابتدا میزان Fe قابل استخراج با DTPA با مصرف Zn افزایش و سپس کاهش یافت اما در شرایط غیرغرقاب ابتدا میزان Fe کاهش و سپس افزایش یافت ولی به مقدار شاهد نرسید. اثر آنتاگونیسمی Zn و Fe در سطوح بالای Fe توسط Robson (1993) نیز گزارش شده‌است. با افزایش سطوح Cd در سطوح اول و دوم Zn میزان Fe قابل استخراج با DTPA افزایش یافت اما در سطح سوم Zn مقدار Fe قابل استخراج با DTPA کاهش یافت.

غلظت Mn قابل استخراج با DTPA

غلظت Mn قابل استخراج با DTPA با تغییر رقم برنج، رژیم رطوبتی، سطوح Zn و Cd تغییر کرد (جدول ۵). با تغییر شرایط از غرقاب به غیرغرقاب مقدار Mn قابل استخراج با DTPA در هر دو رقم کاهش یافت. این نتیجه توسط Baker (2009) نیز گزارش گردید. همان اثراتی که غرقاب بر غلظت Fe قابل استخراج با DTPA دارد، بر غلظت Mn قابل استخراج با DTPA نیز دارد. Marschner (1995) گزارش کرد که در شرایط غرقاب با غالب آمدن فرایند احیایی در خاک Mn^{4+} به Mn^{2+} تبدیل می‌شود. افزایش قابلیت جذب Mn در غرقاب طولانی مدت، قابلیت جذب Zn را کاهش می‌دهد (Neue et al., 1998). در مورد بر همکنش Mn و Cd هم سینرژیسمی و هم آنتاگونیسمی گزارش شده است اما Mn با Zn بر همکنش آنتاگونیسمی دارد به طوری که Zn جذب Mn را کاهش می‌دهد (Kabata-Pendias and Pendias, 2001). با افزایش مقدار Cd مصرفی در سطوح اول و دوم Zn ابتدا در میزان Mn قابل استخراج با DTPA تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد اما بعداً در تیمار اول Zn کاهش و در تیمار دوم Zn افزایش یافت. در سطح سوم Zn با افزایش Cd مصرفی میزان Mn قابل استخراج با DTPA ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت. نتایج نشان داد که رقم هاشمی که یک رقم بومی غرقاب و رقم واندانا که یک رقم غیرغرقاب است پاسخ‌های متفاوتی نسبت به رژیم رطوبتی و سطوح Cd و Zn دارند.

جدول (۶) همبستگی ساده صفات مورد بررسی را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که وزن خشک بخش هوایی و ریشه همبستگی مثبت و معنی‌داری با ارتفاع گیاه، شاخص کلروفیل، طول و حجم ریشه، تعداد برگ در بوته و غلظت Mn، Zn و Fe قابل استخراج با DTPA داشت. همبستگی منفی و معنی‌داری بین تعداد برگ در بوته با Cd قابل استخراج با DTPA و شاخص کلروفیل با تعداد پنجه در بوته بدست آمد.

جدول ۶- ضریب همبستگی پیرسون بین ویژگی‌های رشد و غلظت (غ.) عناصر در خاک (خ.)

		X_{13}	X_{12}	X_{11}	X_{10}	X_9	X_8	X_7	X_6	X_5	X_4	X_3	X_2	X_1
X_1	وزن خشک ب.	۰/۸۴۷**	۰/۶۲۴**	۰/۴۰۹**	-۰/۰۸۰	۰/۴۳۵**	۰/۶۱۱**	۰/۷۸۹**	۰/۷۴۶**	۰/۰۹۹	۰/۳۴۴**	۰/۴۷۴**	۰/۸۳۱**	۱
X_2	وزن خشک ر.	۰/۶۵۲**	۰/۵۰۶**	۰/۳۲۰**	-۰/۰۵۵	۰/۴۰۶**	۰/۵۹۶**	۰/۷۲۵**	۰/۷۱۵**	۰/۰۲۵	۰/۲۴۶*	۰/۴۳۱**	۱	
X_3	تعداد پنجه	۰/۴۹۹**	۰/۰۶۶	-۰/۱۰۹	-۰/۱۸۰	۰/۰۸۹	۰/۷۹۸**	۰/۴۷۰**	۰/۳۱۵**	-۰/۲۸۹**	-۰/۱۶۱	۱		
X_4	ارتفاع گیاه	۰/۳۴۹**	۰/۱۵۸	۰/۲۳۲*	-۰/۱۰۳	۰/۳۳۸**	۰/۰۴۹	۰/۲۵۴**	۰/۳۳۶**	۰/۵۶۷**	۱			
X_5	شاخص کلروفیل	۰/۱۸۰	-۰/۰۵۱	۰/۰۷۷	-۰/۱۶۵	۰/۲۵۴**	-۰/۱۷۶	۰/۰۳۲	۰/۱۴۷	۱				
X_6	طول ریشه	۰/۷۰۹**	۰/۳۷۹**	۰/۲۱۲*	-۰/۰۳۹	۰/۳۱۰**	۰/۴۶۷**	۰/۷۵۸**	۱					
X_7	حجم ریشه	۰/۶۴۷**	۰/۴۱۸**	۰/۱۶۴	-۰/۱۶۶	۰/۴۱۳**	۰/۶۵۱**	۱						
X_8	تعداد برگ	۰/۵۰۸**	۰/۲۸۹**	۰/۰۷۶	-۰/۲۲۵*	۰/۱۴۹	۱							
X_9	غ.روی خ.	۰/۴۵۶**	۰/۰۵۳	-۰/۱۳۰	-۰/۱۴۶	۱								
X_{10}	غ.کادمیوم خ.	-۰/۰۸۹	۰/۰۷۷	۰/۰۵۷	۱									
X_{11}	غ.منگنز خ.	۰/۰۶۱	۰/۸۹۰**	۱										
X_{12}	غ.آهن خ.	۰/۲۳۳*	۱											
X_{13}	کارایی مصرف آب	۱												

