جهت تهیه فایل ورد این مقاله به سایت DaneshResan.com مراجعه نمایید و عنوان مقاله را جستجو کنید
بیش از ۲ میلیون مقاله فارسی در این سایت موجود میباشد

تغییرات فعالیت فتوسنتزی و آنزیمی کاهو تحت تاثیر سمیت کادمیم

مریم حقیقی- محسن کافی- تکتم سادات تقوی*-عبدالکریم کاشی- غلامرضا ثواقبی[1]

تاریخ دریافت:۸۶/۱۱/۱۱
تاریخ پذیرش:۸۷/۵/۳۰

چکیده

برای بررسی تغییرات فعالیت آنزیمی و فتوسنتزی کاهو تحت تنش کادمیم آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۷ تکرار درمحل گلخانه تحقیقاتی دانشگاه جه جیانگ چین در محیط کشت هیدروپونیک طرح ریزی شد. کادمیم در ۳ غلظت صفر، ۲، ۴ میلی گرم در لیتر به صورت کلرید کادمیم به محلول غذایی اضافه شد. سپس شاخصهای مربوط به فتوسنتز (تعرق، هدایت روزنه ای، هدایت مزوفیلی، دی اکسید کربن داخل روزنه ای)، تغییرات فعالیت آنزیمهای اکسیدانی (پرکسیداز و سوپر اکسید دسموتاز)، کلروفیل، زی توده گیاه، ضریب انتقال عناصر، طول و تعداد برگ اندازه گیری شد. نتایج این آزمایش نشان داد که کادمیم و افزایش غلظت آن با افزایش فعالیت آنتی اکسیدانهای پرکسیداز و سوپر اکسید دسموتاز کاهش زی توده وکاهش طول برگ همراه می‌باشد. اثرات سمی افزایش کادمیم با گذشت زمان بر روی فاکتورهای رشدی متفاوت است اما همه شاخصهای رشدی اندازه گیری شده مانند کلروفیل ، فتوسنتز ، تعرق، هدایت روزنه ای، دی اکسید کربن داخل روزنه ای در اثر تنش کادمیم کاهش یافته اند با افزایش غلظت کادمیم ضریب انتقال کادمیم به گیاه نیز افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: فتوسنتز، کلروفیل، روزنه، آنتی اکسیدان، کادمیم، کاهو

مقدمه

کودهای آلی به علت آثار بهبود بخشی که بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک دارند، یکی از روشهای مهم افزایش باروری خاک شناخته شده‌اند. این در حالی است که بیش از ۶۰ درصد خاکهای ایران کمتر از یک درصد ماده آلی دارند (۵) امروزه به دلیل رشد سریع جمعیت و در نتیجه تولید هر چه بیشتر مواد زائد آلی از یک سو (۱۰) و افزایش تقاضای محصولات کشاورزی از سوی دیگر، مصرف کودهای آلی نظیر کمپوست و لجن فاضلاب به دلیل غنی بودن آنها از بعضی عناصر مورد توجه قرار گرفته است (۳ و ۴۸) از طرفی کود لجن فاضلاب معمولاً دارای غلظت قابل توجهی از عناصر سنگین مانند سرب و کادمیم است. خدیوی و همکاران رابطه مثبت بین افزایش میزان کادمیم لجن فاضلاب و غلظت کادمیم جذب شده در گندم را گزارش کردند (۴). بر اساس نظریه بمب زمان[2] این نگرانی وجود دارد که کادمیم موجود در خاکهایی که با لجن فاضلاب، کودهای فسفاته حاوی کادمیم و سایر ترکیبات حاوی کادمیم تیمار شده اند، با گذشت زمان متحرک شده و قابلیت دسترسی آنها برای گیاه افزایش یابد (۱۱، ۳۶ و۴۷) یابد. آنها نشان دادند که پس از

۱-به ترتیب دانشجوی دکتری فیزیولوژی و اصلاح سبزی، استادیاران، استاد گروه علوم باغبانی، استادیار گروه خاکشناسی دانشگاه تهران
* - نویسنده مسئول Email: ttaghavi@ut.ac.ir

2- Time bomb effect

جهت تهیه فایل ورد این مقاله به سایت DaneshResan.com مراجعه نمایید و عنوان مقاله را جستجو کنید
بیش از ۲ میلیون مقاله فارسی در این سایت موجود میباشد

۱۵ سال کاربرد لجن فاضلاب ۷۵ درصد کادمیم در فرم محلول و قابل دسترس برای کاهو است. مکنا و همکاران نیز در سال ۱۹۹۳ با مقایسه سمیت عناصر مختلف بر روی اسفناج و کاهو در خاکهای اسیدی نشان دادند که در غلظتهای مساوی از روی، مس، نیکل و کادمیم تجمع آنها به ترتیب افزایش می‌یابد (۳۷). تحقیقات نشان می‌دهد اولین اثر کادمیم بر گیاه، کاهش فتوسنتز است (۲۳ و ۳۰). کاهش سنتز کلروفیل و فتوسنتز در اثر سمیت کادمیم، باعث کاهش زی توده[1] گیاه می‌شود (۳۹). در آزمایش اثر کادمیم بر روی گیاه لوبیا را مشاهده شد که کادمیم از طریق کاهش جذب دی اکسید کربن از طریق روزنه ها مانع از فعالیت فتوسنتزی شد (۳۹). سایر محققان کاهش میزان فتوسنتز را تحت تاثیر سمیت کادمیم بر روی سویا و شبدر را گزارش کردند (۳۹). از طرفی برخی دیگر از تحقیقات نشان داد، از آنجایی که تجمع کادمیم در برگها بیش از سایر قسمتهای گیاه است، کادمیم با تخریب کلروپلاست برگهای جوان باعث کاهش فتوسنتز می‌شود (۱۲). کاهش رشد گیاهان در شرایط تنش به دلیل محدود شدن فتوسنتز است. عوامل محدود کننده فتوسنتز به دو دسته تقسیم می‌شوند روزنه ای که منجر به کاهش انتشار دی اکسید کربن به فضای بین سلولی در اثر کاهش هدایت روزنه ای می‌شوند و عوامل غیر روزنه ای که فتوسنتز را از طریق اثر مستقیم بر فرایندهای بیوشیمیایی فرآوری کربن محدود می کنند (۷). طبق آزمایشات دیویس و اسمیت در سال ۱۹۸۰ به ترتیب حساس ترین گیاهان به سمیت کادمیم به ترتیب اسفناج> سویا> شاهی> کاهو> ذرت> هویج> شلغم> لوبیا> گندم> تربچه> گوجه فرنگی> کدو> کلم> برنج هستند. نکته قابل توجه این است که کادمیم بیشتر در برگهای کاهو تجمع می‌یابد (۱۸). از آنجایی که بخش خوراکی کاهو برگهای آن بوده و مصرف کاهو در بین سبزیجات نامبرده بیشتر می‌باشد در نتیجه تهدید سمیت کادمیم بر سلامتی انسان از طریق مصرف کاهو اهمیت خاصی دارد.

