

اثر روی و کادمیم بر رشد، مقدار کلروفیل، فتوسنتز و غلظت کادمیم

در چغندر لبویی

فرهاد بهتاش،^{۱*} سید جلال طباطبایی، محمد جعفر ملکوتی، محمد حسین سرورالدین

و شاهین اوستان

به ترتیب دانشجوی دکتری گروه باغبانی دانشگاه تبریز؛ fbehtash@yahoo.com

استاد گروه باغبانی دانشگاه تبریز؛ tabatabaei@tabrizu.ac.ir

استاد گروه خاکشناسی دانشگاه تربیت مدرس؛ mjmalakouti@hotmail.com

استاد شیمی تجزیه دانشکده‌ی شیمی دانشگاه تبریز؛ sororaddin@tabrizu.ac.ir

استادیار گروه خاکشناسی دانشگاه تبریز؛ oustan@tabrizu.ac.ir

چکیده

کادمیم (Cd) یکی از فلزات سنگین است که افزایش غلظت آن در محیط ریشه گیاه سبب بروز اختلالات متابولیسمی در گیاه می‌گردد. از طرف دیگر به دلیل شباهت رفتاری یونهای روی (Zn) و Cd، افزایش Zn در محیط ریشه می‌تواند تعدیل‌کننده‌ی تاثیرات سمی Cd باشد. به منظور بررسی اثر این دو یون بر رشد و عملکرد چغندر لبویی (*Beta vulgaris L. cv. dark red*) آزمایشی گلخانه‌ای با سه سطح Cd (صفر، ۴۵ و ۹۰ میکرومولار) و سه سطح Zn (۰/۵، ۱۵۵ و ۳۱۰ میکرومولار) با چهار تکرار به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوکهای کامل تصادفی در سال ۱۳۸۵ انجام گرفت. بذور چغندر لبویی در گلدانهای ۱۴ لیتری در بستر پرلایت کاشته شد. گیاهان با محلول غذایی هوگلند آبیاری گردیدند. مقدار کلروفیل، فتوسنتز و سطح برگ گیاهان در طول زمان رشد، بررسی و پس از گذشت سه ماه چغندر لبویی برداشت و غلظت Zn و Cd در برگ و ریشه گیاهان تحت آزمایش اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که مصرف Cd موجب افزایش معنی‌دار غلظت Cd در برگ و ریشه گیاه چغندر لبویی و کاهش معنی‌دار فتوسنتز خالص شد. در تیمار ۹۰ میکرومولار Cd (Zn_1Cd_2)، وزن خشک، سطح برگ، فتوسنتز، کلروفیل و غلظت Zn برگ به ترتیب ۷۲، ۳۲، ۳۹، ۲۹ و ۶۰ درصد نسبت به تیمار شاهد (Zn_1Cd_0) کاهش نشان دادند. مصرف Zn باعث افزایش معنی‌دار عملکرد گیاه، مقدار کلروفیل، سطح برگ و تعداد برگ گردید. مصرف Zn باعث افزایش غلظت Cd در برگها و ریشه چغندر لبویی گردید. اثر متقابل Zn و Cd بر میزان کلروفیل برگ معنی‌دار بود و Zn تخریب کلروفیل توسط Cd را کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: چغندر لبویی، (*Beta vulgaris L.*)، کادمیم، روی، کلروفیل و فتوسنتز

مقدمه

کوفاکتورهای تنظیم‌کننده در تعداد زیادی از آنزیم‌ها عمل می‌نمایند. تحقیقات محققان نشان داده است که Zn حداقل در ساختمان چهار آنزیم بکار رفته است: کربنیک

گیاهان عمدتاً روی (Zn) را به صورت کاتیون دو ظرفیتی (Zn^{2+}) جذب می‌نمایند. این عنصر یا به عنوان بخشی از ساختمان آنزیم‌ها بکار می‌رود و یا به صورت

۱- نویسنده مسئول، آدرس: مراغه، میدان مادر، شهرک گلشهر، دانشگاه مراغه، کدپستی ۵۵۱۸۱-۸۳۱۱۱

* دریافت: ۸۷/۱/۱۹ و پذیرش: ۸۸/۷/۲۱

فرو برده شده و ۵۰ آن درصد جذب می‌شود (دبلیو اچ او، ۱۹۹۲). کمیته مشترک کارشناسی افزودنیهای مواد غذایی (جی ای سی اف آ) سازمان FAO و سازمان بهداشت جهانی (دبلیو اچ او)، حد قابل تحمل هفتگی جذب Cd را ۴۲۰ میکروگرم برای یک فرد بالغ ۶۰ کیلوگرمی تعیین کرده است. اولین بار در سال ۱۹۶۳ تعدادی از محققان آلودگی کودهای شیمیایی به برخی فلزات سنگین به خصوص Cd را به عنوان عامل خطرناکی برای سلامتی انسان و محیط زیست گزارش کردند (لین و اسکور، ۱۹۷۷). محققان عامل بیماری سندرم ایتایی ایتایی در ژاپن را مربوط به آبیاری مزارع برنج توسط آبهای آلوده به Cd تشخیص دادند (آدریانو، ۱۹۸۶). در ایران نیز گزارش‌هایی دال بر تجمع Cd در برخی محصولات زراعی به ویژه برنج و سبب‌زمینی وجود دارد (خانی و همکاران، ۱۳۷۹، چراتی و ملکوئی، ۱۳۸۳). میزان تجمع Cd در کاهو، اسفناج، کرفس، کلم و سیب زمینی زیاد بوده و در گیاهانی مثل لوبیا، ذرت و نخود کمتر است (واگنر، ۱۹۹۳). از علایم سمیت Cd در گیاهان ایجاد حالت کلروزه و نکروزه در برگ، تغییر رنگ برگ از سبز به قرمز قهوه‌ای، افت عملکرد و تغییر در سطح سایر عناصر ریز مغذی در گیاه می‌باشد (لاگریفول و همکاران، ۱۹۹۸). اثرات دیگر سمیت Cd، تنش‌های اکسیداتیو است که باعث آسیب به سلول در نتیجه تولید مواد اکسید کننده نظیر سوپراکساید، هیدروژن پراکساید و رادیکال‌های هیدروکسیل می‌باشد (ژاؤ و همکاران، ۲۰۰۵). علایم عمومی ناشی از جذب مقادیر اضافی Cd در گیاه، کاهش رشد ریشه و چوب پنبه‌ای شدن ساختمان آن، تداخل با جذب و انتقال عناصر غذایی، کاهش میزان کلروفیل و اختلال در فعالیت‌های آنزیم‌های درگیر در فتوسنتز می‌باشد (کوله لی و همکاران، ۲۰۰۴). Cd با عناصر پر مصرف نظیر فسفر، کلسیم و منیزیم و عناصر کم مصرف مثل آهن، منگنز، مس و روی جهت انتقال از طریق پروتئین‌های ناقل موجود در غشای سلولی رقابت می‌کند (شارما و آگراوال، ۲۰۰۶). کمبود Zn سبب آسیب به غشای سلولی ریشه شده و باعث می‌شود که ریشه در ورود یون‌های مضر از قبیل Cd به درون گیاه کنترلی نداشته باشد (چراتی و ملکوئی، ۱۳۸۳). گزارشات ارائه شده در مورد تأثیر کاربرد Zn بر غلظت Cd در گیاهان ضد و نقیض بوده و بستگی به گونه‌های گیاهی، شرایط رشد از قبیل کشت در خاک یا محلول غذایی، کاشت در مزرعه یا شرایط اطاقک رشد و غلظت Cd استفاده شده در آزمایشات دارد. ویلیامز و دیوید (۱۹۷۶) گزارش نموده‌اند که افزودن Zn به خاک باعث افزایش غلظت Cd در گیاه یولاف گردید. ثوابقی و همکاران (۱۳۷۹) نشان دادند که

