اثرات تابش اشعه ماوراء بنفش- ب (UV-B) و عنصر فلزی سنگین کادمیوم بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه کاهو (*Lactuca sativa*)

ابوالفضل رنجبر[1]* و سیده عادله موسوی[2]

[1]کاشان، دانشگاه کاشان، دانشکده منابع طبیعی، گروه علوم بیابان

[2]شهرکرد، دانشگاه شهرکرد، دانشکده کشاورزی، گروه زراعت

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۱/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۶/۳/۱۰

چکیده

تخلیه ازون استراتسفری، مقادیر اشعه ماوراء بنفش را در سطح زمین افزایش می‌دهد. افزایش سطوح اشعه ماوراء بنفش-ب (UV-B ، ۲۸۰ تا ۳۱۵ نانومتر) می‌تواند تولید محصول را با تحت تاثیر قرار دادن رنگدانه‌ها، فتوسیستم دو و تنظیم کننده‌های رشد، کاهش دهد. کادمیوم یک عنصر سنگین بالقوه سمی است که با دخالت در فرایندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی گیاه تولید آن را مختل می کند. اثر تیمارهای طیف UV-B و کادمیوم (Cd) (در قالب Cd3O12S3+8 H2O) بر تبادلات گازی و محتوی رنگدانه‌ها در گیاهان کاهو (*Lactuca sativa* L.)، به صورت مجزا و توام تحت شرایط گلخانه مورد بررسی قرار گرفت. در مقایسه با شاهد، شدت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، شدت تنفس، رنگدانه‌های فتوسنتزکننده (کلروفیل‌های *a* و *b*) با قرار گرفتن در معرض کادمیوم، اشعه ماوراء بنفش بطور معنی‌دار کاهش یافت. تراکم آنتوسیانین با کادمیوم یا اشعه ماوراءبنفش و بصورت ترکیب افزایش یافت. نتایج بدست آمده از آزمایش حاضر، بیانگر آن بود که تیمارهای استفاده شده در این آزمایش بطور مستقیم و غیر مستقیم صفات بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی بویژه سازوکار فتوسنتز و اجزاء ساختاری دستگاه فتوسنتز کننده را در گیاه کاهو تحت تاثیر قرار می دهند.

واژه‌های کلیدی: فتوسنتز؛ هدایت روزنه‌ای، شدت تنفس؛ آنتوسیانین؛ فلاونوئید

* نویسنده مسئول، تلفن، ۰۳۱-۵۵۹۱۳۲۴۱، پست الکترونیکی: aranjbar@kashanu.ac.ir

مقدمه

اوزون استراتسفری به سبب افزایش گازهایی مانند کلروفلوروکربن‌ها (Chlorofluocarbons (CFC)) و اکسیدهای نیترون (NOx) در اتمسفر کاهش یافته است که نتیجه‌ی آن افزایش تابش طیف ماوراء بنفش-ب (Ultraviolet-B radiation)(UV-B، ۲۸۰ تا ۳۱۵ نانومتر) وارده به سطح زمین است (۲۵). اشعه (UV-B) همیشه بعنوان یک فاکتور اکولوژیکی تنظیم شده و به عنوان یک عامل تنش در نظر گرفته می‌شود. زیرا این طیف با تغییر زمان، روز، ماه، سال، عرض جغرافیایی و درجه‌ی ابری تغییر می‌کند (۲۷، ۲). اثرات افزایش اشعه (UV-B) بر اکوسیستم‌های زمین سالها است که ادامه دارد و ممکن است تا دهه‌های آینده هم ادامه یابد (۱۰). دامنه وسیعی از پاسخ‌های بیوشیمیایی، فیزیولوژیکی، مرفولوژیکی، آناتومیکی و رشد گیاهان به اثر طیف UV-B نسبت داده شده است (۲۹، ۲۶، ۳۵، ۲۹، ۲۸، ۹).

عناصر سنگین از آلوده کنندگان بسیار موثر محیط زیست هستند و سمیت آنها یک مسئله‌ی فزاینده و مهم به لحاظ اکولوژیکی، تکاملی، غذایی و محیط زیستی به شمار می‌آید. اثرکادمیم (Cd) یکی از زیانبارترین اثرات عناصر سنگین بر گیاهان و جانوران است (۲۲). این عنصر بدلیل

بالا بودن میزان سمیت و قابلیت حل شوندگی در آب به عنوان یک آلوده کننده بی‌نهایت مهم محسوب می شود (۲۵).

