اثر پتاسیم و روی در کاهش غلظت کادمیم در اندام‌های مختلف گیاه گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* L.) در کشت بدون خاک

زهرا قاسمی[۱*] و علی اصغر شهابی[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۳/۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۲/۲۹)

چکیده

به منظور بررسی اثر پتاسیم و روی با کادمیم در ریشه، ساقه، برگ و میوه گیاه گوجه‌فرنگی، آزمایشی گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی به اجرا در آمد. فاکتور اول سه سطح روی (۸۸/۸، ۱۷۷/۶ و ۳۵۵/۲ میکروگرم در لیتر) و فاکتور دوم سه سطح پتاسیم (۲۵۵، ۵۱۰ و ۱۰۲۰ میلی‌گرم در لیتر) بود. در این آزمایش، محلول غذایی پایه (محلول هوگلند) در تمامی تیمارها حاوی غلظت ۲۰ میکرومولار کادمیم بود. در دوره دوم برداشت، غلظت کادمیم، پتاسیم و روی در اندام‌های مختلف گیاه شامل ریشه، ساقه، برگ و میوه اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که افزایش غلظت روی در محلول غذایی تأثیر معنی‌داری بر غلظت کادمیم و پتاسیم در ریشه نداشت؛ لیکن سبب افزایش غلظت روی در ریشه گردید. در ساقه، کاربرد روی سبب افزایش غلظت کادمیم و روی شد؛ اما تأثیری بر غلظت پتاسیم نداشت. در برگ، غلظت پتاسیم و کادمیم افزایش یافت؛ لیکن تأثیری بر غلظت روی مشاهده نگردید. در میوه نیز غلظت هیچ‌کدام از سه عنصر روی، پتاسیم و کادمیم تحت تأثیر افزایش غلظت روی در محلول غذایی قرار نگرفت. افزایش غلظت پتاسیم در محلول غذایی تأثیر معنی‌داری بر غلظت کادمیم، روی و پتاسیم در ریشه نداشت. در ساقه، تنها غلظت روی افزایش یافت. لیکن در برگ، سبب کاهش معنی‌دار کادمیم همگام با افزایش غلظت پتاسیم شد. در میوه نیز پتاسیم تنها سبب افزایش غلظت روی گردید. اثر متقابل پتاسیم و روی تنها بر غلظت پتاسیم ریشه و غلظت روی در میوه معنی‌دار بود. به طور کلی، در شرایط آزمایش حاضر، در گیاه گوجه‌فرنگی، روی و کادمیم اثر متقابل مثبت (هم‌افزایی) و پتاسیم و کادمیم دارای اثر متقابل منفی (ضدیتی) می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: عناصر سنگین، عناصر غذایی، هم‌افزایی، اثر ضدیتی.

مقدمه

گوجه‌فرنگی یکی از سبزی‌های مهمی است که به علت داشتن انواع ویتامین‌ها، کاروتن، اسیدهای مفید، قند و املاح معدنی، نقش مهمی را در سلامت انسان ایفا می‌کند. این گیاه به شکل های مختلف در تغذیه مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱). کادمیم عمدتاً از فرسایش منابع طبیعی و فعالیت‌های انسانی به بیوسفر آزاد می‌شود (۸). منبع اصلی و غالب کادمیم، در خاک‌هایی که به طور ذاتی و طبیعی آلوده به کادمیم نیستند، مصرف مداوم و بیش از حد کودهای فسفاته حاوی مقادیر زیاد کادمیم است (۱۲).

کادمیم به علت تحرک زیاد در خاک یکی از خطرناک‌ترین فلزات محسوب می‌شود. به طوری که در غلظت‌های کم نیز برگیاهان تأثیر منفی می‌گذارد (۱۳). کادمیم سبب ایجاد اختلال در جابجایی عناصر کم‌مصرف به برگ‌ها می‌شود. همچنین

۱. دانشگاه پیام نور، واحد نجف آباد

۲. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: zaghasemi115@yahoo.com

تحقیقات نشان داده کـه غلظـت عناصـر پرمـصرف در حـضور کادمیم به شدت در برگ‌ها کاهش می‌یابد. به طوری که محتوای کـاتیون‌هـای چنـدظرفیتی مـی‌توانـد بـا حـضور کـادمیم طـی فرایندهای رقابتی از طریق رقابت بر سر جایگاه‌های پیونـدی یـا توسط ناقلین تحت تأثیر قرار گیرد. تجمع پتاسیم نیز می‌تواند از طریق تغییر در فعالیت ATP_{ase} یا فریک ردوکتاز تحت تأثیر قرار گیرد. این موضوع در برنج و نخود بررسی شده است (۱۷).