آنهیدراز، الکل دهیدروژناز، سوپراکسید Cu-Zn دیسموتاز و RNA پلی مراز، آنزیم‌های دیگری نیز شناخته شده‌اند که برای فعال شدن، به Zn نیاز دارند که مهمترین آنها، الکل دی‌هیدروژناز، آلدولاز، ایزومراز، ترانس فسفوریلاز، RNA و DNA پلی مراز می‌باشد (رومهلد و مارشنر، ۱۹۹۱). Zn در متابولیسم کربوهیدرات‌ها در گیاهان دخالت دارد. فعالیت آنزیم کربنیک آنهیدراز به سرعت در اثر کمبود Zn کاهش می‌یابد. کربنیک آنهیدراز در سیتوپلاسم و کلروپلاست‌ها تجمع می‌یابد و واکنش تبدیل CO₂ به بی کربنات و بالعکس را کاتالیز می‌کند که به فراهم شدن CO₂ برای فتوسنتز کمک می‌نماید (مارشنر، ۱۹۹۵). در گیاهانی که کمبود Zn دارند، ساخته شدن پروتئین کاهش می‌یابد و انباشته شدن اسیدهای آمینه در این گیاهان نشان دهنده اهمیت Zn در سنتز پروتئین است (مارشنر، ۱۹۹۵). Zn یکی از اجزای ضروری آنزیم RNA پلی مراز است و در هر مولکول این آنزیم دو اتم Zn وجود دارد و اگر Zn برداشته شود، آنزیم غیر فعال می‌شود (فالچوک و همکاران، ۱۹۷۷). بدون Zn، ریبوزومها از هم پاشیده می‌شوند اما با مصرف Zn ساختمان آنها به حالت اول بر می‌گردد (مارشنر، ۱۹۹۵). Zn برای ساخته شدن اسیدایندول استیک (IAA) از تریپتوفان ضروری است، چون تریپتوفان ماده پیش نیاز برای تولید اسیدایندول استیک می‌باشد، بنابراین ساخته شدن این ماده رشدی به طور غیر مستقیم تحت تأثیر Zn خواهد بود. غلظت بیش از حد تریپتوفان در برگهای گیاهان دچار کمبود Zn احتمالاً ناشی از همین مسئله می‌باشد (مارشنر، ۱۹۹۵). در گیاهان مبتلا به کمبود Zn، غلظت هورمونهای گیاهی بخصوص جیبرلین کاهش می‌یابد (سوج و همکاران، ۱۹۸۶). یکی از ضروری ترین عناصر ریز مغذی، Zn می‌باشد که این عنصر در بسیاری از اعمال بیولوژیکی نقش دارد، به عنوان مثال Zn باعث ثبات غشای پلاسمایی سلولها شده و همچنین Zn کوفاکتور بسیاری از آنزیمهای آنتی اکسیداتیو می‌باشد (ژاؤ و همکاران، ۲۰۰۵).

کادمیم (Cd) یک عنصر غیر ضروری و سمی بوده که در غلظتهای پایین در طبیعت وجود دارد و نیم عمر بیولوژیکی آن ۳۰ سال است (واگنر، ۱۹۹۳). Cd برای انسان سمی است و در کلیه‌ها انباشته شده و وظایف آنها را مختل می‌کند. منشاء عمده Cd در انسان، غذا و توتون بوده و نقش آب آشامیدنی یا آلودگی هوا ناچیز است مقدار ورودی Cd از طریق غذا به بدن انسان در حدود ۱۰ تا ۴۰ میکروگرم در روز است که کمتر از ۵ درصد آن جذب بدن می‌شود. مصرف دخانیات به میزان ۲۰ سیگار در روز، سبب تولید ۲ تا ۴ میکروگرم Cd است که با دم به ششها

مواد و روشها

به منظور بررسی اثرات اصلی و اثرات متقابل Zn و Cd بر چغندر لبویی *Beta vulgaris L.* رقم dark red آزمایش گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل و در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه سطح Zn (۰/۵، ۱۵۵ و ۳۱۰ میکرومولار) از منبع سولفات روی و سه سطح Cd (صفر، ۴۵ و ۹۰ میکرومولار) از منبع سولفات کادمیم در چهار تکرار اجرا گردید. محلول غذایی مورد استفاده محلول هوگلند بود. در مورد تیمار شاهد فقط از محلول هوگلند استفاده شد و در سایر تیمارها مقادیر یاد شده Zn و Cd به محلول هوگلند اضافه شد و سپس مصرف گردید. افزودن سولفات روی و سولفات کادمیم در مقادیر ذکر شده، باعث بالا رفتن غلظت آنیون سولفات در محلول گردید. در محلول غذایی غلظت آنیون سولفات را ۷۰ الی ۱۵۰ میلی گرم در لیتر در نظر می‌گیرند (رونقی و مفتون، ۱۳۸۵) و غلظت آنیون سولفات در محلول غذایی استفاده شده در محدوده ذکر شده بود، ولی در ظاهر گیاهان می‌توانند غلظت زیادی از آنیون سولفات را در محلول غذایی بدون اینکه تأثیر بدی بر گیاه داشته باشد، تحمل کنند (رونقی و مفتون، ۱۳۸۵). ترکیب و غلظت نمکهای موجود در محلول هوگلند در جدول ۱ آمده است. pH محلول غذایی در ۶/۵ تنظیم گردید برای این کار از اسیدکلریدریک یک مولار استفاده شد. دمای محیط در طی روز حدود 27 ± 3 و در شب 20 ± 3 درجه سانتی‌گراد، تنظیم شد. از پرلایت به عنوان بستر کاشت و از گلدان‌های پلاستیکی ۱۴ لیتری به عنوان ظروف کاشت استفاده گردید. هر تیمار شامل دو گلدان بود و در هر گلدان پس از تنک کردن ۵ گیاه نگهداری گردید که این تعداد ۱/۵ برابر تراکم کاشت در مزرعه بود. تیمارهای Zn و Cd از زمان چهار برگی گیاهان اعمال گردیدند. مقدار مصرف محلول بر اساس اندازه گیاه و در طول زمان رشد متفاوت بود و به طور متوسط به مقدار یک لیتر به هر گلدان محلول حاوی تیمارها داده می‌شد. به منظور جلوگیری از افزایش غلظت عناصر در گلدان‌ها، هدایت الکتریکی محلول خروجی روزانه کنترل و هر سه روز یک بار بستر کاشت به طور کامل آبشویی و مجدداً از محلول‌های غذایی استفاده می‌شد. پس از ۲۰ روز از اعمال تیمارها، مقدار کرونیل برگها با استفاده از دستگاه کرونیل متر (Minolta, SPAD-504, Japan) تعیین گردید و برای این منظور از برگهای جوان بالغ به تعداد ده برگ از هر گلدان، نمونه برداری شد. فتوسنتز خالص یکبار در دوره رویشی به وسیله دستگاه فتوسنتز سنج (Wallz, DA-1010, Germany) اندازه‌گیری شد، شدت نور (PAR) در حدود $1000 \mu \text{mol m}^{-2} \text{S}^{-1}$ و CO_2