مطالعات انجام شده روی گونه های گیاهی مختلف آشکار کرده که کادمیوم یک عنصر سمی قوی و بازدارنده رشد است (۳۷). این عنصر مانع سنتز کلروفیل‌ها (۶) و پایداری و بهم پیوستن پروتئین‌های آنها می‌شود (۱۴)، و به این وسیله انباشت مجموعه‌های لیپوپروتئین- رنگدانه (pigment–lipoprotein) بویژه در فتوسیستم یک کاهش می‌یابد (۴۴). اهدافی که سمی بودن کادمیوم عمدتا به آنها آسیب می‌رساند فتوسیستم دو و فازهای آنزیمی فتوسنتز، بویژه ریبولوز-۱، ۵-بیفسفات کربوکسیلاز / اکسیژناز (ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase/oxygenase) (۲۰) است. کادمیوم علاوه بر کاهش فعالیت آنزیمی، در تثبیت گاز کربنیک و سیستم های دفاع آنتی اکسیدان‌ها (۴۱) و زنجیره انتقال الکترون (۳۱) نقش مخرب دارد.

کاهو گیاهی یک‌ساله متعلق به خانواده Asteraceae و ارزشمند برای تغذیه انسان است. کاهوی اهلی به صورت خام یا طبخ شده مورد استفاده قرار می‌گیرد. گرچه این گیاه از نظر میزان کالری فقیر است، اما همانند دیگر سبزیجات ارزشمند و به عنوان یک منبع آنتی اکسیدان ها، ویتامین ها و عناصر معدنی از جایگاه ویژه برخوردار است (۱۹). کاهو یکی از حساس ترین گیاهان به سمیت کادمیوم است و بیشترین کادمیوم را در برگ‌های خود ذخیره می‌کند (۱۲). از آنجا که بخش خوراکی این گیاه برگ آن است، و سرانه مصرف کاهو در بین سبزیجات بالا است، در نتیجه ایجاد سمیت کادمیوم در انسان از طریق مصرف آن قابل توجه است. آلودگی بخش قابل توجهی از خاک‌های ایران به کادمیوم مانند استانهای تهران، مازندران، گلستان، گیلان، چهارمحال و بختیاری، و ... توسط محققان مختلف گزارش شده است (۳۳، ۱، ۴۲، ۴۰).

گرچه تولید و مصرف گیاه کاهو در ایران و دیگر کشورها بالا است، اما آزمایشات گسترده در خصوص اثر طیف UV-B و عنصر کادمیم (که عمدتا از طریق مصرف کودهای شیمیایی و آبیاری با پساب های شهری به خاک اضافه می شود) در دسترس نیست. بنابراین، هدف از مطالعه حاضر آشکارسازی اثرات تنش‌های طیف پیشرفته UV-B و کادمیوم بر گیاه کاهو (*L. sativa*) بر مبنای فتوسنتز اندازگیری شده از طریق تبادلات گازی و فراهمی رنگدانه‌ها است.

مواد و روشها

به منظور تهیه نهال‌های سالم و یکسان برای آزمایش، ابتدا بذر کاهو در سه سینی پرشده از مخلوط ماسه و کود برگ کشت شدند. سینی‌ها در دمای ۲±۲۵ درجه سانتیگراد و رطوبت مطلوب تا جوانه زدن بذور نگهداری شدند. پس از چهار برگی شدن نهال‌ها، بر اساس طرح کاملا تصادفی به گلدان‌های پنج لیتری پر شده از مخلوط خاک زراعی، کود برگ و ماسه (به نسبت های مساوی) به ازای دو نهال برای هر گلدان و پنج تکرار برای هر تیمار منتقل شدند. گلدان‌ها در گلخانه با دمای حداقل و حداکثر ۲۵ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۵۰ درصد، و نور طبیعی نگهداری شدند و پس از ۶۰ روز تیمارها به شرح زیر اعمال شدند: کلیه تیمارها بطور همزمان و به مدت ۳۰ روز ادامه داشت. در طول دوره آزمایش رطوبت خاک گلدان‌ها در حد ظرفیت مزرعه (بر مبنای منحنی رطوبتی) حفظ شد.

تعداد ۲۴ گلدان حاوی نهال‌های سالم با سایز تقریبا یکسان به چهار دسته تقسیم شدند. دسته اول به عنوان تیمار شاهد فاقد دریافت تابش UV-B و کادمیوم بود. دسته دوم به عنوان تیمار ماوراء بنفش افزایش یافته تحت تابش UV-B قرارگرفت که شدت آن بر اساس ۲۰ درصد تخلیه اوزون (O_3) اتمسفری و میزان تشعشعات خورشیدی وارده در ابتدای تابستان (تیرماه)، ۷/۳۵ کیلو ژول بر متر مربع توسط یک دستگاه UV-B اسپکترورادیومتر (*MSS2040, MSS-*

(*Electronic GmbH*, Germany) اندازگیری شد. تیمار UV-B توسط چهار عدد لامپ فلورسنت UV-B تامین گردید. لامپ‌های ذکر شده از ساعت ۱۰ تا ۱۶ اشعه الحاقی را با شدت مورد نظر تامین کردند (۲۶).