پتاسیم در فیزیولوژی و متابولیسم گیاه نه تنها از نظر مقـدار موجود در بافت‌های گیاهی، بلکه از نظر وظایف فیزیولوژیک و شیمیایی مهمترین کاتیون است (۲). پتاسیم به صورت کـاتیون و به مقدار زیاد، به طور سریع جذب شـده و انتقـال آن در داخـل گیاه نیز سـریع مـی‌باشـد (۲). اگـر چـه پتاسـیم در گیـاه نقـش ساختمانی ندارد، اما فعال کننده بیش از۶۰ نـوع آنـزیم در گیـاه است. این احتمال وجود دارد که در اثـر وجـود غلظـت زیـاد و سمی کادمیم در محیط ریشه و در نتیجه جذب آن توسط ریشه، در سازوکار متابولیسمی گیاه ایجاد اخـتلال شـود. یکـی از ایـن اختلالات مربوط به کاهش تأثیرپـذیری آنـزیم‌هـا از پتاسـیم در شرایط معمول غلظت ایـن عنـصر در محـیط و در داخـل گیـاه است. لذا به این دلیل، بررسی تأثیر غلظـت‌هـای بیـشتر از حـد معمول پتاسیم جهت کاهش اثرهای منفی کادمیم در حـالتی کـه غلظت این عنصر در محیط در حد سـمیت اسـت قابـل توجیـه می‌باشد (۴).

از طرف دیگر، عنصر روی بعد از آهن فـراوان‌تـرین عنـصر در موجـودات زنـده مـی‌باشـد (۷). روی از محلـول خـاک بـه صورت Z_n^{2+} یا $Z_n(OH)_2^{\cdot}$ در پ-هاش زیاد جذب می‌شود و جذب آن توسط پروتئین ناقل غشا صـورت مـی‌گیـرد. روی در داخل گیاه به صورت Z_n^{2+} یا به صورت ترکیب با اسیدهای آلی انتقال داده می‌شود. این عنصر در بافت‌های ریشه تجمع یافتـه و در صورت نیاز به بخش هوایی منتقل می‌شود (۵).