مصرف Cd موجب کاهش عملکرد و افت پروتئین دانه گندم شد، ولی با مصرف Zn ویژگیهای کمی و کیفی گندم افزایش یافت. عبدال صبور و همکاران (۱۹۸۸) چنین نتیجه‌گیری کردند در صورت کاربرد Cd، نسبت Cd/Zn در ذرت و چغندر برگی افزایش یافته و چغندر برگی مقدار Cd بیشتری را در خود تجمع می‌داد. اسمیلده و همکاران (۱۹۹۲) اعلام نمودند که با مصرف Cd، غلظت Cd در ذرت، آندیو، کاهو، اسفناج و گندم افزایش یافت و در خاک شنی با مصرف Zn، غلظت Cd در کاهو و آندیو افزایش یافت. چودهاری و همکاران (۱۹۹۵) گزارش دادند که مقدار Cd در اندام‌های گندم متفاوت بوده و مقدار Cd به صورت ریشه < برگ < ساقه < دانه بود و کاربرد Zn غلظت Cd را در دانه‌های گندم، ساقه، برگ و ریشه‌ی این گیاه کاهش داد، از طرف دیگر گرانت و بایلی (۱۹۹۸) گزارش نمودند که کاربرد Zn باعث کاهش غلظت Cd در دانه گندم دوروم گردید. کوله لی و همکاران (۲۰۰۴) گزارش نمودند علی‌رغم اینکه کاربرد Zn باعث کاهش آثار سمیت Cd در برگ گیاه گندم دوروم گردید، ولی افزایش توأم مصرف Zn با Cd، باعث افزایش غلظت Cd در گیاهان گردید. ژاؤ و همکاران (۲۰۰۵) اعلام نمودند که کادمیم باعث کاهش رشد در گیاهان، کاهش فتوسنتز، کاهش در انتقال و جذب عناصر ماکرو و میکرو شده و باعث آزاد شدن رادیکال‌های آزاد می‌شود و در گندم در صورت مصرف Cd، غلظت هیدروژن پراکساید (H_2O_2) به عنوان ماده اکسید کننده افزایش می‌یافت و در صورت مصرف Zn فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربیت پراکسیداز (APX) افزایش یافته و کلاً Zn سمیت Cd را در گندم کاهش داد. برای کاهش اثرات سوء Cd، مصرف سولفات پتاسیم، Zn و انتخاب ارقام گندم با پتانسیل جذب بیشتر K و Zn را توصیه شده است (ملکوتی و بایوردی، ۲۰۰۶).

پیش فرض‌های این تحقیق آن بود که Cd باعث کاهش مقدار کلروفیل برگ و کاهش فتوسنتز در گیاه شده و کاربرد Zn باعث کاهش سمیت ناشی از Cd می‌شود. چون بررسی‌های محدودی در مورد اثرات متقابل بین Zn و Cd در رشد و نمو انواع سبزی‌ها در کشور به انجام رسیده، لذا اهداف این پژوهش، بررسی کاهش سمیت Cd با افزایش مصرف Zn، بررسی اثرات برهمکنش مثبت و یا منفی بین Zn و Cd و در نهایت بررسی تغییرات غلظت Cd در اندام‌های مختلف گیاه چغندر لبویی پس از اعمال تیمارها بودند.

از ریشه به ساقه می شود و عواملی از قبیل بارگیری آوند چوبی، ساختار برگ و توزیع مجدد Cd از طریق آوند آبکشی باعث انتقال Cd به ساقه و برگ می شود. یانگ و همکاران (۲۰۰۴) اعلام نمودند که تجمع Cd در برگ و ساقه گیاه *Sedum alfredii* بیش از ریشه بود. همچنین شارما و همکاران (۲۰۰۸) اعلام نمودند که Cd در برگ هوچ بیش از ریشه تجمع می یابد.

کاربرد Zn باعث افزایش معنی دار وزن تر و وزن خشک، شاخص کلروفیل، تعداد برگ، سطح برگ در گیاه و غلظت Zn در برگ و ریشه گیاه چغندر لبویی گردید (جدولهای ۲ و ۳). با افزایش مصرف Zn، عملکرد گیاه چغندر لبویی نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی دار نشان داد. مصرف Zn باعث افزایش معنی دار سطح برگ (LA) گیاه چغندر لبویی نسبت به تیمار شاهد گردید، ولی کاربرد روی تأثیر معنی داری در فتوستت خالص نداشت (جدول ۲). با افزایش مصرف Zn غلظت این عنصر در ریشه و برگ چغندر لبویی افزایش معنی دار یافت و غلظت این عنصر در ریشه کمتر از برگ بود (جدول ۶). نان و همکاران (۲۰۰۲) اعلام نمودند که Zn برای رشد گیاه ضروری بوده و در درون گیاه متحرک می باشد و به همین دلیل نیز از قابلیت انتقال بالا در گیاه برخوردار است. یانگ و همکاران (۲۰۰۴) اعلام نمودند که Zn در ساقه و برگ گیاه *Sedum alfredii* بیشتر از ریشه تجمع می یابد. اثر متقابل Zn و Cd بر مقدار شاخص کلروفیل معنی دار بود (جدول ۲)، یعنی کاربرد Zn از تخریب کلروفیل گیاه توسط Cd جلوگیری نمود (شکل ۲). در مورد عملکرد، تعداد برگ و سطح برگ (LA)، Zn در کاهش اثرات کاربرد Cd تأثیر متقابل معنی دار نداشت (جدول ۲). همچنین در مورد غلظت Zn در اندامهای گیاه چغندر لبویی، Cd با Zn اثر متقابل معنی دار داشت، یعنی مصرف Cd باعث کاهش معنی دار غلظت Zn در ریشه و برگ گیاه چغندر لبویی شد (جدول ۳، شکلهای ۵ و ۶). نتایج نشان دادند که با افزایش مصرف Zn در محلول غذایی، غلظت Cd در برگ و ریشه گیاه چغندر لبویی افزایش معنی دار یافت (جدول ۳، شکلهای ۳ و ۴). نتایج به دست آمده نشان داد که وجود Cd زیاد در محیط رشد چغندر لبویی و جذب آن توسط گیاه چغندر لبویی، می تواند موجب کاهش عملکرد محصول گردد. بخشی از کاهش عملکرد گیاه ناشی از Cd زیاد به دلیل اثرات سمی Cd در گیاه که باعث کاهش تعداد برگها، کاهش سطح برگها و کاهش فتوستت خالص که نهایتاً باعث افت عملکرد می شود (آزوبند و پراساد، ۲۰۰۴). کاباتا-پندیاس و پندیاس (۱۹۹۲) گزارش دادند که غلظت زیاد فلزات