دسته سوم تحت تیمار کادمیوم قرار گرفت که تراکم آن بر اساس غلظت‌های بکاررفته در آزمایشات انجام شده روی سبزیجات و همچنین خاک های آلوده به این عنصر، ۴۰ میکرو مول محلول Cd^{2+} (در قالب ترکیب سولفات کادمیوم) تعیین شد. دسته چهارم تحت تاثیر همزمان طیف UV-B و کادمیوم با دُز های تعیین شده در دسته دوم و سوم قرار گرفت.

به منظور تعیین معنی‌دار بودن تفاوت بین میانگین تیمارها، داده ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن مقایسه شدند. تجزیه واریانس با استفاده از SPSS (نسخه ۱۲) انجام شد.

صفات مورد اندازگیری در آزمایش: در طول ۳۰ روز اعمال تیمارها تبادلات گازی شامل فتوسنتز خالص (P_N) (Net photosynthesis)(میکرو مول گاز کربنیک بر متر مربع در ثانیه)، هدایت روزنه‌ای (G_S) (Stomatal conductance)(میلی مول آب بر متر مربع در ثانیه) و میزا ن تنفس (E) (Transpiration rate)(میلی مول آب بر متر مربع در ثانیه) بطور مرتب هر ده روز یک مرتبه بین ساعات ۱۱ الی ۱۳ توسط یک دستگاه فتوسنتزمتر قابل حمل (*LCA-3, ADC Biocienctific LTD, Hoddedon, UK*) تحت تراکم ثابت گازکربنیک (۳۵۰ میکرو مول بر مول هوا) و شدت PAR ۱۳۵۰±۵۰ اندازگیری شد.

بعد از اندازگیری تبادلات گازی، و در پایان دوره آزمایش نمونه‌های ۰/۱ گرمی از همان برگی که تبادلات گازی بر روی آن انجام شده بود تهیه و توسط استون ۸۰ درصد عصاره‌گیری شدند. سپس عصاره به مدت ده دقیقه در سانتریفوژ با دور ۲۷۰۰ دقیقه قرار گرفت. رنگدانه‌ها [کلروفیل a (chl. a)، کاروفیل b (chl. b) و کاروتنوئیدها (C_{X+C})] بر اساس روش لیختنتالر (۱۹) و با کمک یک دستگاه اسپکتروفتومتر (UV-VIS مدل Cry 50) بر حسب میلی گرم بر لیتر تعیین شد.

اندازگیری ترکیبات جذب کننده UV-B (فلاونوئیدها و آنتوسیانین ها): برای سنجش میزان فلاونوئید (*flv.*) و آنتوسیانین (*Acn.*)، نمونه‌های ۰/۱ گرمی برگ تازه تهیه و توسط مخلوطی از اتانول اسیدی شامل الکل اتیلیک و اسید استیک (به نسبت های ۹۹ به ۱) عصاره‌گیری شدند. نمونه‌های عصاره به دو دسته تقسیم، و یک دسته برای اندازگیری فلاونوئیدها و دسته‌ی دیگر برای اندازگیری آنتوسیانین استفاده شد. برای اندازگیری محتوی فلاونوئیدها، نمونه‌های محلول حاصله به مدت ۱۰ دقیقه به آرامی در حمام آب گرم با دمای ۸۰ درجه سانتیگراد گرم شدند. سپس میزان جذب توسط اسپکتروفتومتر در امواج با طول های ۳۰۰، ۲۷۰ و ۳۳۰ نانومتر قرائت شدند. برای سنجش مقدار آنتوسیانین با قرار دادن نمونه های عصاره به مدت ۱۴ ساعت در تاریکی، قرائت آنها در طول موج ۵۵۰ نانومتر انجام شد (۲۸).

سنجش مقدار فراهمی کادمیوم: فراهمی کادمیوم در خاک و بافت‌های مختلف گیاه به روش سانیتا و گابریلی (۳۲) توسط یک دستگاه جذب اتمی (Atomic Absorption Spectrophotometer) اندازگیری شد. به منظور زدودن رنگدانه‌ها به نمونه‌های ۰/۳ گرم از بافت خشک گیاه اسیدهای سالیسیلیک و سولفوریک اضافه و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد قرار داده شدند. سپس نمونه‌ها به مدت یک ساعت در کوره و در معرض دمای ۳۶۰ درجه سانتیگراد قرار گرفتند. با خنک کردن نمونه‌ها به آنها آب اکسیژنه اضافه و مجددا در معرض دمای مذکور قرار داده شدند، این عمل چهار مرتبه تکرار و در نهایت با رساندن حجم هر نمونه به ۵۰ میلی لیتر، محتوی کادمیوم توسط دستگاه جذب اتمی اندازگیری شد.

نتایج

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثرات تیمارهای کادمیوم و طیف UV-B (بصورت مجزا و ترکیبی) بر صفات نرخ تبادلات گازی (شامل فتوسنتز خالص، هدایت روزنه‌ای و شدت تنفس) و متغییرهای بیوشیمیایی [شامل کلروفیلa ، کلروفیلb ، کاروفیل کل (chl. $a+b$)، کاروتنوئیدها، فلاونوئیدها و آنتوسیانین‌ها] در جدول ۱ ارائه شده ا ست.