*و** به ترتیب همبستگی معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

Archive of SID

www.SID.ir

نتیجه گیری کلی

این مطالعه نشان داد که مصرف روی و کادمیوم از منبع نیترات روی و کادمیوم در دو شرایط رطوبتی غرقاب و غیرغرقاب (اشباع متناوب) باعث ابتدا افزایش و سپس کاهش وزن خشک بخش هوایی و ریشه، طول و حجم ریشه، تعداد برگ شد. همچنین با مصرف Cd در هر سطح Zn غلظت Cd قابل استخراج با DTPA افزایش یافت البته این افزایش با مصرف Zn کمتر شد. با مصرف Zn پارامترهای رشد گیاه افزایش یافت اما غلظت Cd، Mn و Fe قابل استخراج با DTPA کاهش یافت. با تغییر شرایط رطوبتی از غرقاب به غیرغرقاب وزن خشک بخش هوایی و ریشه، حجم ریشه، در هر دو رقم کاهش یافت اما کارایی مصرف آب در رقم واندانا افزایش یافت. کاهش وزن ماده خشک در رقم واندانا کمتر بود و این نشان دهنده اصلاح ژنتیکی آن نسبت به شرایط غیرغرقاب است. بیشترین رشد گیاه مربوط به رقم واندانا در تیمار ۱۰ mg Zn kg^{-1} و ۵ mg Cd kg^{-1} به دست آمد که این نشان می‌دهد که عناصر سنگین در غلظت‌های پایین رشد گیاه را افزایش می‌دهند.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از پایان نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول بوده که بدین وسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تبریز بدلیل تامین هزینه‌های لازم تقدیر و تشکر می‌گردد. بذور برنج از موسسه تحقیقات برنج کشور واقع در رشت تامین شده که بدینوسیله از آقای دکتر دواتگر صمیمانه تشکر می‌گردد. همچنین از کلیه داوران محترم این مقاله سپاسگذاریم.

REFERENCES

Afyuni, M. A., Khoshogoftarmanesh, H., Dorostkar, V. and Moshiri, R. (2007). Zinc and cadmium content in fertilizers commomly used in Iran. from http:// www.zinc-crops. ionainteractive. com/ Zn crops 2007/ page-session-3 htm.

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. (1995) *Heavy metals in soils* (2nd ed.). Blackie Academic & Professional Publishers, London.

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.

Baker, Sh . (2009). *Effect of water on micronutrient content and yield in rice* (*Oryza sativa L.*). A thesis presented to the Faculty of California Polytechnic State University San Luis Obispo.

Behtash, F., Tabatabaei, S. J., Malakouti, M. J., Sororaddin, M. H. and Oustan, Sh. (2010). Effect of zinc and cadmium on growth, chorophyll content, photosynthesis, and cadmium concentration in red beet. *Iranian Journal of Soil Research*, 24(1), 31-41.(In Farsi)

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

Chaab, A. and Savaghebi, Gh. (2010). Effect of zinc application on cadmium uptake of maize growth. *Agricultural Segment*, 1(1), AGS/1515.

Charati, A., Malakouti, M. J., Abedi, M. J., Ziaeian, A.H. and Asadi Kangarshahi, A. (2005). Effect of zinc and cadmium on the rates of their absorption by rice (Oriza Sativa). Part 1: Vegetative growth. In: Proceedings of *9th Iranian Congress of Soil Science*, 28-31 Aug, Tehran, Iran, pp. 211-212. (In Farsi)

Choudhary, M., Bailey, L. D. and Grant, C. A. (1994). Effect of zinc on cadmium concentration in the tissue of durum wheat. *Canadian Journal of Plant Science*, 74, 549-552.