ورودی نیز به غلظت ۴۵۰ میلی گرم در لیتر و میزان ورودی هوا حدود 800 mol min^{-1} تنظیم گردید. برای تعیین فتوستت خالص از برگهای جوان بالغ نمونه برداری به عمل آمد. برای اندازه گیری سطح برگ گیاهان از دستگاه سطح برگ سنج (LA,3100,USA) استفاده گردید. به طور تصادفی از هر گلدان یک گیاه برداشت شده و وزن تر برای کلیه تیمارها محاسبه گردید. سپس نمونه ها در درون پاکت کاغذی قرار داده و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۸۰ درجه ی سانتی گراد آون قرار داده شدند. سپس وزن خشک نمونه ها محاسبه گردید. برگها و قسمت زیر زمینی گیاهان به طور جداگانه خرد شدند و یک گرم از نمونه های گیاهی به دقت توزین و نمونه های گیاهی به وسیله اسید نیتریک غلیظ هضم تر شده و برای تعیین غلظت Zn و Cd در نمونه های گیاهی از دستگاه جذب اتمی (Shimadzu, AA-6300, Japan) استفاده شد (اسمیلده و همکاران، ۱۹۹۲). برای تجزیه و تحلیل داده های حاصل از آزمایش از نرم افزار MSTATC استفاده شد و مقایسه میانگین داده ها به وسیله آزمون دانکن در سطح ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

کاربرد Cd باعث کاهش معنی دار سطح برگ، وزن تر و خشک، فتوستت خالص، شاخص کلروفیل و تعداد برگهای گیاه چغندر لبویی گردید (جدول ۲ و ۵). علائم مسمومیت در گیاهان با مصرف ۴۵ میکرومولار Cd دیده شد به طوری که این گیاهان برگهای ریز و زرد داشتند. در مراحل پیشرفته با افزایش مصرف Cd سطح برگ و اندازه گیاه کاهش یافت (شکل ۱). رنگ برگهای تیمار حاوی ۹۰ میکرومولار Cd (Zn_1Cd_2) به حالت قرمز قهوه ای در گیاهان مشاهده گردید (شکل ۱).

بیشترین کاهش فتوستت خالص مربوط به تیمار ۹۰ میکرو مولار Cd بود (جدول ۵). با افزایش مصرف Cd، غلظت Cd نیز در برگ و ریشه گیاه افزایش معنی دار نشان داد (جدول ۳). غلظت Cd در تیمارهای فاقد Cd، صفر بود. نتایج نشان دادند که غلظت Cd در برگ چغندر لبویی بیشتر از ریشه این گیاه بود (شکلهای ۳ و ۴). چودهاری و همکاران (۱۹۹۵) اعلام نمودند که غلظت Cd در ریشه گیاه گندم بیشتر از ساقه و برگ گندم بود، ولی فلوریجن و به اوسیچم (۱۹۹۳) دو گروه از لاینهای ذرت را از نظر تجمع Cd در ریشه و ساقه مورد بررسی و اعلام نمودند تفاوت های ژنوتیپی در توزیع Cd در اندامهای مختلف لاینهای ذرت بستگی به تفاوت های فیزیولوژیکی یا ساختمانی در برگ و ریشه داشته و همچنین قابلیت اتصال Cd به ترکیبات ریشه و تشکیل کمپلکس Cd با پپتیدهای درون سلولی قابل اتصال با فلزات، باعث کاهش انتقال Cd

فتوستنتز می شود (چوگ و ساوهنی، ۱۹۹۹). Cd مرحله تثبیت گاز کربنیک را در فتوستنتز با ممانعت از فعالیت آنزیم ریبولوز بیس فسفات کربوکسیلاز (RUBISCO) کاهش می دهد (ویگل، ۱۹۸۵ و مالیک و همکاران، ۱۹۹۲) در نتیجه Cd باعث کاهش فتوستنتز می شود. شارما و همکاران (۲۰۰۸) نیز اعلام نموده اند که Cd از طریق کاهش در رنگیزه های فتوستنتزی و کاهش فتوستنتز باعث کاهش رشد گیاهان می شود. اثر متقابل Zn و Cd در غلظت Cd در اندامهای گیاهی به صورت آنتاگونیستی (ام کنا و همکاران، ۱۹۹۳) و یاسینزستی (نان و همکاران، ۲۰۰۲) گزارش گردیده است. برخی محققین گزارش نموده اند که مصرف Zn می تواند از جذب Cd جلوگیری نموده و در نتیجه Zn باعث کاهش غلظت Cd در اندامهای گیاهی شود (ثواقبی و ملکوتی، ۱۳۷۹، چودهاری و همکاران، ۱۹۹۵). کاهش جذب Cd به وسیله افزودن Zn به محلول غذایی ممکن است به دلیل رقابت بین این دو عنصر در جذب و انتقال از طریق ریشه باشد (یانگ و همکاران، ۲۰۰۴). نان و همکاران (۲۰۰۲) گزارش نموده اند که افزودن Zn به خاک باعث افزایش جذب و انتقال Cd در ذرت و گندم گردید. پیوتروسکا و همکاران (۱۹۹۴) اعلام نمودند که با افزایش Zn در خاک سمیت Cd در گندم بهاره تشدید گردید. نتایج نشان دادند که افزایش Cd در محلول غذایی، باعث کاهش معنی دار غلظت Zn در ریشه و برگ گیاه چغندر لبویی گردید (جدول ۳، شکل‌های ۵ و ۶). گزارشاتی مبنی بر تأثیر منفی Cd در جذب و غلظت Zn در گیاهان وجود دارد. ثواقبی و ملکوتی (۱۳۷۹) گزارش نمودند که با افزایش مقدار Cd در خاک، غلظت Zn در دانه گندم کاهش یافت، همچنین یانگ و همکاران (۲۰۰۴) گزارش نمودند که با افزایش مقدار Cd در محلول غذایی، غلظت Zn در برگ گیاه *Sedum alfredii* کاهش یافت. لاسات و همکاران (۱۹۹۶) گزارش نمودند که انتقال Zn به درون سلول از طریق پروتئینهای ناقل که در غشای پلاسمایی سلول قرار دارند، صورت می گیرد. Zn و Cd از نظر شیمیایی بسیار شبیه به هم بوده و یونهای Zn و Cd از طریق ناقلهای پروتئینی مشترک وارد سلول می شوند و این دو یون در حین جذب توسط ریشه گیاه با هم رقابت نموده و هر دو یون Zn و Cd باعث اختلال در جذب و انتقال یکدیگر می شوند (هارت و همکاران، ۲۰۰۲). دلیل اینکه Zn باعث افزایش جذب Cd توسط گیاه می شود این است که با افزودن Zn به محلول غذایی یا محیط رشد گیاهی، Zn باعث تغییر در ناقلین ویژه یونهای فلزی در غشای پلاسمایی می شود و Cd نیز گرایش زیادی به انتقال از طریق این ناقلین داشته و با افزودن Zn به محلول غذایی یا