داده‌های جدول مذکور نشان می‌دهد که تمامی صفات مربوط به تبادل گازی (فتوسنتز خالص، هدایت روزنه ای و مقدار تنفس) و اکثر متغیرهای بیوشیمیایی (کلروفیلa ، کلروفیلb ، کلروفیل کل و آنتوسیانین‌ها) تحت تاثیر UV-B قرار گرفته‌اند. همچنین، تیمار کادمیوم علاوه بر پارامترهای تبادل گازی، محتوی آنتوسیانین را هم تحت تاثیر معنی دار خود قرار داد. اثر ترکیبی کادمیوم و UV-B بر متغیرهای هدایت روزنه‌ای، کلروفیلa، و آنتوسیانین معنی‌دار بود (جدول ۱).

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر آزمایش بر صفات مورد اندازگیری

		میانگین مربعات								
منبع تغییرات	df	P_N	G_S	E	Chl. a	Chl. b	Chl. ($a+b$)	C_{x+c}	$Flv.$	Acn_S
UV-B	۱	۳۳۶/۰۳**	۰/۳۵۲**	۱/۳۲**	۸۷۳**	۲۳۳۸/۵۶**	۵۳۳۶/۹۳**	۳/۳۱	۶۲/۳۷	۱۳/۹۱**
Cd	۱	۳۲۶/۳۳**	۰/۴۵۸**	۲/۲۲**	۸/۷۹	۲۱/۱۴	۷/۳۳	۲/۱۹	۲۴/۰۸	۸/۰۱**
(UV-B)+Cd	۱	۸۵/۱۳*	۰/۰۲۶*	۱/۱۳*	۶۲/۱۳**	۲۶/۰۸*	۶۲/۶۲	۳/۲۸*	۰/۲۴	۶/۰۵**
خطا	۲۴	۲/۵۸	۰/۰۰۵	۰/۰۵۳	۷/۰۴	۹/۵۷	۸۴۲۴	۳/۱۴	۱۴/۵۲	۰/۱۲۵

** و *: معنی دار به ترتیب در سطوح ۱ و ۵ درصد

محتوی کلروفیلa در تیمارهای شاهد و کادمیوم فاقد اختلاف معنی‌دار بود در حالیکه کاهش معنی‌دار این متغییر با بکاربردن کادمیوم آشکار شد (۳۳٪ در مقایسه با شاهد) و در تیمار توأم کادمیوم و UV-B این کاهش به حداکثر خود (۵۰٪ در مقایسه با شاهد) رسید. مشابه این روند در مورد کلروفیلb مشاهده شد که گویای میزان حساسیت این دو متغیر به تیمارهای اعمال شده است. اثر کادمیوم بر کلروفیل کل معنی‌دار بود که در مقایسه با تیمار شاهد ۳۸/۷ درصد کاهش نشان داد. بیشترین اثر کاهشی بر کلروفیل کل در کاربرد توأم کادمیوم و طیف ماوراء بنفش [(UV-B)+Cd] مشاهده شد که در مقایسه با تیمار شاهد محتوی آن به نصف کاهش یافت.

تراکم مجموع آنتوسیانین‌ها در برگ گیاهان کاهو بطورمعنی‌دار تحت تاثیر تیمارهای کادمیوم، UV-B و کاربرد توأم آنها قرار گرفت و افزایش یافت. این صفت (مجموعه آنتوسیانین) در تیمار UV-B ۳/۲ برابر، در تیمار کادمیوم ۳/۳ برابر و تحت کاربرد توأم آنها ۳/۷ برابر افزایش یافت. در این مطالعه مجموع کاروتنوئیدها (C_{x+C}) تحت تیمار (UV-B)+Cd از خود تغییر معنی‌دار نشان داد و در مقایسه با تیمار شاهد ۲۴ درصد کاهش یافت.

شدت فتوسنتز خالص (P_N) تحت کلیه تیمارهای اعمال شده بطور معنی‌داری کاهش یافت. این کاهش، در مقایسه با کنترل، توسط UV-B و کادمیوم تقریبا یکسان و برابر با ۲۷ درصد بود. همچنین، هنگامی که هر دو تیمار بطور همزمان [(UV-B)+Cd] بکار گرفته شد، اثرآنها بر کاهش فتوسنتز خالص بیشتر از زمانی بود که این تیمارها بطور مجزا اعمال شدند و مقدار کاهش به ۴۷ درصد افزایش یافت(جدول ۳).

