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 تعدیل کننده‌ی 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 میکرو مولار) و سه سطح Zn (۰/۵، ۱۵۵ و ۳۱۰ میکرو مولار) 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 فتوستنز 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 راکاهش داد.

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

مقدمه

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

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

* دریافت: ۸۷/۱/۱۹ و پذیرش: ۸۸/۷/۲۱

آنهیدراز، الکل دهیدروژناز، سوپراکسید Cu-Zn دیسموتاز و RNA پلی مراز، آنزیمهای دیگری نیز شناخته شده‌اند که برای فعال شدن، به Zn نیاز دارند کـه مهمتـرین آنها،الکـل دی هیـدروژناز، آلـدولاز، ایزومـزار، تـرانس فـسفوریلاز، RNA و DNA پلـی مـراز مـی‌باشـد (رومهلـد و مارشـنر، ۱۹۹۱). Zn در متابولیسم کربوهیدرات‌ها در گیاهان دخالت دارد. فعالیت آنـزیم کربنیـک آنهیـدراز بـه سـرعت در اثـر کمبود Zn کاهش می‌یابد. کربنیک آنهیدراز در سیتوپلاسـم و کلروپلاست‌ها تجمع می‌یابد و واکنش تبدیل CO_2 به بی کربنات و بالعکس را کاتالیز می کندکه به فراهم شدن CO_2 برای فتوسنتز کمک می‌نماید (مارشـنر، ۱۹۹۵).در گیاهـانی که کمبود Zn دارند، ساخته شدن پروتئین کاهش می یابد و انباشته شدن اسیدهای آمینه در ایـن گیاهـان نـشان دهنـده اهمیت Zn در سنتز پـروتئین اسـت (مارشـنر، ۱۹۹۵). Zn یکی از اجزای ضروری آنزیم RNA پلی‌مراز است و در هر مولکول این آنزیم دو اتم Zn وجود دارد و اگر Zn برداشته شود، آنـزیم غیـر فعـال مـی شـود (فـالچوک و همکـاران، ۱۹۷۷). بدون Zn، ریبوزومها از هم پاشیده می شوند اما بـا مصرف Zn سـاختمان آنهـا بـه حالـت اول بـر مـی گـردد (مارشنر، ۱۹۹۵). Zn برای ساخته شدن اسیداندول استیک (IAA) از تریپتوفان ضروری است، چـون تریپتوفـان مـاده پیش نیاز برای تولید اسیداندول استیک می‌باشـد، بنـابراین ساخته شدن این ماده رشدی به طـور غیـر مـستقیم تحـت تأثیر Zn خواهد بـود. غلظـت بـیش از حـد تریپتوفـان در برگهای گیاهان دچار کمبـود Zn احتمـالاً ناشـی از همـین مسئله می‌باشد (مارشنر، ۱۹۹۵). در گیاهان مبتلا به کمبـود Zn، غلظت هورمونهای گیاهی بخصوص جیبـرلین کـاهش می یابد (سوج و همکاران، ۱۹۸۶). یکی از ضروری تـرین عناصر ریز مغذی، Zn می باشد که این عنـصر در بـسیاری ازاعمال بیولوژیکی نقش دارد، بـه عنـوان مثـال Zn باعـث ثبـات غـشای پلاسـمایی سـلولها شـده و همچنـین Zn کوفاکتور بسیاری از آنزیمهای آنتـی اکـسیداتیو مـی باشـد (ژآاو و همکاران،۲۰۰۵).