سنگین در گیاه از طریق تغییر نفوذ پذیری غشای سلولی، واکنش با گروه سولفیدریل (-SH) در ساختمان آنزیم‌ها و پروتئین‌ها و جایگزینی با یونهای ضروری موجب بروز سمیت در گیاه می شوند. ثواقبی و ملکوتی (۱۳۷۹) علایم عمومی ناشی از جذب مقادیر اضافی Cd در گیاه را کاهش و توقف رشد ریشه و چوب پنبه‌ای شدن ساختمان آن، تداخل با جذب و انتقال طبیعی عناصر غذایی، کاهش میزان کلروفیل و اختلال در فعالیت‌های آنزیم‌های دخیل در فتوستنتز اعلام نمودند. نتایج این آزمایش نشان داد که Cd باعث کاهش مقدار کلروفیل برگ و فتوستنتز خالص در گیاه چغندر لبویی شده و موجب کاهش عملکرد گیاه گردید و با توجه به اینکه تشابهی بین Cd و Zn وجود دارد (چراتسی و ملکوتی، ۱۳۸۳) نقش و وظایف فیزیولوژیکی Zn را تقلید نموده ولی بر خلاف Cd، Zn برای گیاه سمی می باشد. در این آزمایش فتوستنتز خالص به علت کاهش کلروفیل در اثر مصرف Cd، کاهش معنی دار یافت. Cd باعث کاهش سنتز کلروفیل از طریق جلوگیری از فعالیت آنزیمهای موثر در مراحل مختلف تشکیل کلروفیل می گردد (آراویند و پراساد، ۲۰۰۴). Zn از طریق اتصال به گروه سولفیدریل (-SH) باعث استحکام آنزیمها، پروتئینها و ساختمان چربی غشای سلول می شود (پاول، ۲۰۰۰). Zn از طریق محافظت از گروه سولفیدریل باعث سنتز کلروفیل می گردد (کاکماک، ۲۰۰۰). پورفوبیلیپونژن پیش ماده کلروفیل می باشد که برای تشکیل این ماده Mg و Zn مورد نیاز است (بی آله، ۱۹۹۹). در حضور Zn نهایتاً تشکیل و تکمیل کلروفیل تسهیل می گردد (له بدو و تیمکو، ۱۹۹۸). در شرایطی که گیاهان در معرض تنش فلزات سنگین قرار می گیرند، تعداد زیادی از رادیکالهای آزاد و مواد اکسید کننده تولید می شود که باعث آسیب به سلولهای گیاهی می شوند (چو و سه او، ۲۰۰۵). Zn از طریق افزایش آنزیمهای آنتی اکسیداتیو از آثار مخرب رادیکالهای آزاد و مواد اکسید کننده جلوگیری می کند (آراویند و پراساد، ۲۰۰۳). نتایج این پژوهش چنین نشان می دهند که Zn نه تنها از تخریب کلروفیل توسط Cd جلوگیری نمود، بلکه Zn تأثیر معنی دار در شاخص کلروفیل داشت و مصرف Zn باعث افزایش شاخص کلروفیل نسبت به تیمار شاهد گردید (جدول ۲ و شکل ۲). گیاهانی که در محیط حاوی Cd بالا رشد می کنند، دارای کلروفیل کمتری بوده و برگهای این گیاهان قابلیت خود را برای دریافت نور از دست می دهند و Cd باعث کاهش فتوستنتز از طریق اثر مخرب آن بر روی واکنشهای نیازمند به نور و واکنشهای بی نیاز از نور شده و Cd باعث اختلال در فعالیت آنزیمهای موثر در چرخه تثبیت گاز کربنیک در

داشت یعنی با افزایش مصرف Cd، غلظت Zn در برگ و ریشه چغندر لبویی کاهش یافت. با افزایش مصرف Zn غلظت Cd در برگ و ریشه چغندر لبویی افزایش معنی دار یافت. غلظت Cd در برگ بیش از ریشه بود. Zn برای رشد گیاه ضروری بوده و Zn با افزایش تعداد برگ، سطح برگ و مقدار کلروفیل باعث افزایش رشد و عملکرد گیاه چغندر لبویی گردید.

محیط رشد گیاهی، جذب Cd توسط سلولهای ریشه و انتقال Cd به اندامهای هوایی، بیشتر می گردد (یانگ و همکاران، ۲۰۰۴).

نتیجه گیری

نتایج این آزمایش نشان دادند که Cd باعث کاهش معنی دار تعداد برگ، سطح برگ، مقدار کلروفیل و فتوستتوز خالص گردید و نهایتاً رشد و عملکرد را در گیاه چغندر لبویی کاهش داد. Cd با Zn رابطه آنتاگونیستی

جدول ۱- ترکیب و غلظت نمکها در محلول هوکلند تغییر یافته (ژآو و همکاران، ۲۰۰۵)

غلظت (mM)	نوع نمک	غلظت (μM)	نوع نمک
۱/۳۳	KNO ₃	۵۰	FeEDTA
۰/۵	MgSO ₄ .7H ₂ O	۰/۵	CuSO ₄ . 5H ₂ O
۱/۳۳	Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O	۲/۵	MnCl ₂
		۵	H ₃ BO ₃
۰/۴۴	KH ₂ PO ₄	۰/۲۵	Na ₂ MoO ₄ . 2H ₂ O
		۰/۵	ZnSO ₄ . 7H ₂ O

۱- قابلیت هدایت الکتریکی محلول حدود ۱/۲ دسی زیمنس بر متر بود. ۲. گوگرد از منبع سولفات منیزیم و سایر سولفاتها تأمین شده است.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثرات Zn و Cd بر ویژگی های رویشی و فیزیولوژیکی چغندر لبویی