در آزمایش حاضر، هر سه تیمار اعمال شده بطور معنی‌داری سبب کاهش هدایت روزنه ای (G_S) شدند. در مقایسه با کنترل، تیمار کادمیوم دارای کمترین اثر کاهشی (۱۲ درصد) و تیمار همزمان کادمیوم و طیف ماوراء بنفش

[(UV-B)+Cd] دارای بیشترین اثر (۲۹ درصد) بود. همچنین تیمار UV-B سبب کاهش ۱۶ درصدی سرعت هدایت روزنه‌ای شد. نتایج ارائه شده در جدول ۳ نشان می‌دهد که روند تغییرات شدت تفس (E) شبیه به روند تغییرات هدایت روزنه‌ای است با این تفاوت که شیب تغییرات در میزان تفس تندتر از هدایت روزنه‌ای است.

جدول ۲- اثر آزمایش بر میانگین صفات بیوشیمیایی مورد اندازگیری در برگ گیاه کاهو

متغیر بیوشیمیایی	Chl. a ($\mu g.ml^{-1}$)	Chl. b ($\mu g.ml^{-1}$)	Chl. $(a+b)$ ($\mu g.ml^{-1}$)	C_{x+c} ($mg.g^{-1}$)	*Flv.* ($mg.g^{-1}$)	*Anc.* ($mg.g^{-1}$)
تیمار						
شاهد	۲۴/۶۸^{a}	۳۸/۸۶^{a}	۶۳/۵۴^{a}	۸/۳۱^{a}	۷۶/۴۲^{a}	۰/۹۰^{a}
UV-B	۲۶/۵۴^{a}	۳۷/۹۸^{a}	۶۴/۵۲^{a}	۷/۰۸^{a}	۷۷/۰۹^{a}	۲/۹۰^{b}
Cd	۱۶/۴۹^{b}	۲۴/۴۳^{b}	۳۸/۹۳^{b}	۷/۹۵^{a}	۷۸/۲۲^{a}	۳/۰۴^{ab}
(UV-B)+Cd	۱۲/۳۹^{c}	۱۸/۸۴^{c}	۳۱/۲۳^{c}	۶/۳۶^{b}	۸۰/۲۶^{a}	۳/۳۸^{c}

حروف مختلف نشان دهنده‌ی اختلاف معنی‌دار نتایج هر پارامتر در بین تیمارهای مختلف است

جدول ۳- اثر آزمایش بر میانگین صفات فیزیولوژیکی (پارامترهای تبادل گازی) مورد اندازگیری در برگ گیاه کاهو

پارامتر تبادل گازی	P_N ($\mu mol\ CO_2.m^{-2}.s^{-1}$)	G_S ($\mu mol\ H_2O.m^{-2}.s^{-1}$)	E ($\mu mol\ H_2O.m^{-2}.s^{-1}$)
تیمار			
شاهد	۲۹/۳۰^{a}	۳/۵۷^{a}	۰/۹۱۴^{a}
UV-B	۲۱/۲۸^{b}	۳/۰۲^{b}	۰/۷۱۸^{b}
Cd	۲۱/۴۶^{b}	۳/۱۴^{b}	۰/۷۵۳^{b}
(UV-B)+Cd	۱۵/۴۳^{c}	۲/۵۴^{c}	۰/۴۳۳^{c}

حروف مختلف نشان دهنده‌ی اختلاف معنی‌دار نتایج هر پارامتر در بین تیمارهای مختلف است

بحث

کاهش فراهمی رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل های a و b) بعد از قرار گرفتن در معرض کادمیوم می‌تواند ناشی از اثر کادمیوم روی کمبود عناصر آهن و منیزیم باشد (۴۵) و این عناصر در فرایندهای بیوسنتزی رنگدانه های مذکور نقش تعیین کننده دارند (۳۰). از طرف دیگر کاهش تراکم رنگدانه‌ها می‌تواند مربوط به منع فعالیت آنزیمی مانند فتوکلروفیلید ریداکتاز (Atomic Absorption Spectrophotometer) باشد (۳۸). نتایج حاصل از اثر کادمیوم بر رنگدانه‌های فتوسنتزی در مطالعه حاضر با نتایج وحید و همکاران (۴۳) روی گیاه ماش و دژبان و همکاران (۱) روی برگ های نهال داغداغان (*Robinia pseudoacacia* L.) مطابقت دارد.

در مطالعه حاضر، مجموع کاروتنوئیدها (C_{x+C}) تحت تیمار (UV-B)+Cd از خود تغییر معنی‌دار نشان داد که با یافته‌های شوکلا و همکاران (۳۴) روی گیاه خردل مطابقت دارد (جدول ۲). از آنجا که کاروتنوئیدها نقش موثر در حفظ غشاءهای کلروپلاستی و دیگر غشاءهای فتوسنتزی دارد، کاهش آن می تواند منجر به کاهش، کند شدن و توقف فرایند فتوسنتز شود (۵).