1- Biomass

در اثر شرایط تنش اکسیژن فعال در گیاه افزایش می‌یابد. گیاه دارای مکانیزمهای متفاوتی جهت حذف یا کاهش این ترکیبات مخرب می‌باشد که در شدتهای متفاوت تنش ظاهر می‌شود (۱۴ و ۴۰). یکی از این سیستمهای تدافعی، فعال شدن آنزیمهای آنتی اکسیدانی از جمله آنزیمهای پرکسیداز و سوپر اکسید دسموتاز است که در قسمتهای مختلف سلولی قرار دارد. سوپر اکسید دسموتاز تنها آنزیمی است که بر رادیکال های آزاد موثر است و آنها را به پراکسید هیدرژن تبدیل می کند. سپس پراکسید هیدرژن توسط آنزیمهای مختلف چون پرکسیداز تبدیل به آب می‌شود. افزایش فعالیت این آنزیم ها در تنشهای محیطی مقاومت گیاه را به شرایط تنش افزایش می‌دهد (۹، ۲۱ و ۴۲).

وجود مناطق آلوده سبزیکاری در اطراف مناطق شهری ایران ازجمله منطقه ورامین تهران، اصفهان و سایر کلان شهرها، اهمیت مطالعه اثرات سوء کادمیم را بر تجمع این عنصر در گیاه و متعاقب آن تجمع کادمیم در بدن انسان را الزامی می کند. مطالعات نشان داده که میزان کادمیم در کاهو در منطقه ورامین ۲/۱ میلی گرم در کیلوگرم وزن گیاه است در حالیکه حد مجاز آن ۰/۱ میلی گرم در کیلوگرم وزن گیاه است (۲). تحقیقات بر روی نحوه افزایش کادمیم خاک و جذب آن توسط گیاه بسیار صورت گرفته است اما اطلاعات مربوط به اثرات کادمیم بر روی فیزیولوژی گیاه و نحوه تاثیر پذیری و واکنش گیاه به تنش کادمیم ناچیز است. بنابراین تحقیق حاضر به بررسی اثر تنش کادمیم بر روی تغییرات عوامل روزنه ای محدود کننده فتوسنتز و تغییرات برخی از آنزیمهای آنتی اکسیدانی در گیاه کاهو پرداخته است.

مواد و روش‌ها

شرایط کشت و تیمارهای آزمایشی

بذرهای کاهو رقم (*Lactuca sativa* var Italy) در مخلوط ورمیکولیت/پرلیت (۱/۲ V/V) کاشته شدند و سپس

جهت تهیه فایل ورد این مقاله به سایت DaneshResan.com مراجعه نمایید و عنوان مقاله را جستجو کنید
بیش از ۲ میلیون مقاله فارسی در این سایت موجود میباشد

نشاهایی که ۳-۲ برگ داشتند به سیستم کشت هیدروپونیک شامل گلدانهایی با مخلوط پیت/پرلیت (V/V ۱/۱) منتقل و در گلخانه منتقل شدند. کادمیم ($CdCl_2$) با ۳ غلظت صفر ،۲ و ۴ میلی گرم در لیتر به محلول غذایی اضافه شد. محلول غذایی طبق فرمول هوگلند آماده شد. واکنش محلول (pH) توسط سود و اسید کلریدریک حدود ۶ تنظیم گردید. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۷ تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه Zhijiang چین انجام گردید. داده ها با نرم افزار MSTAT-C و SAS آنالیز شدند. میانگینها با آزمون دانکن در سطح ۵٪ مقایسه شدند.

نمونه برداری و اندازه گیری فعالیت آنزیم

دومین برگ کاملاً رشد کرده کاهو برای استخراج آنزیمها ۵ روز پس از تیماردهی انتخاب شد و در کیسه پلاستیکی در فلاسک یخ به آزمایشگاه منتقل شد. نیم گرم نمونه برگ بعداز شستن با آب دیونیزه همراه ۵ میلی لیتر بافر فسفاته شامل (۵۰ میکرومول فسفات، ۱ درصد (وزنی/حجمی) از BSA، ۰/۰۵درصد (وزنی/حجمی) ازمرکاپتواتانول[1]، ۱ درصد (وزنی/حجمی) از اسکوربات[2]) با غلظت ۰/۵ مول بر لیتر با اسیدیته ۷/۸ در هاون در مجاورت یخ ۴ درجه سانتی گراد له شد. مخلوط حاصل با دور rpm ۱۲۰۰۰ به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی گراد سانتریفوژ گردید. عصاره بالایی لوله آزمایش برای سنجش آنزیم به آرامی جدا شد.

سنجش فعالیت سوپر اکسید دسموتاز طبق روش بیچامپ و فریدوویچ (۱۹۷۱) با تغییراتی انجام شد (۱۴). سه میلی لیتر محلول سنجش شامل ۵۰ میکرو مول بافر فسفاته با اسیدیته ۷/۸، ۹/۹ میکرو مول از ماده متیونین[3]، ۵/۷ میکرو مول نیترو تترازولیوم بلوکلراید)[4]، ۰/۰۰۴۴ (وزنی/حجمی) ازریبوفلاوین[5] و۰/۰۲۵(وزنی/حجمی) از Triton X-100 به عصاره اضافه گردید. میزان فعالیت سوپر اکسید دسموتاز بر حسب تغییر NBT در برابر نور توسط اسپکتروفتومتر در ۵۶۰ نانومتر اندازه گیری شد. یک واحد فعالیت سوپر اکسید دسموتاز معادل ۵۰ درصد ممانعت از تغییر رنگ NBT در برابر نور بیان می شود.

سنجش فعالیت پرکسیداز بر طبق روش کاندلی و اسکاندالویز (۱۹۹۳) با یکسری تغییرات انجام شد (۱۶). محلول واکنش شامل ۵۰ میلی مول بافر فسفاته پتاسیم، ۱درصد (وزنی/حجمی) گویکول[6]، ۰/۰۴ (حجمی /حجمی) پراکسید هیدروژن[7] با اسیدیته ۶/۱ تهیه شد. سپس ۱۷۰۰ میکرولیتر محلول واکنش به ۱۰۰ میکرولیتر عصاره گیاهی اضافه شد. جذب نور به علت اکسید شدن گویکول افزایش می‌یابد که میزان جذب توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در ۴۷۰ نانومتر سنجیده می‌شود. فعالیت آنزیم بر اساس مقدار گویکولی که در دقیقه اکسید می‌شود بیان می‌شود (۴۶).