میانگین مربعات						درجه آزادی	منابع تغییر
کلروفیل	فتوستتوز	تعداد برگ	سطح برگ	وزن خشک	وزن تر		
۱۲/۱۹**	۷۰/۴۷*	۰/۹۱۷ ^{ns}	۹۹۷۶۱/۸۰***	۶۲/۳۸***	۴۴۱۳/۶۰**	۳	تکرار
۶۹/۲۵***	۵/۴۶ ^{ns}	۳/۵۸*	۸۶۸۳۰/۱۰***	۱۱۲/۵۷***	۶۸۴۷/۲۰***	۲	Zn
۴۲۴/۲۲***	۲۱۲/۵***	۱۰/۵۸***	۴۵۶۰۶۴/۲۰***	۶۰۸/۶۱***	۲۵۵۴۶/۷۰***	۲	Cd
۹/۲۲*	۱۹/۵۱ ^{ns}	۰/۷۹ ^{ns}	۵۷۱۳/۵۳ ^{ns}	۱۱/۸۴ ^{ns}	۲۷۲/۸۰ ^{ns}	۴	Zn × Cd
۲/۶۳	۱۵/۷۷	۱/۱۰	۱۴۷۸۸/۱۸	۸/۷۷	۶۱۹/۸	۲۴	اشتباه
۳/۶٪	۱۹/۶٪	۸/۸٪	۱۵/۳٪	۱۸/۲٪	۱۳/۸٪		C.V

ns، *، ** و *** به ترتیب به مفهوم غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۵، ۰/۰۱ و ۰/۰۰۰.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثرات Zn و Cd بر غلظت Zn و Cd و ریشه چغندر لبویی

میانگین مربعات				درجه آزادی	منابع تغییر
غلظت Zn برگ	غلظت Zn ریشه	غلظت Cd برگ	غلظت Cd ریشه		
۵۰/۷۴ ^{ns}	۱۵۸۵/۰۲*	۳۵۹۶/۲۰***	۲۸۲/۴۰ ^{ns}	۳	تکرار
۲۵۸۸۷۹/۵۰***	۱۳۲۱۵۶/۴۶***	۲۲۷۱۴/۰۴***	۳۲۲۲/۸۰***	۲	Zn
۲۸۶۳۲/۴۰***	۱۶۷۶۱/۰۶***	۳۰۲۴۴۴/۵۲***	۳۹۸۱۳/۲۰***	۲	Cd
۳۷۲۷/۴۴***	۳۲۸۹/۸۴***	۶۸۹۳/۳۰**	۸۷۰/۶۳*	۴	Zn × Cd
۵۲۳/۱۲	۴۵۵/۶۰	۱۷۱۵/۲۰	۲۷۹/۲۴	۲۴	اشتباه
۱۱/۰۵٪	۱۶/۶۸٪	۲۲/۸۵٪	۲۶/۹۰٪		C.V

ns، *، ** و *** به ترتیب به مفهوم غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۵، ۰/۰۱ و ۰/۰۰۰.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات اصلی Zn بر ویژگی‌های رویشی و فتوسنتز چغندر لبویی

تعداد برگ (در هر گیاه)	فتوسنتز ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{S}^{-1}$)	سطح برگ (cm^2)	وزن خشک (g plant^{-1})	وزن تر (g plant^{-1})	Zn سطوح (μM)
۱۱/۴۲ b	۱۹/۸۹ a	۷۰۵/۹۴ b	۱۳/۲۷ c	۱۵۷/۸۰ c	۰/۵
۱۱/۸۳ ab	۲۱/۰۶ a	۸۲۴/۵۶ a	۱۶/۲۲ b	۱۷۹/۶۰ b	۱۵۵
۱۲/۵ a	۱۹/۹۷ a	۸۷۰/۸۶ a	۱۹/۴۰ a	۲۰۵/۵۰ a	۳۱۰

میانگین‌های با حروف مشابه در آزمون دانکن ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.

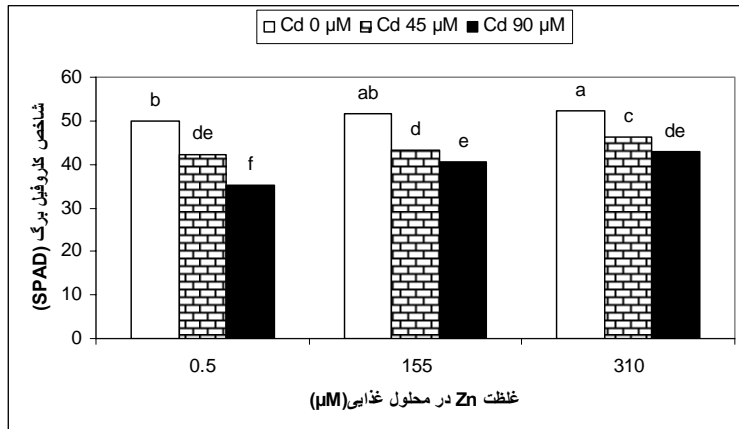
جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات اصلی Cd بر ویژگی‌های رویشی و فتوسنتز چغندر لبویی

تعداد برگ (در هر گیاه)	فتوسنتز ($\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2}\text{S}^{-1}$)	سطح برگ (cm^2)	وزن خشک (g plant^{-1})	وزن تر (g plant^{-1})	Cd سطوح (μM)
۱۳/۰۰ a	۲۴/۵۵ a	۱۰۲۳/۳۲ a	۲۴/۳۴ a	۲۳۲/۵۰ a	۰
۱۱/۴۲ b	۲۰/۱۴ b	۷۱۶/۴۳ b	۱۳/۷۶ b	۱۶۶/۸۰ b	۴۵
۱۱/۳۳ b	۱۶/۱۴ c	۶۶۱/۶۸ b	۱۰/۷۹ c	۱۴۳/۶۰ c	۹۰

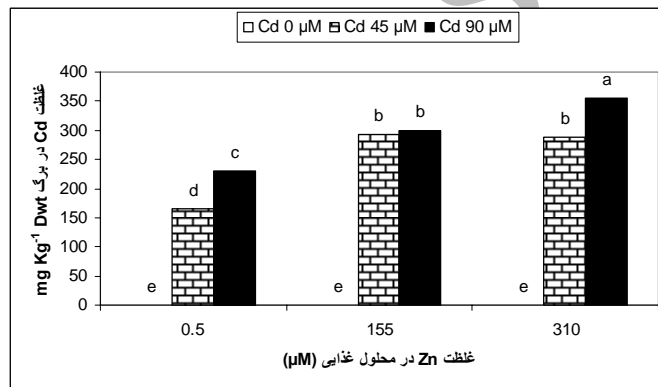
میانگین‌های با حروف مشابه در آزمون دانکن ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.