اثر معنی‌دار کاهش فتوسنتز خالص بیانگر آن است که تیمار UV-B با تاثیر بر واکنش‌های بیوشیمیایی چرخه کالوین و تغییر در ساختار کلروپلاست‌ها می‌تواند میزان فتوسنتز را تغییر دهد (۱۱). همچنین کاهش شدت فتوسنتز تحت تاثیر کادمیوم را می‌توان به تخریب پهلوهای دهنده و دریافت کننده فوتون در فتوسیستم۲ نسبت داد. در چنین وضعیتی کادمیوم سبب کاهش انتقال الکترون از Q_A به Q_B می شود

که نتیجه‌ی آن کاهش شدت فتوسنتز است (۳۶). نتایج ما در این آزمایش با یافته‌های لینگاکومار و کولاندایولو (۲۳)، جان و همکاران (۱۸) مطابقت دارد.

بازداری و کاهش پارامترهای تبادل گازی مانند هدایت روزنه‌ای در اثر کادمیوم، UV-B و بکار گیری همزمان آنها را می توان به رفتار روزنه‌ای برگ و وضعیت متابولیکی سلول‌های محافظ روزنه‌ای آن (۱۶) که باز و بسته شدن روزنه‌ها راکنترل می کنند، نسبت داد (۱۳). نتایج ما در این آزمایش با یافته‌های سیچین و همکاران (۱۱)، ژین و همکاران (۱۷) و صارمی راد و همکاران (۲) مطابقت دارد.

نتیجه گیری

نتایج ما نشان داد که تیمارهای استفاده شده در این آزمایش بطور مستقیم و غیر مستقیم صفات بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی بویژه سازوکار فتوسنتز و اجزاء ساختاری دستگاه فتوسنتز کننده (مانند کاهش شدت فتوسنتز، کاهش رنگدانه های فتوسنتزی) و افزایش آنتوسیانین را در گیاه کاهو تحت تاثیر قرار می‌دهند.

منابع

۱- دژبان ع.، شیروانی ا.، عطارد پ.، دلشاد م.، متینی زاده م. ۱۳۹۴. اثر کادمیوم بر فلورسانس کلروفیل، محتوی رنگدانه‌های کلروفیلی و پرولین در برگ نهال‌های داغداعان و اقاقیا. مجله پژوهشهای گیاهی. شماره ۴ . ص ۷۴۶-۷۵۸

۲- صارمی راد ب.، اسفندیاری ع.، شکرپور م.، سفالیان ا.، آوانس آ.، موسوی س. ب. ۱۳۹۳. اثر کادمیوم روی برخی از ویژگی های ریخت شناسی و فیزیولوژیک گندم در مرحله گیاهچه‌ای. مجله پژوهشهای گیاهی. جلد ۲۷ شماره ۱ . ص ۲-۱۱.

3- Abbaspour A, Kalbasi M, Hajrasuliha S, Golchin A. 2007. Effects of plant residues and salinity on fractions of cadmium and lead in three soils. *Soil and Sediment Contamination*, 16: 539–55.

4- Aghaz M, Bandehagh A. 2013. Phytotoxic effects of cadmium on photosynthesis pigments in dill (*Anethum graveolens*). *International Journal of Farming and Allied Sciences*, 16: 544-548.

5- Amal A.H. Saleh. 2007. Influence of UV_{A+B} radiation and heavy metals on growth, some metabolic activities and antioxidant systems in pea plant. *American Journal of Plant Physiology* 2(2): 139-154.

6- Azevedo H, Pinto CG, Fernandes J, Loureiro S, Santos C. 2005. Cadmium effects on sunflower growth and photosynthesis. *Journal of Plant Nutrition*. 28: 2211-2220.

7- Balakrishnan V, Ravindran KC, Venkatesan K, Karuppusamy S. 2005. Effects of UV-B supplemental radiation on growth and biochemical characteristics in *Crotalaria junea* seedlings *Electron. J. Environ. Agric. Food Chem*. 4: 1125113.

8- Blokhina OB, Virolinen E, Fagerstedt KV. 2003. Antioxidant, oxidative damage and oxygen deprivation stress. *Ann Rev Bot*. 1:179-19.

9- Boieza K, Loise R. 2001. An *Arabidopsis* mutant tolerant to lethal UV-B levels shows constitutively elevated accumulation of flavonoids and other phenolics. *Plant Physiology* 126: 1105-115.

10- Caldwell MM, Bornman JF, Ballare CL, Flint SD, Kulandaivelu G. 2007.Terrestrial ecosystems, increased solar ultraviolet radiation, and interactions with other climate change factors, *Photochem. Photobiol. Sci.* 6: 252-266.

11- Cechin I., Fumis T. de F., Dokkedal A.L. 2007. Growth and physiological response of sunflower exposed to UV-B radiation. Ciência Rural, 37: 85-90.

12- Davis R.D., Calton-Smith C. 1980. Crops as indicators of the significance of contamination of soil by heavy metals, *WRC, Stevenage* TR 140.