کادمیم (Cd) یک عنصر غیـر ضـروری و سـمی بوده که در غلظتهای پـایین در طبیعـت وجـود دارد و نـیم 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 هـوا نـاچیز اسـت مقـدار ورودی Cd از طریق غذا به به بدن انسان در حـدود ۱۰ تـا ۴۰ میکروگرم در روز است که کمتر از ۵ درصد آن جـذب بدن می‌شود. مصرف دخانیات به میزان ۲۰ سـیگار در روز، سبب تولید ۲ تا ۴ میکروگرم Cd است که با دم بـه شـشها فرو برده شده و ۵۰ آن درصد جذب می‌شود (دبلیـو اچ او، ۱۹۹۲). کمیته مشترک کارشناسی افزودنیهای مـواد غـذایی (جـی ای سـی اف آ) سـازمان FAO و سـازمان بهداشـت جهانی (دبلیو اچ او)، حد قابل تحمل هفتگی جذب Cd را ۴۲۰ میکروگرم برای یک فـرد بـالغ ۶۰ کیلـوگرمی تعیـین کرده است. اولین بـار در سـال ۱۹۶۳ تعـدادی از محققـان آلودگی کودهـای شـیمیایی بـه برخـی فلـزات سـنگین بـه خصوص Cd را به عنوان عامـل خطرنـاکی بـرای سـلامتی انسان و محـیط زیـست گـزارش کردنـد (لـین و اسـکور، ۱۹۷۷). محققان عامل بیماری سندرم ایتایی ایتایی در ژاپـن را مربوط به آبیاری مزارع برنج توسط آبهای آلـوده بـه Cd تشخیص دادند (آدریانو، ۱۹۸۶). در ایران نیز گزارش‌هـایی دال بر تجمع Cd در برخی محصولات زراعی به ویژه برنج و سیب‌زمینی وجود دارد (خانی و همکاران، ۱۳۷۹، چراتی و ملکـوتی، ۱۳۸۳). میـزان تجمـع Cd در کـاهو، اسـفناج، کرفس، کلم و سیب زمینی زیـاد بـوده و در گیاهـانی مثـل لوبیا، ذرت و نخود کمتـر اسـت (واگنـر،۱۹۹۳). از علایـم سمیت Cd در گیاهان ایجاد حالـت کلـروزه و نکـروزه در برگ، تغییر رنگ برگ از سبز به قرمز قهوه‌ای، افت عملکرد و تغییر در سطح سایر عناصر ریز مغذی در گیاه مـی‌باشـد (لاگریفول و همکاران، ۱۹۹۸). اثـرات دیگـر سـمیت Cd، تنش‌های اکسیداتیو است کـه باعـث آسـیب بـه سـلول در نتیجـه‌ی تولیـد مـواد اکـسید کننـده نظیـر سوپراکـساید، هیدروژن پراکساید و رادیکال‌های هیدروکـسیل مـی‌باشـد (ژآاو و همکاران، ۲۰۰۵). علایم عمـومی ناشـی از جـذب مقادیر اضافی Cd در گیـاه، کـاهش رشـد ریـشه و چـوب پنبه‌ای شدن ساختمان آن، تداخل با جذب و انتقال عناصـر غذایی، کاهش میزان کلروفیـل و اخـتلال در فعالیـت‌هـای آنزیم‌های درگیر در فتوسنتز می‌باشد (کوله لی و همکـاران، ۲۰۰۴). Cd با عناصر پر مصرف نظیر فسفر،کلسیم و منیزیم و عناصر کم مصرف مثل آهن، منگنز، مـس و روی جهـت انتقال از طریق پروتئینهای ناقل موجـود در غـشای سـلولی رقابت می کند (شارما و آگراوال، ۲۰۰۶).کمبود Zn سـبب آسیب به غشای سلولی ریشه شـده و باعـث مـی‌شـود کـه ریشه در ورود یون‌های مـضر از قبیـل Cd بـه درون گیـاه کنترلی نداشته باشد (چراتی و ملکـوتی، ۱۳۸۳).گزارشـات ارایه شده در مورد تأثیر کاربرد Zn بر غلظت Cd در گیاهان ضد و نقیض بوده و بستگی به گونه هـای گیـاهی، شـرایط رشد از قبیل کشت در خاک یا محلول غـذایی، کاشـت در مزرعه یا شرایط اطاقک رشد و غلظت Cd استفاده شده در آزمایشات دارد. ویلیامز و دیوید (۱۹۷۶) گزارش نموده‌انـد که افزودن Zn به خاک باعث افزایش غلظـت Cd در گیـاه یولاف گردید. ثوابقی و همکاران (۱۳۷۹) نشان دادنـد کـه

مصرف Cd موجب کاهش عملکرد و افت پروتئین دانه گندم شد، ولی با مصرف Zn ویژگیهای کمی و کیفی گندم افزایش یافت. عبدل 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 می داد. 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 دانه‌ی 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 علی رغم اینکه کاربرد Zn باعث کاهش آثار سمیت Cd در برگ گیاه گندم دوروم گردید، ولی افزایش توأم مصرف Zn با Cz، باعث افزایش غلظت Cd در گیاهان گردید. ژآاو 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 می یافت و در صورت مصرف Zn فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربیت پراکسیداز (APX) افزایش یافته وکلاً 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 بایبوردی، 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.