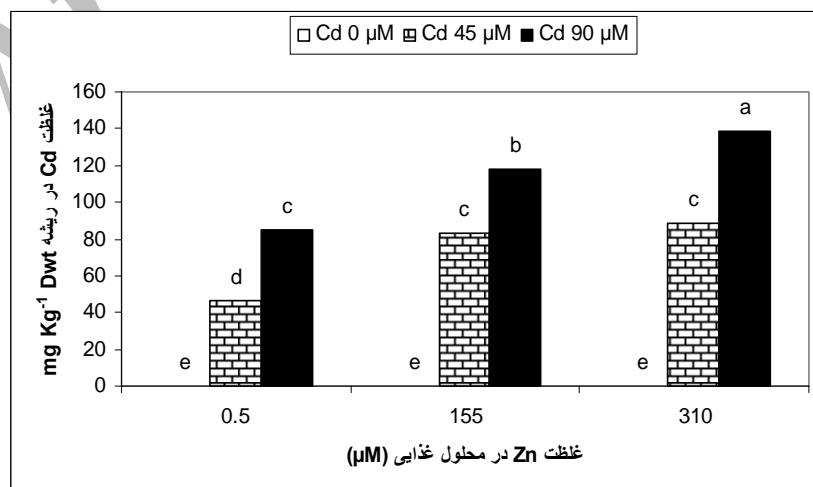
شکل ۱- از چپ به راست: تیمار شاهد (بدون Cd)، تیمار Cd ۹۰ میکرومولار و ۰/۵ میکرومولار Zn (Zn1Cd2) و تیمار Cd صفر و ۱۵۵ میکرومولار Zn (Zn2Cd0)



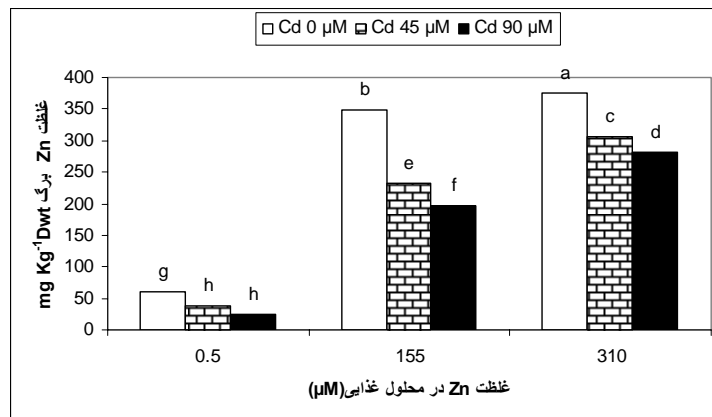
شکل ۲- اثر متقابل غلظت Zn و Cd محلول غذایی بر شاخص کلروفیل برگ گیاه چغندر لبویی میانگینهای دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج درصد می باشد



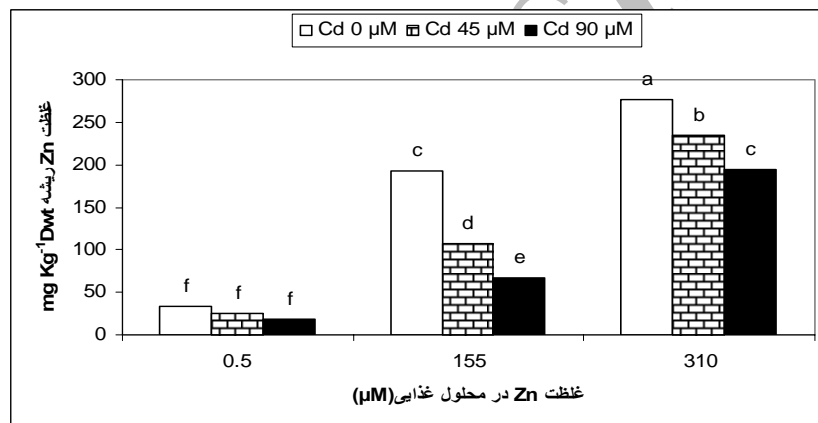
شکل ۳- اثر متقابل غلظت Zn و Cd محلول غذایی بر غلظت Cd برگ گیاه چغندر لبویی میانگینهای دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج درصد می باشد



شکل ۴- اثر متقابل غلظت Zn و Cd محلول غذایی بر غلظت Cd ریشه گیاه چغندر لبویی میانگینهای دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج درصد می باشد



شکل ۵- اثر متقابل غلظت Zn و Cd محلول غذایی بر غلظت Zn برگ گیاه چغندر لبویی میانگینهای دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج درصد می باشد



شکل ۶- اثر متقابل غلظت Zn و Cd محلول غذایی بر غلظت Zn ریشه گیاه چغندر لبویی میانگینهای دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج درصد می باشد

فهرست منابع:

۱. ثوابی، غ. و م.ج. ملکوتی. ۱۳۷۹. بررسی نقش روی در کاهش اثرات سوء کادمیم بر عملکرد و کیفیت دانه گندم. مجله علوم خاک و آب موسسه تحقیقات خاک و آب. ویژه نامه کشاورزی پایدار. جلد ۱۲. شماره ۹. ص ۶۶-۷۵. تهران. ایران.
۲. چراتی، ع. و م.ج. ملکوتی. ۱۳۸۳. ضرورت کاهش آلاینده های کادمیم و نیترات در شالیزارهای شمال کشور. (بررسی تأثیر روی و کادمیم بر رشد و ترکیب شیمیایی برنج). کتاب تغذیه متعادل برنج. انتشارات سنا. وزارت کشاورزی معاونت رزاعت. تهران. ایران.
۳. خانی، م.ر.، م.ج. ملکوتی و س.م. شریعت. ۱۳۷۹. بررسی رابطه بین تغییرات فسفر باکادمیم در خاکهای شالیزار شمال کشور. مجله علوم خاک و آب. موسسه تحقیقات خاک و آب. ویژه نامه کشاورزی پایدار. جلد ۱۲. شماره ۹. ص ۱۲-۱۸. تهران. ایران.
۴. رونقی، ع.ا.م. و م. مفتون. ۱۳۸۵. هیدروپونیک راهنمای عملی برای پرورش دهندگان کشت بدون خاک (ترجمه). انتشارات دانشگاه شیراز.