13- Gitz D.C., Liu-Gitz L., Britz S.J., Sullivan J.H., 2005. Ultraviolet-B effects on stomatal density, water-use efficiency, and stable carbon isotope discrimination in four glasshouse-grown soybean (*Glycine max*) cultivars. *Environmental and Experimental Botany*, 53:343-355.

14- Horvath G, Droppa M, Oravecz A, Raskin VI, Marder JB. 1996. Formation of the photosynthetic apparatus during greening of cadmium poisoned barley leaves. *Planta* 199: 238-244.

15- Jansen M.A.K., Gaba V., Greenberg B.M., 1998. Higher plants and UV-B radiation, balancing damage, repair and acclimation, *Trends in Plant Sci*. 3: 131–135.

16- Jansen MAK, Van Den Noor RE. 2000. Ultraviolet-B radiation induces complex alteration in stomatal behavior. *Physiologia Plantarum*, 110:189-194.

17- Jing D, Fei-bo W, Guo-ping Z. 2005. Effect of cadmium on growth and photosynthesis of tomato seedlings. *J. Zhejiang Univ. Sci. B., 6(10): 974–980.*

18- Joan L, Laura L, Meritxell B, Dolors V, Josep P. 2012. Effects of UV radiation and water limitation on the volatile terpene emission rates, photosynthesis rates, and stomatal conductance in four Mediterranean species. *Acta Physiol. Plant* 34:757–769.

19- Katz SH, Weaver WW. 2003. Encyclopedia of Food and Culture. New York: Schribner. ISBN 0684805685

20- Krantev A, Yordanova R, Janda T, Szalai G, Popova L. 2008.Treatment with salicylic acid decreases the effect of cadmium on photosynthesis in maize plants. *Journal of Plant Physiology*, (165): 920–93.

21- Lichthentaler HK, Chlorophyll and carotenoids - pigments of photosynthetic biomembranes, − In: Colowick, S.P., Kaplan, N.O. (ed.): Methods in Enzymology, Vol. 148, Pp 350-382. Academic Press, San Diego – New York – Berkeley – Boston – London – Sydney – Tokyo – Toronto 1987.

22- Lima FP, Queiroz N, Ribeiro PA, Hawkins SJ, Santos AM. 2006. Recent changes in the distribution of a marine gastropod, *Patella rusticaLinnaeus*, 1758, and their relationship to unusual climatic events. *Journal of Biogeography* 33: 812–822.

23- Lingakumar K, Kulandaivelu G. 2006. UV-B radiation: its effects and defense mechanism. *J. Plant Biol*. 33: 3–14.

24- Madronich S, McKenzie RL, Björn LO, Cadwell MM. 1998. Caldwell, Changes in biologically active ultraviolet radiation reaching the earth's surface, *J. Photochem. Photobiol*. B, Biol. 4: 5–19.

25- Pinto AP, Mota AM, de Vergennes A, Pinto FC. 2004. Influence of organic matter on the uptake of cadmium, zinc, copper and iron by sorghum plants. *Sci. Tot. Environ* 326:239–247.

26- Ranjbarfordoei A, Samson R, Van damme P. 2011. Photosynthesis performance in sweet almond [*Prunus dulcis* (Mill) D. Webb] exposed to supplemental UV-B radiation. *Photosynthetica* 49 (1): 107-111.

27- Ranjbarfordoei A, Van Damme P, Samson R, 2009. Elevated ultraviolet-B radiation influences photosynthetic pigments and soluble, carbohydrates of sweet almond [*prunus dulcis* (Miller) D. Webb]. Electronic Journal of Environmental, *Agricultural and food Chemidtry*: 1077-1084.

28- Rathore D, Agrawal SB, Singh A. 2003. Influence of supplemental UV-B radiation and minerals on biomass, pigments and yield of two cultivars of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Int. J. Biotronics* 32: 1-5.

29- Reddy KR, Vigaya GK, Duli Z, Saliaja K, Wei G. 2004. Interactive effects of ultraviolet-B radiation and temperature on cotton physiology, growth, development and hyperspectral reflectance. *Photochemistry and Photobiology*, 79(5): 416-427.

30- Rodrigo W. dos Santos, Eder C. Schmidt, Roberta de P. Martins, Alexandra L, Marcelo M, Paulo A. Horta, Zenilda L. Bouzon, 2012. Effects of Cadmium on Growth, Photosynthetic Pigments, Photosynthetic Performance, Biochemical Parameters and Structure of Chloroplasts in the *Gracilaria domingensis*. *American Journal of Plant Sciences*, (3): 1077-1084.

31- Sandalio LM, HC Dalurzo, Gomes M, Romero-Puertas M, Del Rio L., 2001. Cadmium- induced changes in the growth and oxidative metabolism of pea plants. *J. Exp. Bot*., 52, 2115-2126.

32- Sanita L. di Toppi, Gabbrielli R. 1999. Response to cadmium in higher plants. *Environmental and Experimental Botany* 41: 105 – 130.