کادمیم و روی ساختار الکترونی و ظرفیـت مـشابه داشـته و بنابراین تمایلات مساوی برای لیگانـدهای سـولفور، نیتـروژن و اکسیژن دارند. از این رو، خواص فیزیکـی و شـیمیایی مـشابهی دارند. به علت خواص مشابه روی و کادمیم، کادمیم می‌تواند به سادگی بسیاری از فرایندهای وابسته به روی را از طریق رقابـت بر سر جایگاه‌های مشابه یا واکنش‌های جایگزینی- جانشینی در اشغال جایگاه‌های فعال متالوپروتئین‌های روی ممانعت کند (۶). کاهش غلظت کادمیم در برگ‌های تربچه بـا اضـافه کـردن روی مـشاهده شـده اسـت. همچنـین ول و همکـاران (۱۹) گـزارش کردند که روی، سطح کادمیم را در برگ‌های گیاه کـاهو کـه در غلظت ۲ میکرومولار قرار داشتند، کاهش داد. مطالعات در مورد اثـر متقابـل کـادمیم و روی نقـش ضـدیتی روی را در سـمیت کادمیم به وضوح مشخص کرده است. نشانه‌های سـمیت شـامل سبز زردی و بافت مردگی که در شرایط فزونی کادمیم مـشاهده می‌شود، به طور واضحی توسط روی کـاهش مـی‌یابـد (۶). بـه طور کلی، محققین نشان داده‌اند که اثر روی بر جذب کادمیم در گیاه ممکن است به گونه گیاهی، بافـت گیـاه و سـطوح روی و کادمیم محیط وابسته باشد (۱۴). برهمکنش بین کادمیم و دیگـر عناصر ممکن است مکانیـسم‌هـای انتقـال مـشابه داشـته باشـد. کاتالدو و همکاران (۹) کاهش جـذب کـادمیم توسـط ریـشه و انتقال آن به بخش هوایی را توسط مس، آهن، منگنـز و روی در نهال‌های سویا گزارش کردند. با توجه به برهمکنش بین عناصـر در گیاهان مختلف و همچنین تحقیق قاسـمی و شـهابی (۳) در خصوص تأثیر کادمیم بر پارامترهای رویـشی و غلظـت عناصـر غذایی در اندام‌های مختلف گیاه گوجه‌فرنگی در شرایط کـشت بدون خاک، که طی آن مشخص گردید افزایش غلظـت کـادمیم در محیط ریشه در حد ۲۰ میکرومولار سبب افـزایش جـذب و غلظت این عنصر در ریشه، ساقه و برگ شده و آثار سوء ناشـی از این انباشتگی بر پارامترهـای رویـشی و کـاهش رشـد گیـاه، تحقیق حاضر با هدف مطالعه اثرهای اصلی و متقابـل پتاسـیم و روی بر کاهش غلظت کـادمیم در گیـاه گوجـه‌فرنگـی صـورت گرفته است.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در تابستان سال ۱۳۸۷ در محل گلخانه مرکز تحقیقات

کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان روی گیاه گوجه‌فرنگی صورت گرفت. برای کاشت گوجه‌فرنگی از بذر رقم نورا (Nora) به عنوان یکی از ارقام تجاری داربستی مرسوم و مورد کاشت در گلخانه‌های تجاری استان اصفهان استفاده شد. بذرها ابتدا در ظرف نشا محتوی پیت ماس کشت شده و در شرایط گلخانه‌ای قرار گرفتند. پس از طی ۲۲ روز، با آبیاری منظم و در شرایط کنترل شده، نشاهای سه برگی آماده انتقال به گلدان‌های حاوی پرلیت در سیستم هیدروپونیک برای آزمایش‌های اصلی شدند. در این روش، محلول غذایی تیمار شده به روش آبیاری قطره‌ای طی ۳ تا ۶ نوبت در شبانه‌روز (بسته به مراحل رشد) توسط تایمر تنظیم و به گلدان‌ها اضافه می‌گردید. این آزمایش در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی و به صورت فاکتوریل به اجرا در آمد. فاکتور اول شامل تیمار روی در سه سطح (۸۸/۸ =Zn1 ، ۱۷۷/۶ =Zn2 و ۳۵۵/۲ =Zn3 میکروگرم در لیتر) و تیمار پتاسیم در سه سطح (K1=۲۵۵، K2 = ۵۱۰ و K3= ۱۰۲۰ میلی‌گرم در لیتر) بود. سطح اول روی به میزان ۸۸/۸ میکروگرم در لیتر و سطح اول پتاسیم به میزان ۲۵۵ میلی‌گرم در لیتر همان غلظت‌های پایه در محلول غذایی هوگلند و سطوح دوم و سوم هر یک از این عناصر به ترتیب دو و چهار برابر غلظت پایه است. در این آزمایش، به محلول غذایی در تمام تیمارها ۲۰ میکرومولار کادمیم اضافه شد. برای تهیه تیمار کادمیم، روی و پتاسیم به ترتیب از نمک کلرید کادمیم ($CdCl_2.2.5H_2O$)، نمک سولفات روی ($Z_nSO_4.7H_2O$) و نمک سولفات پتاسیم (K_2SO_4) استفاده شد. برای تیمار کادمیم، ۶۰ میلی‌لیتر از محلول ۰/۰۲ مولار کادمیم، برای تیمارهای Zn2 و Zn3 به ترتیب ۲۵ و ۵۰ میلی‌لیتر از محلول ۰/۰۱ مولار Z_nSO_4 و برای تیمارهای K2 و K3 به ترتیب ۶۸ و ۱۳۶ میلی‌لیتر از محلول ۰/۵ مولار K_2SO_4 به ۶۰ لیتر محلول غذایی در هر مرحله ساخت محلول غذایی اضافه شد.