اندازه گیری کادمیم برگها و محاسبه ضریب انتقال[8]

میزان کادمیم پس از خاکستر شدن در دمای ۵۵۰ درجه سانتی گراد به مدت ۵ ساعت و افزودن اسید کلرئیدریک ۱ نرمال به کمک دستگاه ICP[9] اندازه گیری شد. به منظور تعیین میزان واقعی جذب عناصر توسط گیاهان ضریب انتقال فلزات محاسبه می‌شود. ضریب انتقال از نسبت غلظت فلز در گیاه به غلظت فلز در بستر به دست می‌آید (۲.).

شاخص کلروفیل برگ

این شاخص که نماینگر میزان کلروفیل برگ است توسط دستگاه کلروفیل سنج[10] (مدل ۵۰۲ ساخت شرکت

1- mercaptoethanol
2- ascorbate
3- L- methionine
4- Nitro tetrazolium blue chlorid (NBT)

5- riboflavin
6- Guaiacol
7- H2o2
8- Transfer coefficient
9- Inductively Coupled Plasma
10- SPAD

مینولتا، ژاپن) هر روز اندازه گیری شد و نتایج در ۲ زمان ۶ و ۱۲ روز گزارش شد (۲۳).

اندازه گیری تبادلات گازی

به منظور اندازه گیری میزان فتوسنتز در واحد سطح برگ (میکرومول CO_2 بر متر مربع بر ثانیه)، هدایت روزنه ای (میلی مول بر متر مربع بر ثانیه)، مقاومت روزنه ای (متر مربع در ثانیه در مول)، میزان تعرق (میلی مول بر متر مربع بر ثانیه) و غلظت CO_2 درون روزنه ای (میکرومول بر مول) از دستگاه پرتابل سنجش فتوسنتز (LI, 6100 شرکت لای کور، ایالات متحده آمریکا) در دو نوبت مورد استفاده قرار گرفت. تمامی اندازه گیریها در ساعت ۱۱ صبح و در شدت نور معادل ۱۲۰۰-۱۴۰۰ میکرومول فوتون بر متر مربع بر ثانیه انجام شد در هر تیمار صفات مورد نظر از برگهای میانی کاملا توسعه یافته با ۳ تکرار اندازه گیری شد. داده ها ۳۰ ثانیه پس از قرار دادن برگ در داخل محفظه دستگاه اعداد ثبت گردید (۱ و ۲۳) هدایت مزوفیلی (میلی مولCO_2 در متر مربع در ثانیه) از تقسیم کردن فتوسنتز به غلظت CO_2 درون روزنه ای بدست می‌آید. میزان کمتر فتوسنتز و فرآوری CO_2 در حضور مقادیر بالای CO_2 داخل روزنه ای به مفهوم پایین بودن میزان هدایت مزوفیلی و عدم توانایی سلولهای مزوفیل در استفاده از CO_2 می‌باشد (۲۳). به منظور تعیین کارایی مصرف آب فتوسنتزی (میکرومول CO_2 بر مول H_2O) میزان فتوسنتز به هدایت روزنه ای تقسیم شده است (۵۰) کارایی مصرف آب فتوسنتزی شاخصی است که میزان فتوسنتز به ازاء هر واحد هدایت روزنه ای و تعرق را نشان می‌دهد.

نتایج

تغییرات غیر فتوسنتزی کاهو تحت تاثیر تنش کادمیم:

وزن خشک و تر اندام هوایی، طول برگ، مقدار کادمیم و تغییرات آنزیمی گیاهان تیمار شده با کادمیم تفاوت معنی داری را با شاهد نشان داد (جدول۱). اما تغییر معنی داری در وزن خشک ریشه نسبت به شاهد دیده نشد (داده ها نشان داده نشده است). وزن خشک اندام هوایی گیاهان در تیمارهایی با غلظتهای ۲ و ۴ میلی گرم در لیتر کادمیم به ترتیب ۸/۶ و۲۶/۲ درصد در نسبت به شاهد کاهش داشت و همبستگی منفی معنی داری در سطح R^2 =۰/۹۹ با رابطه Y= - 0.0588X+6.77 بین سطوح مختلف کادمیم و وزن خشک اندام هوایی مشاهده شد.

وزن تر اندام هوایی کاهو در غلظتهای ۲ و ۴ میلی گرم در لیتر کادمیم به ترتیب ۱۹ و ۴۲ درصد کاهش نسبت به شاهد کاهش داشت. رابطه منفی معنی داری با $R^2 = 0.99$ و فرمول $Y = -20.55 X + 117.66$ بین کادمیم محیط ریشه و وزن گیاه برقرار است. میزان کادمیم گیاه با افزایش غلظت کادمیم در محلول غذایی به طور معنی داری افزایش داشته است. میزان جذب کادمیم در غلظتهای ۲ و ۴ میلی گرم در لیتر محلول غذایی به ترتیب۳۵/۳۱ و ۵۴/۸ میکروگرم درگرم وزن خشک بوده است. مقایسه بین میزان کادمیم در گیاه و زی توده تولیدی توسط گیاه رابطه منفی معنی داری با R^2 =۰/۹۳ را نشان می دهد. به این معنی که با افزایش غلظت کادمیم در محلول غذایی زی توده گیاه کاهش یافت. زیرا ضریب انتقال کادمیم در غلظتهای ۲ و ۴ میلی گرم در لیتر کادمیم ۱۷/۶۵ و ۲۷/۴ است. هرچند تعداد برگ کاهو تحت تاثیر کادمیم قرار نگرفت (داده ها نشان داده نشده است) اما طول برگهای آن کاهش یافت.

فعالیت آنزیمهای پرکسیداز و سوپر اکسید دسموتاز در برگهای با افزایش غلظت کادمیم کاهو به طور معنی داری افزایش یافت به طور متوسط فعالیت پرکسیداز در غلظتهای ۲ و ۴ میلی گرم در لیتر کادمیم ۸ و ۲۹ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد و فعالیت سوپر اکسید دسموتاز ۳۴ و ۱۰۷ درصد نسبت به شاهد بیشتر بود. میزان فعالیت سوپر اکسید دسموتاز و پرکسیداز تا ۳۲۴/۰۷ و ۸/۵۹ واحد به ازاء

گرم وزن تر[1] و افزایش یافت. بین فعالیت سوپر اکسید دسموتاز و سطوح مختلف کادمیم همبستگی مثبت با R^2=۰/۹۵ و فرمول Y=42.857X+127.19 مشاهده شد و رابطه بین فعالیت پرکسیداز و سطوح مختلف کادمیم با فرمول Y=0.7838x+5.02 و R^2=۰/۹۵ در سطح ۵ درصد معنی دار بود. در این آزمایش افزایش سوپر اکسید دسموتاز و پرکسیداز تحت تاثیر تنش افزایشی و همسو در تیمارهای مختلف بود. رابطه مثبت معنی داری بین افزایش فعالیت پرکسیداز و سوپر اکسید دسموتاز تحت تاثیر سطوح مختلف کادمیم در سطح ۵ درصد با R^2 =۰/۸۳ وجود داشت.