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 می گیرند (رونقی و مفتون، ۱۳۸۵) و غلظت آنیون سولفات در محلول غذایی استفاده شده در محدوده ذکر شده بود، ولی در ظاهر گیاهان می توانند 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 ۳±۲۷ و در شب ۳±۲۰ 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 کروفیل برگها با استفاده از دستگاه کروفیل متر (Minolta,SPAD-504,Japan) تعیین گردید و برای این منظور از برگهای جوان بالغ به تعداد ده برگ از هر گلدان، نمونه‌برداری شد. فتوسنتز خالص یکبار در دوره رویشی به وسیله دستگاه فتوسنتز سنج (Wallz,DA-1010,Germany) اندازه‌گیری شد، شدت نور (PAR) در حدود μ mol $m^{-2}S^{-1}$ ۱۰۰۰ و CO_2

ورودی نیز به غلظت ۴۵۰ میلی‌گرم در لیتر و میزان ورودی هوا حدود $800\ mol\ min^{-1}$ تنظیم گردید. برای تعیین فتوسنتز خالص از برگ‌های جوان بالغ نمونه‌برداری به عمل آمد. برای اندازه‌گیری 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 نمونه‌ها در درون پاکت کاغذی قرار داده و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۸۰ درجه‌ی سانتی‌گراد آون قرار داده شدند. سپس وزن خشک نمونه‌ها محاسبه گردید. برگ‌ها و قسمت زیر زمینی گیاهان به طور جداگانه خرد شدند و یک گرم از نمونه‌های 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 داده‌های حاصل از آزمایش از نرم افزار MSTATC استفاده شد و مقایسه میانگین داده‌ها به وسیله آزمون دانکن در سطح ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

کاربرد Cd باعث کاهش معنی‌دار سطح برگ، وزن تر و خشک، فتوسنتز خالص، شاخص کلروفیل و تعداد برگ‌های گیاه چغندر لبویی گردید (جداول ۲ و ۵). علایم 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 قهوه‌ای در گیاهان مشاهده گردید (شکل ۱).

بیشترین کاهش فتوسنتز خالص مربوط به تیمار ۹۰ میکرو مولار Cd بود (جدول ۵). با افزایش مصرف Cd، غلظت Cd نیز در برگ و ریشه گیاه افزایش معنی‌دار 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 ۳و۴). 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 تفاوتهای ژنوتیپی در توزیع Cd در اندامهای مختلف لاینهای ذرت بستگی به تفاوتهای 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 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 هویج بیش از ریشه تجمع می یابد.

کاربرد Zn باعث افزایش معنی‌دار 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 معنی‌دار نشان داد. مصرف Zn باعث افزایش معنی‌دار سطح برگ (LA) گیاه چغندر لبویی نسبت به تیمار شاهد گردید، ولی کاربرد روی تأثیر معنی‌داری در فتوسنتز خالص نداشت (جدول ۲). با افزایش مصرف Zn، غلظت این عنصر در ریشه و برگ چغندر لبویی افزایش معنی‌دار 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 معنی‌دار 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 معنی‌دار نداشت (جدول ۲). همچنین در مورد غلظت Zn در اندام‌های گیاه چغندر لبویی، Cd با Zn اثر متقابل معنی‌دار داشت، یعنی مصرف Cd باعث کاهش معنی‌دار غلظت Zn در ریشه و برگ گیاه چغندر لبویی شد (جدول ۳، شکلهای ۵ و۶). نتایج نشان دادند که با افزایش مصرف Zn در محلول غذایی، غلظت Cd در برگ و ریشه گیاه چغندرلبویی افزایش معنی دار یافت (جدول۳ ،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، می‌تواند 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 فتوسنتز خالص که نهایتا باعث افت عملکرد می‌شود (آزاویند و پراساد، ۲۰۰۴). کاباتا-پندیاس و پندیاس (۱۹۹۲) گزارش دادند که غلظت زیاد فلزات