در مرحله میوه‌دهی (مرحله دوم برداشت)، نمونه‌های گیاهی از قسمت‌های مختلف گیاه شامل ریشه، ساقه، برگ و میوه تهیه شد. برای اندازه‌گیری غلظت عناصر پتاسیم، روی و کادمیم براساس روش‌های استاندارد و معمول (۱۶)، پس از آماده سازی نمونه‌های گیاهی، غلظت پتاسیم توسط دستگاه نورسنج شعله‌ای (Flame emission spectrometer) و غلظت عناصر روی و کادمیم توسط دستگاه جذب اتمی شعله‌ای تعیین شد. سپس به کمک نرم افزار SAS تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها انجام گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ انجام شد و نمودارها نیز توسط نرم‌افزار اکسل رسم گردید.

نتایج

اثر تیمارهای آزمایش بر غلظت عناصر در برگ

نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایش بر غلظت عناصر غذایی برگ در جدول ۱ آمده است. نتایج نشان داد که با مصرف روی، غلظت کادمیم برگ به طور معنی‌داری در سطح ۱٪ افزایش یافت. کمترین میانگین غلظت کادمیم مربوط به تیمار Zn1 (۸۹/۲۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و بیشترین آن مربوط به تیمارهای Zn2 و Zn3 (به ترتیب ۱۰۳/۳۱ و ۱۰۳/۲۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود (شکل ۱). ولی مصرف روی بر غلظت روی و پتاسیم برگ اثر معنی‌دار نداشت. کاربرد پتاسیم تأثیر معنی‌داری بر غلظت روی، پتاسیم و کادمیم برگ داشت. به طوری که بیشترین غلظت روی در تیمار K2 مشاهده شد. غلظت پتاسیم نیز با افزایش سطح پتاسیم نسبت به سطح اول افزایش قابل ملاحظه‌ای داشت. از طرفی، غلظت کادمیم برگ از ۱۰۴/۲۹ به ۸۷/۶۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم کاهش یافت (شکل ۲). اثر متقابل پتاسیم و روی بر غلظت عناصر اندازه‌گیری شده معنی‌دار نبود (جدول ۱).

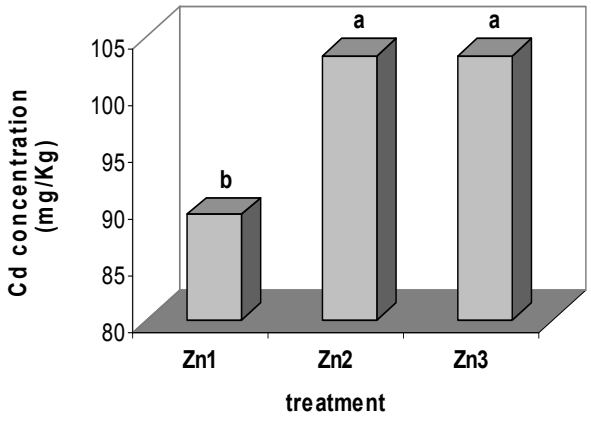
اثر تیمارهای آزمایش بر غلظت عناصر ساقه

همانگونه که داده‌های جدول ۲ نشان می‌دهد از بین تیمارهای آزمایش، تنها تیمار روی بر غلظت روی و کادمیم ساقه در سطح ۱٪ اثر معنی‌دار داشت. کاربرد روی باعث افزایش غلظت این عنصر در ساقه شد. همچنین افزایش غلظت روی تأثیر