تغییرات فتوسنتز تحت تاثیر تنش کادمیم

تغییرات روزنه ای فتوسنتز و میزان کلروفیل در جدول ۲ آمده است. با افزایش غلظت کادمیم در محلول غذایی میزان فتوسنتز کاهش معنی داری پس از ۶ روز از تیمار داشت. با افزایش طول مدت تیمار کادمیم نیز میزان فتوسنتز در آنالیز مرکب داده ها کاهش معنی داری در سطح ۱ در صد داشت. میزان فتوسنتز در روز ۱۲ نسبت به روز ۶ در غلظتهای ۲ و ۴ میلی گرم بر لیتر به میزان ۱۸۰ و ۱۵۱ درصد کاهش یافت. این کاهش در غلظتهای ۴ میلی گرم بر لیتر کادمیم بیشتر بود. اما بین تیمارهای مختلف کادمیم در روز ۱۲ تغییر معنی داری مشاهده نشد. به نظر می‌رسد که گیاه توان خود را به مقابله با تنش کادمیم از دست داده است. رابطه منفی معنی داری بین میزان کادمیم و فتوسنتز در سطح ۵ درصد وجود دارد. غلظت کلروفیل تحت تاثیر ۲ و ۴ میلی گرم بر لیتر کادمیم به طور متوسط ۴/۲ و ۹/۴۲ درصد در هر دو زمان اندازه گیری کاهش داشت. اما بر خلاف فتوسنتز میزان کلروفیل برگها با مرور زمان کاهش معنی داری نیافت هرچند هم در ۶ و هم ۱۲ روز کاهش قابل توجهی داشت.

1-(U g-1 W)

رابطه منفی معنی داری بین میزان کلروفیل برگها و غلظت کادمیم بستر کشت با R^2=0.79 پس از ۶ روز و R^2=0.99 در روز ۱۲ به دست آمد. بیشترین میزان کاهش کلروفیل مانند فتوسنتز در غلظت بالاتر کادمیم یعنی غلظت ۴ میلی گرم بر لیتر کادمیم بود. میزان تعرق،کارایی مصرف آب فتوسنتزی در هر دو زمان اندازه گیری تحت تنش کادمیم کاهش یافت اما میزان هدایت مزوفیلی تغییر معنی داری نداشت. تغییرات هدایت روزنه ای وغلظت CO_2 داخل سلولی در دو زمان اندازه گیری روند یکسانی نداشت اما به طور کلی هدایت روزنه ای پس از ۱۲ روز کاهش وغلظت CO_2 داخل سلولی پس از ۶ روز افزایش یافت.

بحث و نتایج کلی

فرضیه جذب ثابت[2] که چنی و رایان (۱۷) مطرح کرده‌اند بر این اساس استوار است که جذب فلزات سنگین توسط گیاه به عنوان تابعی خطی از شدت افزایش فلز در خاک صورت می‌گیرد تا اینکه به یک حد بیشینه رسیده و پس از آن مقدار جذب ثابت می‌شود. البته این اثر می‌تواند تابع گونه و فیزیولوژی گیاه باشد (۱۷). نتایج دیگر محققان نشان داد که جذب کادمیم توسط گیاه بستگی به میزان کادمیم در بستر یا محلول غذایی دارد به طوریکه با افزایش غلظت کادمیم در محیط ریشه میزان جذب آن نیز توسط گیاه افزایش می یابد. اریکسون (۱۹۹۰) گزارش کرد که جذب کادمیم در گندم به میزان کادمیم در خاک بستگی دارد و ارتباط مثبت بین میزان جذب کادمیم و غلظت کادمیم قابل انتقال در خاک را نشان داد (۲۰). استمان (۱۹۹۶) در تحقیقی بر روی کاهو مشاهده کرد که رابطه معنی داری بین میانگین کادمیم قابل جذب توسط برگها و غلظت کادمیم در محیط غذایی وجود دارد به این معنی که جذب کادمیم توسط گیاه، با افزایش غلظت آن در محیط

2- Uptake plateau concept

افزایش می‌یابد (۳۸). بطور مشابه در این تحقیق دیده شد که بیشترین میزان جذب کادمیم در غلظت ۴ میلی گرم در لیتر بود و این مقدار جذب کادمیم در غلظت مذکور، ۵۵ درصد بیشتر از غلظت ۲ میلی گرم در لیتر بوده است با این نتایج احتمال می رود که کادمیم قابل جذب توسط گیاه با اضافه شدن کادمیم به محیط کشت افزوده نمی شود. زیرا ضریب انتقال کادمیم در غلظتهای ۲ و ۴ میلی گرم در لیتر کادمیم ۱۷/۶۵ و ۲۷/۴ بود. نتایج این تحقیق با نتایج اندرسون و بینگ فوری (۱۹۸۵) که نشان می دهد میزان کادمیم در گیاه و سرعت جذب آن متناسب با غلظت آن در محیط است (۱۲)، مطابقت دارد. با توجه به این نتایج احتمال وجود آلودگی در سبزیجات خصوصا کاهو کشت شده در مناطق آلوده کشور وجود دارد. ترابیان (۱۳۸۱) میزان کادمیم کاهو در منطقه ورامین را ۲/۱ میلی گرم در کیلوگرم وزن گیاه گزارش کرد و از حد مجاز آن یعنی ۰/۱ میلی گرم در کیلوگرم وزن گیاه متجاوز است (۲) فرضیه احتمال وجود آلودگی کاهو در این منطقه و احتمالا مناطق دیگر را تایید می‌کند. با جذب و تجمع این فلز سنگین در گیاه، سیستم دفاعی گیاه فعال شده و رادیکالهای آزاد زیادی تولید می شود اما ممکن است در اثر افزایش و تداوم عامل تنش و به دنبال آن افزایش بیش از حد میزان رادیکالهای آزاد، مکانهای جذب و اتصال این رادیکالهای آزاد توسط آنتی اکسیدانها اشباع شود (۲۴). بنابراین پاسخ علیه تنشهای مختلف در سطوح مختلف آن تنش، در یک گونه حائز اهمیت است تا از این طریق واکنش گیاه بررسی شود و امکان بهبود شرایط مقاومت و مقابله با شرایط تنش پیش بینی شود. سیستم تدافعی سلولهای گیاهی علیه رادیکال های آزاد اکسیژن شامل آنزیمهای متعددی از جمله پرکسیداز و سوپر اکسید دسموتاز هستند (۸). در این آزمایش نیز مشاهده شد سمیت کادمیم باعث افزایش فعالیت پرکسیداز و سوپر اکسید دسموتاز جهت مقابله با رادیکالهای آزاد در اثر تنش کادمیم شد. نتایج مشابهی توسط سایر محققین نیز گزارش شده است (۳۰، ۴۹ و ۵۱). طبق نتایج حاصله توسط باولر (۱۹۹۴) سوپر اکسید دسموتاز حساسترین آنزیم به این تنش محیطی است (۱۵ و ۳۲) که فعالیت این آنزیم در اثر افزایش رادیکالهای آزاد، افزایش می یابد. افزایش فعالیت این آنزیم در آزمایش فوق نیز مشاهده شد. در مواجه با تنش کادمیم، فعالیت سوپر اکسید دسموتاز بیش از پرکسیداز افزایش می‌یابد و فعالیت سوپر اکسید دسموتاز حدوداً ۱۰۷ درصد نسبت به شاهد (بدون کادمیم) افزایش داشت. نتاج حاصله با تحقیقات شاه (۲۰۰۲) در مورد اثر تنش کادمیم بر روی برنج مطابقت دارد (۴۵). وزن گیاه تحت تنش کادمیم کاهش قابل توجهی داشت. رابطه رگرسیونی منفی، بین غلظت کادمیم برگ و وزن گیاه مشاهده شد. نتایج مشابهی توسط شاه (۲۰۰۲) با کاربرد کادمیم در گیاه برنج (۴۵) و در کاهو (۲۴) گزارش شده است. تحقیقات قبلی اثر کاهشی کادمیم بر فتوسنتز کاهو را نشان دادند (۴۳ و ۲۷). نتایج به دست آمده نیز رابطه منفی معنی دار($P < 0.05$) بین میزان کلروفیل و یا فتوسنتز با غلظت کادمیم در کاهو را تایید می‌کند. آزمایشات روی گیاهچه های نخودفرنگی نشان داد افزایش مدت زمان تیمار کادمیم باعث کاهش فتوسنتز در ۶ و ۱۲ روز شده است وعلت آن را کاهش میزان کلروفیل دانست (۳۲). میزان کاهش فتوسنتز پی آمد کاهش میزان زی توده، سطح برگ گیاه و میزان کلروفیل است (۳۴ و ۶). نتایج مشابهی کاهش میزان زی توده و کلروفیل را همزمان با کاهش فتوسنتز در کاهو نشان داد که دلالت بر شروع فرایندهای پیری دارد. تحقیقات مشابه دیگر در سایرگیاهان این نتایج را تایید می‌کند (۲۵ و ۵). نتایج این آزمایش بیانگر این است که اثر کادمیم بر فتوسنتز بیش از اثر بر میزان کلروفیل پس از گذشت زمان است به همین دلیل سمیت کادمیم تا مراحل آخر با نشانه های مورفولوژیکی همراه نیست. به عنوان نمونه ۴ میلی گرم بر لیتر کادمیم فتوسنتز را