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 می‌شوند. ثوابقی 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 فتوسنتز اعلام نمودند. نتایج این آزمایش نشان داد که Cd باعث کاهش مقدار کلروفیل برگ و فتوسنتز خالص در گیاه چغندر لبویی شده و موجب کاهش عملکرد گیاه گردید و با توجه به اینکه تشابهی بین Cd و Zn وجود دارد (چراتی و ملکوتی، ۱۳۸۳) Cd نقش و وظایف فیزیولوژیکی Zn را تقلید نموده ولی بر خلاف Zn، Cd برای گیاه سمی می‌باشد. در این آزمایش فتوسنتز خالص به علت کاهش کلروفیل در اثر مصرف Cd، کاهش معنی‌دار 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، پروتئینهاوساختمان چربی غشای سلول می شود (پاول، ۲۰۰۰). Zn از طریق محافظت از گروه سولفیدریل باعث سنتز کلروفیل می گردد (کاکماک،۲۰۰۰). پورفووبیلینوژن 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 وتیمکو، ۱۹۹۸). در شرایطی که گیاهان در معرض تنش فلزات سنگین قرارمی‌گیرند، 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 کهZn نه تنها از تخریب کلروفیل توسط Cd جلوگیری نمود، بلکه Zn تأثیر معنی‌دار در شاخص کلروفیل داشت و مصرف Zn باعث افزایش شاخص کلروفیل نسبت به تیمار شاهد گردید (جدول۲ 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 فتوسنتز 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 فتوسنتز می شود (چوگ و ساوهنی، ۱۹۹۹). Cd مرحله تثبیت گاز کربنیک را در فتوسنتز 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 فتوسنتز می شود. شارما و همکاران (۲۰۰۸) نیز اعلام نموده اند که Cd از طریق کاهش در رنگیزه های فتوسنتزی و کاهش فتوسنتز باعث کاهش رشد گیاهان می‌شود. اثر متقابل Zn و Cd در غلظت Cd در اندامهای گیاهی به صورت آنتاگونیستی (ام کنا و همکاران، ۱۹۹۳) و یاسینرژیستی (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 چغتدر لبویی گردید (جدول ۳، شکلهای ۵ و۶). 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 باافزایش 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

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 فتوسنتز خالص گردید و نهایتا رشد و عملکرد را در گیاه چغندر لبویی کاهش داد. Cd با Zn رابطه آنتاگونیستی 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 معنی‌دار 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.

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

نوع نمک	غلظت (µM)	نوع نمک	غلظت (mM)
FeEDTA	۵۰	KNO_3	۱/۳۳
$CuSO_4.5H_2O$	/۵	$MgSO_4.7H_2O$	۰/۵
$MnCl_2$	۲/۵	$Ca(NO_3)_2.4H_2O$	۱/۳۳
H_3BO_3	۵		
$Na_2MoO_4.2H_2O$	۰/۲۵	KH_2PO_4	۰/۴۴
$ZnSO_4.7H_2O$	۰/۵		

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 ویژگی‌های رویشی و فیزیولوژیکی چغندر لبویی

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

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

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

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		غلظت Cd ریشه	غلظت Cd برگ	غلظت Zn ریشه	غلظت Zn برگ
تکرار	۳	۲۸۲/۴۰^{ns}	۳۵۹۶/۲۰***	۱۵۸۵/۰۲*	۵۰۷/۴۰^{ns}
Zn	۲	۳۲۲۲/۸۰***	۲۲۷۱۴/۰۴***	۱۳۲۱۵۶/۴۶***	۲۵۸۸۷۹/۵۰***
Cd	۲	۳۹۸۱۳/۲۰***	۳۰۲۴۴۴/۵۴***	۱۶۷۶۱/۰۶***	۲۸۶۳۲/۴۰***
Zn×Cd	۴	۸۷۰/۶۳*	۶۸۹۳/۳۰**	۳۲۸۹/۸۴***	۳۷۲۷/۴۴***
اشتباه آزمایشی	۲۴	۲۷۹/۲۴	۱۷۱۵/۲۰	۴۵۵/۶۰	۵۲۳/۱۲
C.V		۲۶/۹۰٪	۲۲/۸۵٪	۱۶/۶۸٪	۱۱/۰۵٪