Fageria, N. K. (2009) *The use of nutrients in crop plants*. CRC by Press Taylor & Francis Group, LLC.

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)

Gao, X., Zou, Ch., Fan, X., Zhang, F. and Hoffland, E. (2006). Flooded to aerobic conditions in rice cultivation: consequences for zinc uptake. *Plant Soil*, 208, 41-47.

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

Gupta, V. K. and Potalia, B. S. (1990). Zinc-cadmium interaction in wheat. *Journal of the Indian Society of Soil Science*, 38 (3), 452-457.

Haldar, M. and Mandel, L. N. (1979). Influenc of soil moisture regimes and organic matter application on the extractable Zn and Cu content in rice soils. *Plant Soil*, 53, 203-213.

Hanan, El. Said Deef. (2008). Effect of cadmium and zinc on growth parameters of tomato seedlings. *Acadademic Journal of Plant Sciences*, 1 (1), 5-11.

Hassan, M. J., Zhang, G., Wu, F., Wei, K. and Chen, Zh. (2005). Zinc alleviates growth inhibition an oxidative stress caused by cadmium. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168, 255-261.

Jiao, Y., Grant, C. A. and Bailey, L. D. (2004). Effects of phosphorus and zinc fertilizer on cadmium uptake and distribution in flax and durum wheat. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84, 777–785.

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

Archive of SID
www.SID.ir

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.

Kramer, P. J. (1983) *Water realations of plants*. Academic Press. INC. Florida. USA.

Lakzian, A., Halajnia, A., Haghnia, G.H. and Ramezanian, A. (2009). Effect of copper and zinc on the uptake of cadmium by corn and sunflower. *Jouranl of Water and Soil*, 23(3), 71-77. (In Farsi)

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.

Maftoun, M. and Karimian, N. (1989). Relative efficiency of two zinc sources for maize (*zea mays L.*) in two calcareous soils from an arid area of Iran. *Agronomy*, 9,771-775.

Mahmoodi, M., Malakouti, M. J. and Ramezanpour, M. R. (2004). A study on effects of zinc sulphate on two varieties of rice in the east of Mazandaran Privince. *Agric. Sci. Nature. Resour*, 11(2), 55-63. (In Farsi)

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

Moustakas, N. K., Akoumianaki-Ioannidou, A. and Barouchas, P. E. (2011). The effects of cadmium and zinc interactions on the concentration of cadmium and zinc in pot marigold (*Calendula officinalis L.*). *Australian Journal of Crop Science*, 5(3), 277-282.

Nan, Z., Li, J., Zhang, J. and Cheng, G. (2002). Cadmium and zinc intractions and their transfer in soil-crop system under actual field conditions. *The Science of the Total Environment*, 285, 187-195.

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.

Robson, A. D. (1993) *Zinc in soils and plants*. Dvelopment in Plant and Soil Science. 55. Kluwer Academic Publishers.

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)

Soil Conservation Service. (1992). *Soil survey laboratory methods and procedures for collection soil sample*. USDA. SCS. Soil Surv. Washington, DC

Towfighi, H. and Najafi N. (2002). Changes in recovery and availability of native and applied zinc in paddy soils of north of Iran under waterlogged and non-waterlogged conditions. *Proceedings of 7th Iranian Soil Science Congress*, 26-28 August, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. (In Farsi)

U. S. Salinity Staff. (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. USDA Handbook. 60, Washington, DC. USA. 190p.

Wang, R. M., Chen, C. C., Yang, X. E. and Zhang, Y. X. (2009). Growth responses to varying zinc activites in rice genotypes differing in Zn efficiency and Zn density. *Journal of Plant Nutrition*. 32, 681-693.

Wu, F. B., Zhang, G. P. and Yu, J. (2003). Interaction of cadmium and four microelements for uptake and translocation in different barley genotypes. *Communication of Soil Science and Plant Analysis*, 34(13&14), 2003-2020.

Yang, X. E., Chen, Y. X., Tian, G. M. and Zhang, Z. J. (2005). Microbial activity related to N cycling in the rhizosphere maize stressed by heavy metals. *Journal of Environmental Sciences*, 17(3), 448-451.

Zazoli, M. A., Bazerafshan, E., Hazarati, A. and Tavakkoli, A. (2006). Determination and estimation of cadmium intake from Tarom rice. *J. Appl. Sci. Environ. Mgt*, 10 (3), 147-150.

Archive of SID

www.SID.ir