۱۲ درصد اما کلروفیل را ۹/۶ درصد کاهش داد. نتاج مشابهی نیز در لوبیا (۵۱) کاهش فتوسنتز تحت تنش را نشان داد. در این آزمایش هدایت مزوفیلی از ۷ و ۳/۵ درصد در شرایط تنش ۲ و ۴ میلی گرم بر لیتر کادمیم نسبت به شاهد کاهش یافت اما هدایت روزنه ای تغییر چندانی نداشت. لذا ممکن است بتوان گفت که غلظتهای کمتر کادمیم با مقادیر بالاتر هدایت روزنه ای همراه است .بسته شدن روزنه ها برای مدت طولانی می‌تواند به تخریب کلروپلاست (۲۹) و افزایش دمای برگ به میزان ۶-۵ درجه سانتیگراد منتهی شود (۴۱). به همین سبب گفته می‌شود که بسته شدن روزنه ها در واکنش به تنشها چون تنش کادمیم با کاهش تورژسانس روزنه مرتبط است(۵۰). ورونا و کالکانگو (۱۹۹۱) بیان داشته اند که برای عملکرد مطلوب، گیاه باید روزنه ها را در طی تنش باز نگه دارد به گونه ای که آب و مواد غذایی را بهتر از محیط ریشه دریافت کند در این حالت در برابر تنش دوام می‌آورد اما با افزایش غلظت کادمیم از ۲ به ۴ میلی گرم بر لیتر گیاه مقاومت نسبی خود را از دست داده و با کاهش هدایت روزنه ای، نرخ تبخیر و تعرق کاهش یافته است (۵۰). نتایج این آزمایش که کارایی مصرف آب تحت تنش کادمیم به طور متوسط ۱۳ و ۲۹ درصد پس از ۶ روز به ترتیب در ۲ به ۴ میلی گرم بر لیتر کادمیم نسبت به شاهد کاهش دارد که می‌تواند به دلیل مختل شدن سیستم آنزیمی دخیل در چرخه های فتوسنتزی موثر از تنش کادمیم باشد. همبستگی منفی بین غلظت دی اکسید کربن زیر روزنه ای و غلظت کلروفیل ($Y = -0.1894X + 67.83$ و $R^2 = 0.9382$) در شرایط تنش نشان می‌دهد که میزان کلروفیل بالاتر باعث اسیمیلاسیون دی اکسید کربن بالاتری می‌شود و با کاهش میزان کلروفیل حتی در حضور دی اکسید کربن زیر روزنه ای بالا باز هم کاهش فتوسنتز را مشاهده می کنیم. همبستگی مثبت و معنی داری بین هدایت مزوفیلی و غلظت کلروفیل ($Y = 197.81X + 18.842$ و $R^2 = 0.99$) ممکن است بر این موضوع دلالت داشته باشد که کاهش غلظت کلروفیل عامل مهمی در کاهش هدایت مزوفیلی است. با افزایش غلظت کادمیم، هدایت روزنه ای پس از ۱۲ روز کاهش یافت. لذا احتمال کاهش فتوسنتز به دلیل کاهش هدایت روزنه ای مانند آنچه در لوبیا، سویا، شبدر قبلا ذکر شد وجود دارد (۳۹). با کاهش هدایت روزنه ای میزان CO_2 داخل سلولی افزایش می‌یابد که نشان می‌دهد سلولهای مزوفیلی در استفاده از CO_2 ناتوان است. نتایج نشان می‌دهد که پس از گذشت زمان، کلروفیل شاخص عمده تری در کاهش فتوسنتز است در حالیکه ۶ روز پس از ایجاد تنش، کاهش تعرق و کارایی مصرف آب مشاهده می‌شود.

تفکیک عوامل روزنه ای و غیر روزنه ای بر اساس روابط فتوسنتزی، هدایت روزنه ای و غلظت CO_2 داخل سلولی ممکن است با توجه به عدم همگنی بسته شدن روزنه ها در شرایط تنش کادمیم غیر مطمئن به نظر برسد (۵۲). درچنین حالتی ممکن است مقدار CO_2 داخلی محاسبه شده بیشتر از مقدار واقعی برآورد گردد و لذا علت آن به عوامل غیر روزنه ای فتوسنتز نسبت داده شود به هر حال وقوع چنین حالت بسته شدن غیر یکنواخت[1] روزنه در شرایط تنش کادمیم در کاهو مانند سایر تنشها، مخصوصا در غلظتهای بالاتر ، غیرمحتمل دانسته شده است(۲۵). در مطالعه حاضر اولاً با تداوم تنش در اثر گذشت زمان هدایت روزنه ای کاهش معنی داری داشته است و رو به توقف کامل می‌رود و لذا احتمال وقوع بسته شدن غیر همگن روزنه ها و لذا تخمین غیر صحیح CO_2 داخل سلولی بعید به نظر می‌رسد.