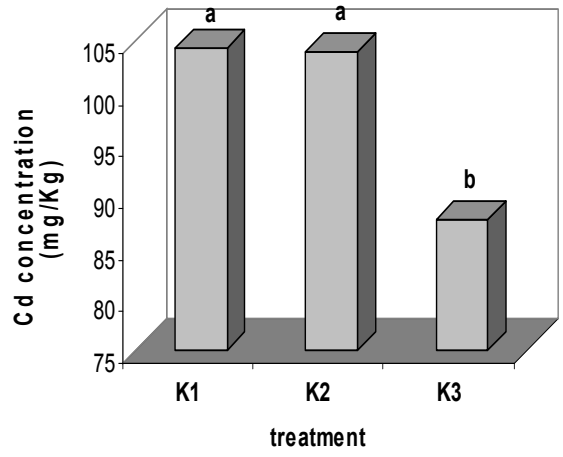
جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایش بر غلظت پتاسیم، روی و کادمیم در برگ

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		Zn	K	Cd
بلوک	۲	۱۸۸/۹۸^{ns}	۰/۱۹^{ns}	۱۲۱/۱۷^{ns}
Zn	۲	۶۰/۶۴^{ns}	۱/۳۶^{ns}	۵۸۹/۴۱**
K	۲	۵۱۸/۲۵*	۴/۸۷**	۸۱۳/۷۷**
Zn×K	۴	۵۰/۳۵^{ns}	۰/۳۹^{ns}	۱۰۵/۹۰^{ns}
خطا	۱۶	۱۰۳/۷۶	۰/۴۱	۸۵/۸۱
ضریب تغییرات (٪)		۲۵/۶۰	۱۰/۵۷	۲۳/۳۹

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح ۱٪ و ۵٪ و عدم تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن



شکل ۱. اثر تیمار روی بر غلظت کادمیم برگ



شکل ۲. اثر تیمار پتاسیم بر غلظت کادمیم برگ

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایش بر غلظت پتاسیم، روی و کادمیم در ساقه

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		K	Zn	Cd
بلوک	۲	۰/۰۹^{ns}	۷۷/۰۳^{ns}	۰/۲۸^{ns}
Zn	۲	۱/۱۰^{ns}	۱۷۵۷/۲۷**	۸۸۱/۹۹**
K	۲	۱/۱۷^{ns}	۱۹۳/۶۱^{ns}	۴۱/۰۳^{ns}
Zn×K	۴	۱/۱۷ ^{ns}	۷۷/۳۰^{ns}	۵۶/۸۸^{ns}
خطا	۱۶	۰/۹۴	۷۲/۷۳	۵۸/۶۴
ضریب تغییرات (٪)		۱۸/۱۲	۲۵/۶۰	۲۲/۳۹

** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۱٪ و عدم تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن

جدول ۳. نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای روی بر غلظت پتاسیم، روی و کادمیم در ساقه*

غلظت روی	Cd (mg/kg)	Zn (mg/kg)	K (٪)
Zn_1	۲۱/۸۰b	۱۸/۵۳c	۴/۹۵a
Zn_2	۳۵/۱a	۳۵/۰۸b	۵/۴۷a
Zn_3	۴۱/۰۹a	۴۶/۳۱a	۵/۶۱a

* در هر ستون، میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ می‌باشند.

افزایشی بر غلظت کادمیم ساقه داشت. غلظت کادمیم در سطح اول روی ۲۱/۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. با افزایش غلظت روی، افزایش معنی‌داری در غلظت کادمیم ساقه مشاهده شد. به طوری که بیشترین تجمع کادمیم در ساقه در سطوح دوم و سوم روی و برابر با ۳۵/۱ و ۴۱/۰۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود (جدول ۳). تیمار پتاسیم و اثر متقابل آن با روی بر غلظت عناصر اندازه گیری شده معنی‌دار نبود (جدول ۲).

اثر تیمارهای آزمایش بر غلظت عناصر ریشه

چنانکه داده‌های جدول ۴ نشان می‌دهد کاربرد سطوح مختلف روی تنها بر غلظت روی در ریشه در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. لیکن بر غلظت کادمیم و پتاسیم ریشه اثر معنی‌دار نداشت.

نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با کاربرد روی، غلظت این عنصر در ریشه به طور قابل توجهی افزایش یافت (جدول ۵). کاربرد سطوح مختلف پتاسیم بر غلظت کادمیم، روی و پتاسیم ریشه معنی‌دار نبود. با این وجود، اثر متقابل روی و پتاسیم فقط بر غلظت پتاسیم تأثیر معنی‌دار داشت (جدول ۴).

اثر تیمارهای آزمایش بر عناصر میوه

در میوه، اثر تیمار پتاسیم بر غلظت روی در سطح ۵٪ معنی‌دار بود. به طوری که بیشترین غلظت روی (۳۲/۱۳٪) در سطح K1 مشاهده شد. اثر متقابل پتاسیم و روی نیز در سطح ۱٪ بر غلظت روی معنی‌دار شد. در کلیه تیمارها، غلظت کادمیم میوه در حد تشخیص دستگاه نبود (جدول ۶).

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایش بر عناصر غذایی اندازه‌گیری شده در ریشه

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		K	Zn	Cd
بلوک	۲	۰/۲ns	۱۰۸۲/۸ns	۴۵۰۵۲/۹ns
Zn	۲	۲/۳ns	۲۱۸۰۸/۱**	۵۰۶۶۱/۰ns
K	۲	۱/۶ns	۲۴۴/۹ns	۱۰۴۷۰۲/۸ns
Zn×K	۴	۷/۵**	۱۲۳۱/۸ns	۶۲۳۲۴/۰ns
خطا	۱۶	۰/۶	۶۵۴/۲	۴۸۷۱۹/۱
CV(٪)		۱۵/۶۹	۲۲/۶۵	۲۷/۴۵

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح ۱٪ و ۵٪ و عدم تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن

جدول ۵. نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای روی بر غلظت پتاسیم، روی و کادمیم در ریشه

غلظت روی	Cd (mg/kg)	Zn (mg/kg)	K (٪)
Zn_1	۸۰۱/۵a	۷۰/۶۴c	۵/۸۴a
Zn_2	۸۸۰/۰a	۱۰۱/۱۲b	۴/۹۰b
Zn_3	۷۳۰/۰a	۱۶۶/۹۶a	۵/۰۷ab

در هر ستون، میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ می‌باشند.

جدول ۶. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایش بر عناصر غذایی اندازه‌گیری شده در میوه

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		K	Zn	Cd
بلوک	۲	۰/۱۳ns	۱۳۳/۳۶ns	-
Zn	۲	۰/۶۸ns	۱۱۰/۹۴ns	-
K	۲	۰/۵۳ns	۳۲۷/۳۴**	-
Zn×K	۴	۰/۳۱ns	۱۹۸/۹۴*	-
خطا	۱۶	۰/۲۵	۵۶/۴۵	-
ضریب تغییرات (٪)		۱۲/۴۸	۲۹/۵۲	–

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح ۱٪ و ۵٪ و عدم تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن

بحث

برهمکنش کادمیم و روی

با بررسی اثر سطوح مختلف روی بر غلظت کادمیم در بخش‌های مختلف گیاه گوجه‌فرنگی مشخص شد که افزایش غلظت روی در محیط ریشه نسبت به حالت پایه تأثیری برجذب کادمیم در ریشه ندارد. اما در بخش هوایی (ساقه و

برگ)، غلظت کادمیم همگام با افزایش سطح روی در محلول غذایی افزایش چشمگیری را نشان داد. در واقع، نتایج این آزمایش گویای این مطلب است که کادمیم و روی در گیاه گوجه‌فرنگی اثر هم‌افزایی داشته و افزایش غلظت روی سبب افزایش غلظت کادمیم در بخش هوایی گیاه شده است.

در مورد اثر سطوح مختلف روی بر غلظت کادمیم در گیاه نتایج ضد و نقیضی وجود دارد. بسیاری از محققین نشان داده‌اند که اضافه کردن روی به خاک، غلظت کادمیم را در محصولات کاهش می‌دهد (۹ و ۱۰). اما عده‌ای دیگر گزارش کرده‌اند که جذب کادمیم با اضافه کردن روی به خاک افزایش می‌یابد (۱۵). اما چوی و همکاران (۱۱) هیچ اثر کنشی بین روی و کادمیم در میزان جذب در گیاه نخود مشاهده نکردند.