5. Abdel-Sabour, M.F., J.J. Mortvedt , and J.Kelsoe.1988.Cadmium-Zinc interactions in plants and extractable cadmium and zinc fractions in soil. *Soil Sci.*145(6):424-431.
6. Adriano,D.C.1986.Trace elements in the terrestrial environment .Springer ,Verlag ,New York.
7. Aravind,P. and M.N.V.Prasad.2003.Zinc alleviates cadmium-induced stress in *Ceratophyllum demersum* L.:a free floating freshwater macrophyte.*Plant Physiol. Biochem.*41:391-397.
8. Aravind,P. and M.N.V.Prasad.2004.Zinc protects chloroplasts and associated photochemical functions in cadmium exposed *Ceratophyllum demersum* L.: a free floating freshwater macrophyte. *Plant Sci.*166(5):1321-1327.
9. Beale,S.I.1999.Enzymes of chlorophyll biosynthesis.*Photosynth. Res.*60:43-73.
10. Cakmak,I.2000.Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species.*New Phytol.*146:185-205.
11. Cho , U.H. and N.H.Seo. 2005. Oxidative stress in *Arabidopsis thaliana* exposed to cadmium is due to hydrogen peroxide accumulation. *Plant Sci.* 168:113-120.
12. Choudhary, M., L.D.Bailey, C.A.Grant, and D. Leise.1995.Effect of Zn on the concentration of Cd and Zn in plant tissue of two durum-wheat lines.*Canadian J. of Plant Sci.*75(2):445-448.
13. Chug, L.K. and S.K.Sawhney.1999.Photosynthetic activities of *Pisum sativum* seedlings grown in presence of cadmium.*Plant Physiol.Biochem.*37(4):297-303.
14. Falchuk, K.H, L. Ulpino, B.Mazus, and B.L.Valee.1977.*Euglena gracilis* RNA polymerase.I.A zinc metalloenzyme .*Biochem.Biophys.Res.Commun.*74:1206-1212.
15. Florijn, P.J. and M.L.V. Beusichem.1993. Evaluation of structural and physiological plant characteristics in relation to the distribution of cadmium in maize inbred lines.*Plant Soil.*154:103-109.
16. Grant.C.A. and L.D. Bailey.1998.Nitrogen, phosphorous and zinc management effects on grain yield and cadmium concentration in two cultivars of durum wheat.*Canadian J. of plant Sci.*78(1):63-70.
17. Hart, J.J., R.M. Welch, W.A. Norvell, and L.V.Kochian. 2002.Transport interactions between Cd and Zn in roots of bread and durum wheat seedlings. *Physiol. Plant.* 45:91-97.
18. JECFA.1989.Evaluation of certain food additives and contaminants.Thirty-third report of the joint FAO/WHO expert committee on food additives. WHO Technical Report Series No.776.
19. Kabata-pendias, A. and H.Pendias.1992.Trace Elements in Soil and Plants. CRC Press.
20. Koleli, N., S. Eke,r and I.Cakmak.2004.Effect of Zinc fertilization on cadmium toxicity in durum and bread wheat in zinc deficient soil. *Environ. Pollut.*131:453-459.
21. Lagriffoul, A., B. Mocquot, M. Mench, and J.Vangronsveld.1998.Cadmium toxicity effects on growth, mineral and chlorophyll content , and activities of stressing related enzymes in young maize plants (*Zea mays*). *Plant Soil.*200:241-250.
22. Lasat, M.M., A.J.M. Baker, and L.V.Kochian.1996.Physiological characterization of root Zn²⁺ absorption and translocation to shoot in hyperaccumulator and non hyperaccumulator species of *Thalaspia*. *Plant Physiol.*112:1715-1722.
23. Lebedev, N. and P.M. Timco.1998. Protochlorophyllide photoreduction. *Photosynth. Res.* 58:5-23.
24. Lin, J. and M. Schorr.1977.A challengr for the phosphate industry: Cd removal. *Phosphorous and Potassium.*208:27-31.
25. Malakouti, M.J. and A. Bybordi. 2006. Interaction between potassium (K) and Zinc(Zn) on the yield and quality of tuber vegetables. *International Symposium on Balanced Fertilization for Sustainability of Crop Productivity.* Ludhiana, Inndia.

26. Malik, D., I. C. Sheoran, and R.Singh.1992.Carbon metabolism in leaves of cadmiumtrated Wheat seedlings. *Plant Physiol. Biochem.*30:223-229.
27. Marschner, H. 1995.Mineral Nutrition of Higher Plants.2nd ed., Academic Press. Harcourt Brace Company, Pub. Co., New York.889 p.
28. Mckenna, I.M., R.L. Chaney, and F.M.Williams.1993.The effects of Cd and Zn interaction on the accumulation and tissue distribution of Zn on Cd in lettuce and spinach.*Environ.Pollut.*79:113-120.
29. Nan, Z.R., J.H.Li, J.M. Zhang, and G.D.Cheng.2002.Cadmium and zinc interactions and their transfer in soil-crop system under field conditions. *Sci. Total Environ.* 285:187-195.
30. Piotrowska, M., S. Dudka, and A.Chlopecka.1994.Effect of elevated concentrations of Cd and Zn in soil on spring wheat yield and metal contents of the plants.*Water Air Soil Pollut.*76:333-341.
31. Powell, S.R.2000.The antioxidant properties of zinc.*J. of Nutrition.*130:1447-1454.
32. Romheld, V. and H.Marschner.1991.Function of micronutrients in plants p.297-328. *In* J.J. Mortved et.al.(ed.) .*Micronutrients in Agricultural.*Soil Sci. Amer. Inc., Madison. WI.
33. Sharma, R.K. and M.Agrawal.2006.Single and combined effects of cadmium and zinc on carrots: uptake and bioaccumulation. *J. of Plant Nutr.*29:1791-1804.
34. Sharma, R.K. ,M. Agrawal, and S.B.Agrawal.2008.Interactive effects of cadmium and zinc on carrots:growth and biomass accumulation. *J. of Plant Nutrition.*31:19-34.
35. Smilde, K.W. ,B.Vanluit, and W.Van Driel.1992. The extraction by soil and absorption by plants of applied zinc and cadmium.*Plant Soil.*143:233-238.
36. Suge, H., H. Takahashi, S. Artia, and H. Takaki.1986.Gibberlin relationships in zinc deficiency plants.*Plant cell Physiol.*27:1005-1012.
37. Wagner,G.J.1993.Accumulation of cadmium in crop plants and consequences to human health.*Adv.Agron.*51:173-212.
38. Weigel, H. G. 1985. Inhibition of photosynthetic reactions of isolated intact chloroplast by cadmium. *J. of Plant Physiol.*119:179-189.
39. WHO (World Health Organization). 1992. Environmental Health Criteria. 134. Cadmium. IPCS.Geneva.
40. Williams, C.H. and D.J. David.1976. The accumulation in soil of cadmium residues from phosphate fertilizers and their effect on the cadmium content of plants. *Soil Sci.*121:86-93.
41. Yang, X.E., H.B. Ye, X.X. Long, B.He, Z.L.He, P.J. Stoffella, and D.V.Calvert.2004.Uptake and accumulation of cadmium and zinc by *Sedum alfredii* Hance at different Cd/Zn supply levels. *J. of Plant Nutr.*27:1963-1977.
42. Zhao, Z.Q., Y.G. Zhu, R. Kneer, and S.E.Smith.2005.Effect of zinc on cadmium toxicity-induced oxidative stressing winter wheat seedlings. *J. of Plant Nutr.* 28: 1947-1959.