طبق تحقیقاتی که بر روی تنش خشکی توسط هلیویکوا (۲۶) انجام شده ثابت شده است، زمانی که کلروفیل شروع به تجزیه شدن می کند که وضعیت آبی برگ از حد معین کمتر باشد. کاهش همزمان کلروفیل و کارایی مصرف آب

1- Patchines

در برگهای کاهو نیز عدم توانایی کلروفیل در بقاء در برابر تنش کادمیم را نشان می‌دهد.در شرایط کاهش آب سلولی، افزایش در فعالیت کلروفیلاز (۳۵) و پرکسیداز (۱۳) (جدول ۱) از عوامل موثر در کاهش کلروفیل می‌باشد. کاهش در هدایت روزنه ای با گذشت زمان و افزایش سن برگ در لوبیا (۱۹) و پنبه(۷) نیز گزارش شده است. بعلاوه پاسخ هدایت روزنه ای به تنش در برگها با گذشت زمان، نسبت به افزایش غلظت کادمیم بیشتر و همراه با کاهش فتوسنتز است. با پیشرفت تنش کادمیم (پس از ۱۲ روز) میزان هدایت روزنه ای تا نزدیک توقف کامل پیش می‌رود ولی میزان CO_2 داخل سلولی به حداکثر مقدار خود افزایش می‌یابد. این افزایش در گندم (۲۸) و پنبه (۵۲) تحت تنش خشکی نیز گزارش شده است. افزایش در CO_2 داخل سلولی با وجود کاهش در هدایت روزنه ای را میتوان به کاهش ظرفیت فتوسنتزی کلروپلاست نسبت داد (۲۲).

اختلال در فعالیت آنزیمهای چرخه کالوین (۳۱)، انتقال الکترون فتوسیستم II (۳۳) از اجزاء اصلی سیستم فتوسنتزی هستند که کاهش یا اخلال در هر یک از آنها در شرایط تنش به گیاه گزارش شده است.

وزن خشک در برگهای کاهو به طور معنی داری با افزایش غلظت کادمیم کاهش یافت که در مجموع در هر دو غلظت ۱۷ درصد کمتر از شاهد بود. هرچند تعداد برگ گیاه تحت تاثیر کادمیم قرار نگرفت اما طول برگ کاهش یافت. لذا کاهش زی توده گیاه تحت تاثیر طول برگها و نه تعداد آنها بود زیرا تعداد برگ بیشتر تحت تاثیر ژنتیک اما طول برگها بیشتر تحت تاثیر شرایط محیطی قرار می‌گیرد. رابطه رگرسیونی منفی بین طول و غلظت کادمیم نشان دهنده این مطلب است و نشان می‌دهد با افزایش غلظت کادمیم طول برگها طبق فرمول $Y = -0.3335X + 14.889$ و $R^2 = 0.75$ کاهش یافت. به طور کلی نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که فتوسنتز از طریق بسته شدن روزنه ها سریعا به تنش کادمیم پاسخ می‌دهد. اما در غلظتهای بالاتر کادمیم و پس از گذشت زمان، عوامل غیر روزنه ای نیز مزید بر علت می‌شود و تغییرات آنتی اکسیدانی و کاهش زی توده و طول برگها را به عنوان نشانه های بیرونی و درونی بروز می‌دهد.

سپاسگزاری

این پژوهش در دانشگاه ججیانگ (Zhejiang) چین و حمایت مالی یونسکو انجام شده است که به این وسیله سپاسگزاری می گردد همچنین از خانم پروفسور فانگ که اینجانب رادر اجرای این پژوهش یاری نمودند، سپاسگزارم.

جدول(۱) اثر سطوح مختلف کادمیم در محلول غذایی بر مقدار کادمیم برگ، وزن خشک و تر اندام هوایی، طول برگ و فعالیت آنزیمهای سوپر اکسید دسموتاز و فعالیت پرکسیداز

غلظت کادمیم (mg/l)	مقدار کادمیوم برگ (ppb)	وزن خشک اندام هوایی(g)	وزن تر اندام هوایی(g)	طول برگ mm	فعالیت سوپر اکسید دسموتاز ($U\ g^{-1}\ W$)	فعالیت پرکسیداز ($U\ g^{-1}\ W$)
0	۰/۷c	۶/۳۷a	۹۶/۳۸a	۲۶/۶۶a	۱۵۶/۵۶c	۵/۵۸b
2	۳۵/۳۱b	۵/۸۲b	۷۸/۰۱b	۲۱/۳۳b	۲۵۹/۹b	۶/۰۳b
4	۵۴/۸۰a	۴/۷c	۵۵/۲۸c	۲۱/۳b	۳۲۴/۰۷a	۸/۵۹a

†در هر ستون،میانگین هایی که دارای حروف مشترک هستند در سطح ۵٪ آزمون دانکن اختلاف معنی دار ندارند.

جدول(۲) اثر سطوح مختلف کادمیم در محلول غذایی بر شاخصهای فتوسنتزی کاهو پس از گذشت ۶ و ۱۲ روز

صفات اندازه گیری شده	روز	بدون کادمیم	۲ میلی گرم بر لیتر کادمیم	۴ میلی گرم بر لیتر کادمیم
نرخ تبخیر و تعرق (میلی مول بر متر مربع بر ثانیه)	۶	۱۳/۷a	۱۳/۰a	۱۰/۳۵b
	۱۲	۶/۶۵a	۴/۱۷b	۳/۸b
کارایی مصرف آب فتوسنتزی (میکرومول CO_2 بر مول H_2O)	۶	۲۰/۳۵a	۱۷/۶۴ab	۱۴/۳۳b
	۱۲	۱۸/۸۱a	۲/۳۹b	۸/۵۰ab
هدایت مزوفیلی (میلی مولCO_2 در متر مربع در ثانیه)	۶	۰/۰۵۷a	۰/۰۴a	۰/۰۴a
	۱۲	۰/۵۲۱a	۰/۵۶a	۰/۵۰a
مقاومت روزنه ای (متر مربع در ثانیه در مول)	۶	۱/۰۱۸b	۱/۰۲۹ab	۱/۲۹a
	۱۲	۰/۷۱۴ b	۰/۷۷b	۰/۶۷a
هدایت روزنه ای (میلی مول بر متر مربع بر ثانیه)	۶	۰/۶۶۹a	۰/۶۲a	۰/۹۶a
	۱۲	۰/۹۱a	۰/۳۹b	۰/۳ b
غلظت CO_2 درون روزنه ای (میکرومول بر مول)	۶	۲۳۵/۳۳b	۲۵۱/۶۶ab	۲۶۰/۶۶a
	۱۲	۳۳۶/۶۶a	۳۶۱a	۳۵۱/۶۶a
فتوسنتز (میکرومول CO_2 بر متر مربع بر ثانیه)	۶	۱۵/۲۵۳a	۱۲/۳۱b	۱۳/۴۲ab
	۱۲	۵/۸۸a	۴/۳۶a	۵/۳۴a
کلروفیل (SPAD value)	۶	۲۹/۹۲a	۲۸/۶۵ab	۲۷/۱۰b
	۱۲	۲۱/۹۳a	۱۷/۵۶b	۱۱/۸۴c