محققین همچنین نشان داده‌اند که تأثیر ضدیتی روی به طور قوی بر غلظت کادمیم در برگ‌های جوان اسفناج در غلظت‌های کم کادمیم رخ می‌دهد. این محققین همچنین بیان داشتند که اثر روی بر جذب کادمیم در گیاه ممکن است وابسته به گونه گیاهی، بافت گیاه و سطوح روی و کادمیم محیط باشد (۱۴). حسن و همکاران (۱۳) طی مطالعه‌ای در خصوص اثر کادمیم و روی در برنج مشاهده کردند که تأثیر روی بر کادمیم در اندام‌های مختلف گیاه متفاوت است. به طوری که در غلظت‌های زیاد روی، افزایش میزان روی باعث افزایش قابل توجه میزان کادمیم در بخش هوایی شد. در حالی که عنصر روی، غلظت کادمیم ریشه‌ها را کاهش داد. مشخص شده که جابجایی فلزات در گیاه به تولید فیتوکلاتین‌ها بستگی دارد. به نظر می‌رسد تولید فیتوکلاتین به شدت در غلظت‌های زیاد کادمیم تحریک شده و کمپلکس کادمیم- فیتوکلاتین در واکوئل سلول‌های ریشه تجمع یافته و از این طریق جابجایی کادمیم کاهش می‌یابد. اضافه کردن روی برای تشکیل کمپلکس رقابت می‌کند و بنابراین مقدار کادمیم آزاد افزایش یافته و به دنبال آن باعث افزایش جابجایی کادمیم از ریشه به بخش هوایی می‌گردد (۱۳).

برهمکنش پتاسیم و کادمیم

نتایج نشان داد که کاربرد پتاسیم باعث کاهش تجمع کادمیم در تمام بخش‌های گیاه (ریشه، ساقه و برگ) شده است. هرچند این کاهش در ریشه و ساقه به لحاظ آماری معنی‌دار نبود. با این وجود، افزایش غلظت پتاسیم به طور معنی‌داری باعث کاهش تجمع کادمیم در برگ‌ها شد. چنین مشخص شده که افزایش غلظت پتاسیم در گیاه می‌تواند به طور شگرفی تولید گونه‌های فعال اکسیژنی (ROS) را از طریق کاهش فعالیت NADPH اکسیداز و نگهداری انتقال الکترون فتوسنتزی مهار کند. به نظر می‌رسد وجود غلظت زیاد پتاسیم اثر منفی کادمیم بر فعالیت‌های فوق در غلظت معمول پتاسیم را کاهش دهد. اثر ضدیتی مشاهده شده در این آزمایش بین پتاسیم و کادمیم با نتایج مطالعات یومار و همکاران (۱۸) مطابقت دارد. آنان نشان دادند که اضافه کردن کادمیم به خاک باعث افزایش غلظت کادمیم در برگ‌های گیاه خردل شده است و تفاوت قابل توجهی در میزان کادمیم در گیاهان رشد یافته در غلظت‌های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک دیده شد. با کاربرد پتاسیم در این خاک‌ها به میزان ۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک، غلظت کادمیم برگ به طور چشمگیری کاهش یافت، که حاکی از تأثیر ضدیتی پتاسیم بر جذب کادمیم توسط گیاه می‌باشد.

نتیجه‌گیری

به طور کلی، نتایج نشان داد که کاربرد روی به منظور کاهش اثر آلاینده کادمیم در گیاه گوجه‌فرنگی، به علت اثر هم‌افزایی روی و کادمیم، نه تنها سبب کاهش غلظت کادمیم در بخش هوایی نشد، بلکه باعث افزایش کادمیم در این بخش شده و اثر سمیت آن با کاهش پارامترهای رشد نیز بروز نموده است. همچنین، کاربرد پتاسیم باعث کاهش تجمع کادمیم در ریشه، ساقه و برگ شد. هرچند این کاهش در ریشه و ساقه معنی‌دار نبود، اما افزایش غلظت پتاسیم به طور معنی‌داری باعث کاهش تجمع کادمیم در برگ‌ها شد.