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

جدول۴- مقایسه میانگین اثرات اصلی Zn بر ویژگی‌های رویشی و فتوسنتز چغندر لبویی

سطوح Zn (µM)	وزن‌تر (g plant^{-1})	وزن خشک (g plant^{-1})	سطح برگ (cm^2)	فتوسنتز (µmol CO_2 m^{-2}S^{-1})	تعداد برگ (در هر گیاه)
۰/۵	۱۵۷/۸۰ c	۱۳/۲۷ c	۷۰۵/۹۴ b	۱۹/۸۹ a	۱۱/۴۲ b
۱۵۵	۱۷۹/۶۰ b	۱۶/۲۲ b	۸۲۴/۵۶ a	۲۱/۰۶ a	۱۱/۸۳ ab
۳۱۰	۲۰۵/۵۰ a	۱۹/۴۰ a	۸۷۰/۸۶ a	۱۹/۹۷ a	۱۲/۵ a

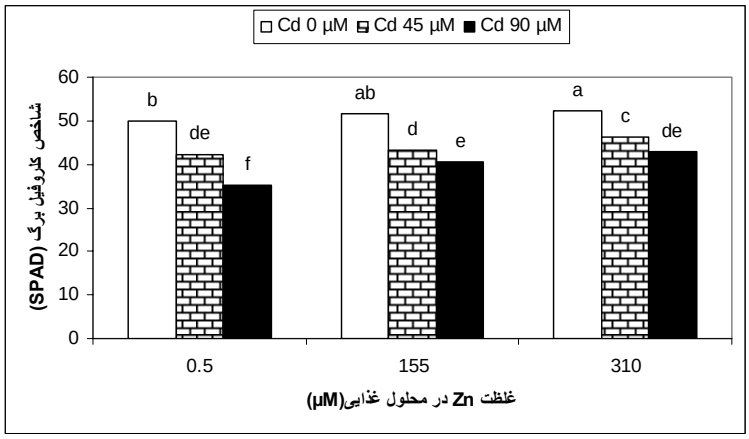
میانگین‌های با حروف مشابه در آزمون دانکن ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.

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

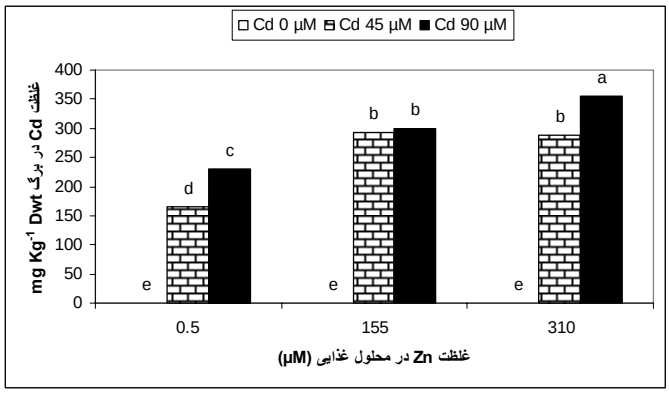
سطوح Cd (µM)	وزن‌تر (g plant^{-1})	وزن خشک (g plant^{-1})	سطح برگ (cm^2)	فتوسنتز (µmolCO_2 m^{-2}S^{-1})	تعداد برگ (در هر گیاه)
۰	۲۳۲/۵۰ a	۲۴/۳۴ a	۱۰۲۳/۳۲ a	۲۴/۵۵ a	۱۳/۰۰ a
۴۵	۱۶۶/۸۰ b	۱۳/۷۶ b	۷۱۶/۴۳ b	۲۰/۱۴ b	۱۱/۴۲ b
۹۰	۱۴۳/۶۰ c	۱۰/۷۹ c	۶۶۱/۶۸ b	۱۶/۱۴ c	۱۱/۳۳ b