33- Sayyad G, Mousavi SF, Abbaspour KC, Hajabbasi MA, Richards B, Schulin R. 2009. Effects of cadmium, copper, lead, and zinc contamination on metal accumulation by safflower and wheat. *Soil & Sediment Contamination*18: 216 –228.

34- Shukla UC, Murthy RC, Kakkar P, 2008. Combined effect of ultraviolet–B radiation and cadmium contamination on nutrient uptake and photosynthetic pigments in *Brassica campestris* seedlings. *Environ. Toxicol.*, 23: 712-719.

35- Shweta M, Agrawal SB. 2006. Interactive effects between supplemental ultraviolet-B

radiation and heavy metals on the growth and biochemical characteristics of *Spinacia oleracea* L. *Braz. J. Plant Physiol.* 18(2): 307-314.

36- Sigfridsson KGV, Bernat G, Mamedoy F, Styring S. 2004. Molecular interference of Cd^{2+} with photosystem II. *Biochim. Biophys. Acta* 1659:19–31.

37- Smiri M, Chaoui A, El Ferjani E. 2009. Respiratory metabolism in the embryonic axis of germinating pea seed exposed to cadmium. *J. Plant Physiol*., 166(3): 259-269.

38- Stobart A K, Griffiths WT, Ameen-Bukhari I, Sherwood R P. 1985. The Effects of Cd^{2+} on the Biosynthesis of Chlorophyll in Leaves of Barley," *Physiology Plantarum*, 63(3): 293-298.

39- Tohidi-Moghadam HR., Ghooshchi F, Jamshidpour F, Zahedi H. 2012. Effect of UV Radiation and elevated CO2 on physiological attributes of canola (*Brassica napus* L.) grown under water deficit stress. *Pol. J. Environ. Stud*. 21(5): 1417-1427.

40- Torabian A, Mahjouri M. 2002. Heavy metals uptake by vegetable crops irrigated with waste water in south Tehran. *J. Environ. Study*, 16: 34-43.

41- Udita G, Rajneesh K. Agnihotri, Ravinder K, Rajendra S. 2013. Effects of heavy metal Cd on some physiological and biochemical parameters of Barley (*Hordeum vulgare*). International Journal of *Agriculture and Crop Sciences*, 2743-2751.

42- Vaseghi S, Afyuni M, Shariatmadari H, Mobli M. 2003. Effects of sewage sludge and soil pH on ability of absorption of micronutrients and heavy metals. *Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 7(3): 95-105 (in Persian).

43- Wahid A, Ghani A, Javed F. 200. Effects of cadmium on photosynthesis, nutrition and growth of mungbean (*Vigna radiata*). *Agronomy for Sustainable Development, Springer Verlag*, 28(2):273-280.

44- Wang H, Zhao SC, Liu RL, Zhou W, Jin JY. 2009. Changes of photosynthetic activities of maize (*Zea mays* L.) seedlings in response to cadmium stress. *Photosynthetica*, 47(2): 277-283.

45- Xia JR, Li YJ, Lu J, Chen B. 2004. Effects of Copper and Cadmium on Growth, Photosynthesis, and Pigment Content in *Gracilaria lemaneiformis*, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 73(6): 979-986.

The effects of Enhanced Ultraviolet-B Radiation and Heavy Metal Cadmium on Some Physiological Parameters of Lettuce (*Lactuca sativa*)

Ranjbar A.[1] and Mousavi S.A.[2]

[1] **Desert Sciences Dept., University of Kashan, Kashan, I.R. of Iran**

[2] **Agronomy Dept., University of Shahrekord, Shahrekord, I.R. of Iran**

Abstract

Global stratospheric ozone depletion is elevating surface ultraviolet-B (UV-B) levels. Increase in UV-B levels can alter crop productivity as it affects photosystem II, pigments, and growth regulators. Cadmium is a potentially toxic heavy metal that hampers plant productivity by interfering with their photochemistry and physiological processes of plants. The changes in gas exchange and pigment contents in lettuce seedlings (*Lactucca sativa*) exposed to an 7.35 kJ m^{-2} day^{-1} biologically effective UV-B radiation (UV-B, 280-315 nm) and 40 µmol Cd^{2+} (as $Cd3O12S3*8H_2O$) either alone or in combination were investigated under greenhouse conditions. Compared to the control, photosynthesis rates (P_N), stomatal conductance (*Gs*), transpiration rate (*E*) and content of photosynthetic pigments decreased significantly ($P<0.05$) exposed to cadmium (Cd) or UV-B radiation and combination. Anthocyanin (Acns) content increased by Cd or UV-B radiation alone and in combination. These results suggested that the treatments used in the present study affected both physiological and biochemical characteristics in lettuce seedlings, particularly photosynthesis mechanism and structural components of the photosynthetic apparatus.

Key words: photosynthesis, stomatal conductance, transpiration, anthocyanin, flavonoid