منابع مورد استفاده

۱. پیوست، غ. ۱۳۸۰. سبزیکاری. نشر علوم کشاورزی، تهران، ۵۰۳.

۲. ثواقبی، غ. و م. ج. ملکوتی. ۱۳۷۹. اثرات برهمکنش کادمیم و پتاسیم بر تولید ماده خشک، غلظت و جذب کادمیم و پتاسیم در گندم. مجله خاک و آب ۱۲(۹): ۴۴-۵۳.

۳. قاسمی، ز. و ع. ا. شهابی. ۱۳۸۹. تأثیر کادمیم بر شاخص‌های فیزیولوژیک، صفات رویشی و غلظت عناصر غذایی در گیاه گوجه‌فرنگی در شرایط کشت بدون خاک. مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۱(۲): ۵۵-۶۶.

۴. ملکوتی، م. ج.، ع. ا. شهابی و ک. بازرگان. ۱۳۸۴. پتاسیم در کشاورزی ایران. انتشارات سنا، تهران، صفحات ۱۰۸-۱۱۰.

5. Allowey, B.J. 2004. Zinc in soil and crop nutrition. http://www.zincworid.org.
6. Aravinad, P., M. Narasimba and V. Prasad. 2005. Cadmium-zinc interactions in hydroponic system using *Ceratophyllum demersum* L.: Adaptive ecophysiology, biochemistry and molecular toxicology. Braz. J. Plant Physiol. 17(1): 3-20.
7. Broadley, M.R., P.J. White, J.P. Hammond, I. Zelko and A. Lux. 2007. Zinc in plants: Review. New Phytologist 173: 677-702.
8. Benavides, M.P., S.M. Gallego and M.L. Tomaro. 2005. Cadmium toxicity in plants. Braz. J. Plant Physiol. 17(1): 21-34.
9. Cataldo, D.A., T.R. Garland and R.E. Wildung. 1983. Cadmium uptake kinetics in intact soybean plants. Plant Physiol. 73: 844-848.
10. Choudhary, M., L.D. Bailey, C.A. Grant and D. Leisle. 1994. Effect of Zn on the concentration of Cd and Zn in plant tissue of two durum wheat lines. Can. J. Plant Sci. 75(2): 445-448.
11. Chaoui, A., M.H. Ghorbal and E. El-Ferjani. 1997. Effects of cadmium-zinc interaction on hydroponically grown bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Plant Sci. 126: 21-28.
12. Ehn, C. 2003. Cadmium review. Nordic Council of Ministers 1(4): 2-22.
13. Hassan, M.J., G. Zhang, F. Wu, K. Wei and Z. Chen. 2005. Zinc alleviates growth inhibition and oxidative stress caused by cadmium in rice. J. Plant Nutr. Soil Sci. 168: 255-261.
14. Mckenna, I., R.L. Chaney and F.M. Williams. 1991. The effects of cadmium and zinc interactions on the accumulation and distribution of zinc and cadmium in lettuce and spinach. Environ. Pollution 79: 113-120.
15. Moraghan, J.T. 1993. Accumulation of cadmium and selected elements in flax seed grown on a calcareous soil. Plant Soil 150: 61-68.
16. Page, A.L., R.H. Miller and H. Keeney. 1992. Methods of Soil Analysis. Part 2, American Society of Agronomy, Madison, WI.
17. Sandalio, L.M., H.C. Dalurzo, M. Gomez, M.C. Romero-Puertas and L.A. del-Rio. 2001. Cadmium-induced changes in the growth and oxidative metabolism of pea plants. J. Exp. Bot. 52(364): 2115-2126.
18. Umar, S., I. Diva, N.A. Anjum and M. Iqbal. 2008. Potassium nutrition reduces cadmium accumulation and oxidative burst in mustard (*Brassica campestris* L.). Elect. Intl. Fert. Correspondent 16: 6-10.
19. Welch, R.M., W.A. House and D.R. Van Campen. 1978. Availability of cadmium from lettuce leaves and cadmium sulfate to rats. Nutr. Rep. Intl. 17: 35-42.