†در هر ستون،میانگین هایی که دارای حروف مشترک هستند در سطح ۵٪ آزمون دانکن اختلاف معنی دار ندارند.

منابع

۱. احمدی،ع. و د.آ. بیکر، ۱۳۷۹. عوامل روزنه ای و غیر روزنه ای محدود کننده فتوسنتز در گندم در شرایط تنش خشکی. مجله علوم کشاورزی ایران. جلد ۳۱، شماره ۴: ۸۲۵-۸۱۳.

۲. ترابیان.ع.۱۳۸۱و مهجوری م.بررسی اثر آبیاری با فاضلاب روی جذب فلزات سنگین بوسیله سبزیهای برگی جنوب تهران.علوم خاک و آب.جلد ۱۶.شماره۲.

۳. سالاردینی،ع.۱۳۷۱.حاصلخیزی خاک.انتشارات دانشگاه تهران.

۴. خدیوی، ا. ف. نوربخش، م. افیونی و ح. شریعتمداری.۱۳۸۶.شکلهای مختلف سرب، نیکل و کادمیم در یک خاک آهکی تیمار شده با لجن فاضلاب. علوم و فنون کشاورزی۱۱(۱):۴۱-۵۴.

۵. کوچکی، ع.، غ. نخ فروش و خ. ظریف کتابی (مترجمان). ۱۳۷۶.کشاورزی ارگانیک. انتشارات مشهد.

6. Abo-Kassem, E., Sharaf-El-Din, A., Rozema, J., Foda, E., 1995. Synergistic effects of cadmium and NaCl on the growth, photosynthesis, and ion content in wheat plants. Biologia Plantrarum,37(2):241-

249.
7. Ackerson, R. C., and R. R. Hebert. 1981. Osmoregulation in cotton in response to water stress. I. Alterations photosynthesis, leaf conductance, translocation and ultrastructure. Plant physiology 67: 484-488.
8. Albertina Xavier da Rosa Correˆaa, Leonardo Rubi Ro¨ riga, Miguel A. Verdinellia,Sylvie Cotelleb, Jean-Franc¸ois Fe´rardb, Claudemir Marcos adetskia..2006. Cadmium phytotoxicity: Quantitative sensitivity relationships between classical endpoints and antioxidative enzyme biomarkers .Science of the Total Environment 357 - 120– 127.
9. Allen, R.D., 1995. Dissection of oxidative stress tolerance using transgenic plants. Plant physiol. 107, 1049–1054.
10. Alexander.R.1990.Expanding compost market. Biocycle. 31(8):54-63.
11. Ándersen,M.K.,A.Refsgaard,K. W. Raulund-Rasmussen, B. Strobel and C. B. H. Hansen. 2002. Content,distribution and solubility of cadmium in arable and forest soils. Soil Sci. Am. J. 66:1829-1835.
12. Andersson, A. & Bingefors, S. 1985. Trends and annual variations in Cd concentration in grain of winter wheat. Acta Agriculture Scandinavia, 35. 339-344.
13. Ashraf, M. Y., A. R. Azim, A. H. Khan, and S. A. Ala. 1994. Effect of water stress on total phenols, peroxidase activity and chlorophyll content in wheat .Acta Physiologia Plantarum 16:185-191.
14. Beauchamp, I. Fridovich.1971. Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamidegels, Anal. Biochem. 44. 151–155.
15. Bowler C, Van Camp W, Van Montagu M, lnze D.1994. Superoxide dismutase in plants. CRC Cril Rev Plant Sci , 13:199-218.
16. Chandlee,J.M.,Scandalios,J.G. 1984.Analysis of variants affecting the catalase development program in maize scutellum Theor.Appl.Genet .69,71-77.
17. Cheny,R. L. and J.A. Ryan. 1993. Heavy metals and toxic organic pollutants in MSW compost: Research results on phytoavailability, bioavailability, fate, etc. PP 451-506. In: H.A.J. Hoitink and. M. Keener (Eds.), Science and Engineering of composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects. Renaissance Pub., Worthington,Ohia.
18. Davis, R.D., Calton-Smith, C. (eds), 1980. Crops as Indicators of the Significance of Contamination of Soil by Heavy Metals. WRC, Stevenage TR 140.
19. Davis, S. D., C. H. M. Van Bavel, and K. J. McCree. 1977. Effect of leaf aging upon stomatal resistance in bean plant. Crop Science 17: 640-645.
20. Eriksson, J.E. 1990. Factors influencing adsorption and plant uptake of Cd from agricultural soils. Swedish University of Agricultural Science, Department of Soil Science, Reports and Dissertations, 4. ISBN 91-576-4111-0. ISSN 1100-4525.
21. Fecht-Christoffers, M.M., Maier, P., Horst, W.J.2003. Apoplastic peroxidases and ascorbate are involved in manganese toxicity and tolerance of Vigna unguiculata. physiol. Plant. 117, 237–244.
22. Feredrick, J.R., D. M. Alm, and J. D. Hesketh. 1989a. Leaf photosynthetic rates, stomatal resistances, and internal CO2 concentration of soybean cultivars under drought stress. Photosynthetica 23: 575-584.
23. Fisher, R. A., D. Rees, K. D.Sayre, Z. M. Lu, A. G. Candon, and A. L. Saavedra. 1998. Wheat yield progress associated with higher stomatal conductance and photosynthetic rate, and cooler canopies. Crop Sci. 38: 1467-1475.
24. Goering, M.P. Waalkes, C.D. Klaassen, in: R.A. Goyer, M.G.Cherian (Eds.). Handbook of Experimental pharmacology, Vol. 115,Toxicology of Metals, Biochemical Effects, Springer, New York,1994, pp. 189–214.
25. Gunasekera,D., and G.A. Berkowitz.1992. Hetrogenouse stomatal closure in response to leaf water deficits is not a universal phenomenon. Plant Physioligy98:660-665.
26. Haspel-Harvatovic, E., and B.Holubkova.1981. Experimental studies of chlorophyll water relation. Phytopathologie Zeitschrift, 100:340-346.
27. Huang C.Y., Bazzaz F.A., Vanderhoef L.N., The inhibition of soybean metabolism by cadmium and lead,Plant Physiol. 54 (1974) 122–124.
28. Jhonson, R. C., D. W., Mornhinweg. D. M., Ferris, and J. J. Heitholt. 1987. Leaf photosynthesis and conductance of selected Teriticum species at different water potentials. Plant Physiology 83: 1014-