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

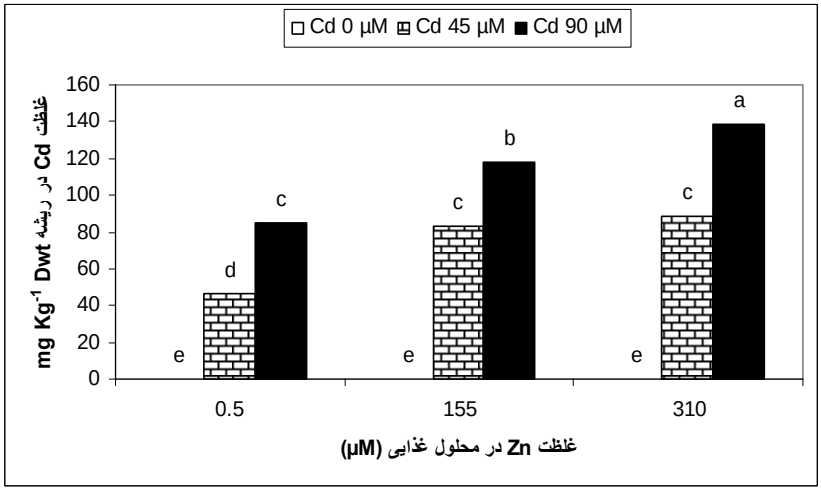
شکل ۱- از چپ به راست: تیمار شاهد (بدون Cd)، تیمار Cd ۹۰ میکرومولار و ۰/۵ میکرومولار Zn(Zn1Cd2) و تیمار Cd صفر و ۱۵۵ میکرومولار Zn (Zn2Cd0)



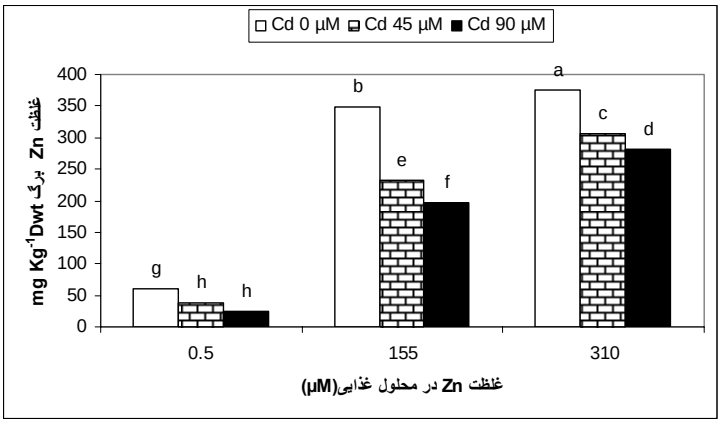
شکل ۲- اثر متقابل غلظت Zn و Cd محلول غذایی بر شاخص کلروفیل برگ گیاه چغندر لبویی
میانگینهای دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج درصد می باشد



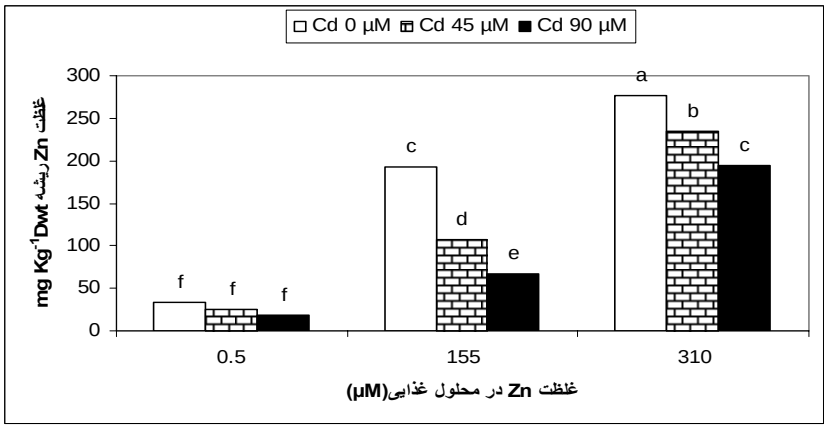
شکل ۳- اثر متقابل غلظت Zn و Cd محلول غذایی بر غلظت Cd برگ گیاه چغندر لبویی
میانگینهای دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج درصد می باشد



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. ثواقبی،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. جلد۱۲.شماره۹.ص۶۶-۷۵.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 شالیزاری شمال کشور. مجله علوم خاک و آب. موسسه تحقیقات خاک و آب. ویژه نامه کشاورزی پایدار.جلد۱۲.شماره۹.ص۱۲-۱۸.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 *Arabidiopsis 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 Zn^{2+} absorption and translocation to shoot in hyperaccumulator and non hyperaccumulator species of *Thalaspi*. 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. Mortvdet 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.