1017.
29. Jones, M. N., N. C. Turner, C. B. Osmond. 1981. Mechanisms of drought resistance. In: L. G. Paleg and A. Aspinal (Eds.). The physiology and biochemistry of drought resistance in plants. Academic press. 15-35.
30. Karataglis S, Moustakas M, Symeonidis L. 1991. Effects of heavy metals on isoperoxidases of wheat. Biol Plant (Praha); 33:3– 9.
31. Kicheva, M. I., T. d. Tsonev, and L. P. Popova. 1994. Stometal and nonstometal limitation to photosynthentic in two wheat cultivars subjected to water stress. Photosynthentica 21: 65-70
32. Lakshaman Kumar Chugh and Surinder Kumar Sawhney.1999.Photosynthetic activities of Pisum sativum seedlings grown in presence of cadmium Plant Physiol. Biochem., 1999, 37 (4), 297−303.
33. Lawlor, D. W., 1995. The effect of water deficit on photosynthesis in: Smirnoff, N (ED.). Environment and Plant Metabolism; Flexibility and Acclimation. BIOS Scientific Publishers, PP 129-160.
34. Li E.H., Miles C.D., Effects of cadmium on photoreactions II of chloroplasts, Plant Sci. Lett. 5 (1975)33–70.
35. Majumdar, S., S. Ghosh, B. R., Glick, and E.B., Dumbroff.1991. Activates of chlorophylase, phosphoenolpyrovate carboxylase and ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase in the primary leaves of soybean drying denecence and drought. physiologia Plantarum,81:473-480.
36. McGrath, S.P., A. M. Chaudri and K. E. Giller. 1995. Long term effect of metals in swage sludge soils, microorganisms and plants. J. Ind. Microbial.14:94-104.
37. McKenna, I. M., Chaney, R. L. and Williams, F. M. 1993.The effects of cadmium and zinc interactions on the accumulation and tissue distribution of zinc and cadmium in lettuce and spinach. Environmental Pollution 79, 113-120.
38. Östman, G. 1996. Salix förmåga att ta upp kadmiumen fältstudie. Swedish University of Agricultural Science, Department of Ecology and Environmental research, Section of Short Rotation Forestry, Report, 55. 71-73. ISSN 0282-6267. ISBN 91-576-5110-8.
39. Padmaja, K., Prasad, D.D.K., Prasad, A.R.K. 1990. Inhibition of chlorophyll synthesis in Phaseolus vulgaris seedlings by cadmium acetate. photosynthetica 24: 399-405.
40. Perl-Treves R, Galun E.1991.The tomato Cu,Zn superoxide dismutase genes are developmentally regulated and responsed to light and stress. Plant MOl Biol, 17:745-760.
41. Rawson, J. M. N. C. Turner, and J. E. Begg. 1978. Agronomic and physiological responses of soybean and sorghum crops to water deficits. 4. Photosynthesis, transpiration and water use efficiency in leaves. Aust. J. Plant Phisiol. 5: 195-209
42. Santandrea, G., Pandolfini, T., Bennici, A. 2000. A physiological characterization of Mn-tolerant tobacco plants selected by in vitro culture. Plant Sci. 150, 163–177.
43. Sawhney V., Sheoran I.S., Singh R., Nitrogen fixation, photosynthesis and enzymes of ammonia assimilation and ureide biogenesis in nodules of mung bean (Vigna radiata) grown in presence of cadmium, Indian J. Exp.Biol. 28 (1990) 883–886.
44. Scandialos J.C. 1993. Oxygen stress and superoxide dismutases. Plant physiol, 101:7-12.
45. Shah K, Kumar R G, Verma S and Dubey R S.2001.Effect of cadmium on lipid peroxidation, superoxideanion generation and activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings. Plant Sci. 161, 1135–1144.
46. Skorzynska E., Bednara J., Baszynski T., Some aspects of runner bean plant response to cadmium at different stages of the primary leaf growth, Acta Soc. Bot. Pol.64 (1995) 165–170.
47. Sloan. J. J., R. H. Dowday, M. S. Dolan and D. R. Linden. 1997. Long term effect of biosolids applications on heavy metal bioavailability in agricultural soils. J. Environ. Qual.26:966-974.
48. Stover,R.C.,L.E. Sommers, and D.J. Silviera. 1976. Evaluation of metals in wast water sludge.Water Pollut.48:2165-2175
49. Van Assche F, Clijsters H,.1990. Effects of metals on enzyme activity in plants. Plant Cell Environ.13:195– 206.
50. Verona, C. and F. Calcagno. 1991. Study of stomatal parameters for selection of drought resistant varieties in Triticum durum. Euphitica 57: 275-283
51. Weckx JEJ, Clijsters H. 1996. Oxidative damage and defense mechanisms in primary leaves of

Phaseolus vulgaris as a result of root assimilation of toxic amounts of copper. plysiol Plant.96:506– 12.

52. Wise, R. R., R. J., Frederick,. D. M., Alm. D. M. Kramer, and J.D., Hesketh,1990.Investigation of the limitations to photosynthesis induced by leaf water deficit in field grown sunflower. Plant, Cell and Environment 13:923-931.

Photosynthesis and Enzymatic Change under Cadmium Toxicity in Lettuce

M. Haghighi, *- M. Kafi - T.Sadat Taghavi - A. Kashi - Gh. Savaghebi [1]

Abstract

study on photosynthetic and enzym Activity changes in lettuce under cadmium stress has been done in greenhouse. Of zhejang university in Chine The experimental design was a CRD factorial design organized in hydroponic system with 7 replications. Cadmium was added to nutrient solution in $CdCl_2$ in three concentrations (0, 2, 4 mg/l). Stomatal photosynthetic factors (transpiration, stomatal and mesophyl conductance, internal CO_2 concentration), enzyme activity changes (Proxidase and Superoxid Dismutase),chlorophyll, leaf length and number, biomass, transfer coefficient, was measured. Results showed that peroxidase and superoxide dismutase increased but biomass, photosynthesis, transpiration, stomatal conductance, internal CO_2 concentration and leaf length was decreased as cadmium increased in nutrient solution, transfer coefficient was increased also.

Key Words: Photosynthesis, Chlorophyll, Stomata, Antioxidant, ,Cadmium, Lettuce

*- Corresponding author: Email: ttaghavi@ut.ac.ir
1-Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj