تاثیر هورمون متیل جاسمونات بر تجمع کادمیوم، ظرفیت آنتی اکسیدانی و برخی صفات فیزیولوژیک دانه رست گندم (*Triticum aestivum* L.)

عذرا علیخانی[۱]، حسین عباسپور[۲*]، اکبر صفی پور افشار[۳*] و علیرضا متولی زاده کاخکی[۴]

[۱] ایران، دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد دامغان، گروه زیست شناسی

[۲] ایران، تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، گروه زیست شناسی

[۳] ایران، نیشابور، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نیشابور، گروه زیست شناسی

[۴] ایران، نیشابور، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نیشابور، گروه شیمی

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۱/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۷/۶/۲۶

چکیده

کادمیوم یک فلز سنگین غیر ضروری با قابلیت تحرک نسبتا بالا در سیستم ارتباط خاک و ریشه بوده و دارای پتانسیل ایجاد سمیت در گیاهان و انسان است. این تحقیق به بررسی اثرات سمیت کلرید کادمیوم و تاثیر متقابل آن با هورمون متیل جاسمونات بر تجمع کادمیوم، محتوای نسبی آب، میزان پرولین، میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی و فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز در دانه‌رست‌های گندم (رقم سیوند) پرداخته است. نتایج نشان داد که تجمع کادمیوم در ریشه و ساقه در تیمار ۳۰۰ میکرومولار به ترتیب ۳۰ و ۱۷ برابر نسبت به سطح کنترل افزایش یافته است. کادمیوم در غلظت‌های۲۰۰ و ۳۰۰ میکرومولار منجر به تغییرات قابل توجهی در صفات مورد بررسی گردید. به طوری که فعالیت آنزیمهای کاتالاز و سوپر اکسید دیسموتاز ۲ تا۳ برابر و مقدار پرولین ۱۵٪ افزایش یافت. در حالی که میزان کلروفیل a، کلروفیلb و کاروتنویید بین ۲۰ تا ۳۰ درصد و محتوای نسبی آب حدود ۳ درصد نسبت به سطح کنترل کاهش یافت. نتایج نشان داد که اسپری برگی ۱۰میکرومولار متیل جاسمونات در گیاهان تحت تنش کادمیوم باعث افزایش میزان پرولین (۱۶٪) و رنگیزه های فتوسنتزی (۲۳٪) و کاهش تجمع کادمیوم در ریشه و ساقه به میزان ۳۰ درصد شد. در غلظت ۱۰۰ میکرومولار متیل جاسمونات، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپر اکسید دیسموتاز نسبت به سطح کنترل به ترتیب ۲ و ۳ برابر افزایش نشان داد. نتایج این تحقیق موید قابلیت هورمون متیل جاسمونات در تغییر جذب کادمیوم توسط ریشه و ساقه و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان است.

واژه های کلیدی: آنزیمهای آنتی اکسیدان، فلزات سنگین، کلروفیل، متیل جاسمونات، گندم

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۵۱۴۲۶۱۳۹۰۵، پست الکترونیکی: asafshar@iau-neyshabur.ac.ir و abbaspour75@yahoo.com

مقدمه

کادمیوم یک فلز سنگین و غیر ضروری است که به دلایل کاربردهای فراوان صنعتی و خطراتی که تجمع زیاد آن در محیط زیست بر سلامت انسان دارد، بسیار مورد توجه قرار گرفته است. تجمع زیاد کادمیوم در خاک و جذب آن از طریق گیاهان، موجب ورود آن به زنجیره غذایی و جذب توسط جانوران و انسان می‌گردد (۹). کادمیوم از طریق فعالیت‌های طبیعی پوسته زمین مانند فعالیت‌های آتشفشانی و فرسایش سنگ‌ها و صخره‌ها و آتش سوزی جنگل‌ها و یا توسط فعالیت‌های انسانی از قبیل استخراج معدن، صنایع تولید پلاستیک، باتریها، کودها و کمپوست‌ها، رنگ‌ها و زباله‌های صنعتی وارد هوا و خاک می‌شود (۳۵). این فلز سنگین به سرعت توسط محصولات زراعی جذب شده و

در قسمت‌های خوراکی گیاه تجمع می‌یابد. اثرات مضر کادمیوم بر بدن انسان شامل تاثیر بر سلول‌های کلیه و از دست رفتن عملکرد آنها، اثر بر استخوان‌ها با از دست دادن املاح معدنی و تاثیر بر ریه‌ها از طریق تنفس است (۱۴). در گیاهان، کادمیوم در سیستم خاک ـ ریشه قابلیت جابجایی نسبتا بالایی دارد و از رشد ریشه و اندام‌های هوایی جلوگیری می‌کند (۲۷). تحقیقات انجام شده بر روی گیاهان سویا (۲۹)، گندم (۷)، کاهو (۱۸)، سورگوم (۱۶) و نخود (۱۱) نشان داده است که سمیت کادمیوم با کاهش رشد، کاهش میزان آب، تنش اکسیداتیو و کاهش جذب مواد معدنی همراه است و اثرات مخربی بر مکانیزم فتوسنتز و جذب کربوهیدرات دارد.

گیاهان سطح هورمون‌های داخلی خود را برای سازگاری با تنش فلزات سنگین تنظیم می‌کنند. تحقیقات نشان داده است که استرس‌های غیر زیستی باعث تحریک سنتز جاسمونات داخلی در گیاهان می‌شود (۱۵). در دانه رست *Kandelia obovata* تحت تنش کادمیوم استفاده از ۰/۱ تا ۱ میکرومولار متیل جاسمونات منجر به افزایش فعالیت کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز در برگ‌ها و تحریک تولید جاسمونیک اسید داخلی گیاه شد. این هورمون همچنین جذب کادمیوم دراندام هوایی را مهار کرد (۱۵). کادمیوم در شرایط محیط داخلی گیاه القا کننده تجمع جاسمونات در برگهای بالغ آرابیدوپسیس و برگهای جوان و مسن گیاهان لوبیا بود (۲۵).آسیب‌های فتوسنتزی ناشی از کادمیوم در گیاه خردل به کمک متیل جاسمونات بهبود یافت. این بهبود از طریق افزایش آسیمیلاسیون سولفات و تولید گلوتاتیون و تحریک فعالیت فتوسنتزی صورت گرفت (۲۸). در دانه رست برنج تیمار متیل جاسمونات موجب افزایش فعالیت آنزیم لیپواکسیژناز گردید که آنزیم اولیه و مهم در سنتز جاسمونات‌ها محسوب می‌شود. همچنین تجمع کادمیوم در برگ‌ها و ریشه‌ها کاهش یافت (۳۲). تاثیر این هورمون در تنظیم تنش اکسیداتیو القا شده با کادمیوم در سویا منجر به افزایش فعالیت در آنزیم‌های آنتی اکسیدان گردید (۲۲).

با توجه به تحقیقات انجام شده، در ایران نیز آلودگی به کادمیوم، بخصوص در مناطق صنعتی افزایش یافته و به تهدیدی برای سلامت انسان تبدیل شده است (۳۴) . در این تحقیق به بررسی اثرات بهبود بخش و مقاومت‌زای هورمون متیل جاسمونات بر برخی پارامترهای رشد و آنتی اکسیدانی مانند محتوای نسبی آب، میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان، میزان پرولین و مقدار کلروفیل در دانه‌رست-های گندم تحت تنش کادمیوم پرداخته می‌شود.

مواد و روشها

بذور گندم رقم سیوند از مرکز تحقیقات کشاورزی شهرستان نیشابور تهیه گردید. ابتدا بذرها به وسیله محلول هیپوکلریت سدیم ۵٪ به مدت ۱۰ دقیقه ضد عفونی شدند. سپس شستشوی بذرها با آب مقطر سه بار انجام شد. بذرها در گلدان‌های حاوی شن با فواصل منظم و به تعداد ۲۰ عدد در هر گلدان کاشته شد. آزمایش بصورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملا تصادفی و با سه تکرار به انجام رسید. آبیاری اولیه با آب مقطر انجام شد. بعد از جوانه زنی آبیاری با محلول غذایی هوگلند انجام گرفت و نمونه ها به قفسه نوری با دمای حداکثر $^{\circ}C$ ۲۳ و حداقل $^{\circ}C$ ۱۶ و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی (با شدت روشنایی ۸۰ میکرومول بر مترمربع برثانیه) و ۸ ساعت تاریکی منتقل شدند. تیمار کادمیوم بصورت محلول کلرید کادمیوم در مرحله دو یا سه برگی با غلظت‌های صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میکرومولار به محلول هوگلند (pH=7.1) اضافه شد. همزمان با تیمار کادمیوم اسپری برگ‌ها با محلول متیل جاسمونات با غلظت‌های صفر، ۱۰ و ۱۰۰میکرومولار انجام شد. اسپری متیل جاسمونات و آبیاری با محلول غذایی هوگلند حاوی کادمیوم به مدت دو هفته بصورت یک روز در میان انجام گرفت. به منظور پرهیز از اثر تجمعی، در فاصله بین دو تیمار کادمیوم، شستشو با آب

مقطر صورت گرفت. سپس نمونه ها برداشت شده و صفات مرفولوژیک مورد سنجش قرار گرفت. نمونه‌ها برای سنجش‌های بیشتر به فریزر ۷۰- درجه منتقل گردید.

سنجش محتوای نسبی آب برگ (RWC): سنجش محتوای نسبی آب برگ به روش Ritchie و همکاران (۳۰) انجام شد. تغییرات این پارامتر نسبت به اثر متقابل کادمیوم و متیل جاسمونات و همچنین نسبت به زمان برداشت مورد سنجش قرار گرفت. آخرین برگ نمو یافته از هر گلدان را در زمان‌های صفر، ۳، ۶، ۱۲ و۲۴ ساعت بعد از شروع تیمار کادمیوم و هورمون جدا کرده و وزن تر آن‌ها با ترازوی دقیق اندازه‌گیری شد. سپس به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر و در دمای $4\ ^{\circ}C$ قرار گرفته و بعد از ۲۴ ساعت برگ‌ها مجددا توزین شدند تا وزن اشباع آن‌ها بدست آید. آنگاه نمونه‌ها به آون با دمای $60\ ^{\circ}C$ منتقل شدند و بعد از ۴۸ ساعت وزن خشک نمونه‌ها اندازه گیری شد. سپس محتوای نسبی آب برگ برای هر نمونه با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید:

$$RWC= F_W-D_W / S_W- D_W *100$$

F_W: وزن تر برگ بلافاصله بعد از نمونه برداری؛ D_W : وزن خشک برگ بعد از قرار گرفتن در آون؛ S_W : وزن اشباع برگ بعد از قرار گرفتن در آب مقطر

سنجش رنگیزه‌های فتوسنتزی: به منظور سنجش کلروفیل a، b و کاروتنویید به روش Arnon و همکاران (۶)، ۰/۵ گرم از برگ‌های تر در هاون چینی به همراه ۲۰ میلی لیتر استون به خوبی ساییده شده و در ۶۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شد. میزان جذب عصاره فوقانی در طول موج-های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a، ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل b و ۴۷۰ نانومتر برای کاروتنوئید قرائت شد. سپس با استفاده از فرمول زیر میزان رنگدانه‌ها بر اساس میلی گرم بر گرم وزن تر بدست آمد:

کلروفیل a : $(19/3\ A_{663} - 0/86 A_{645}) * V / 100W$

کلروفیل b: $(19/3 A_{645} - 3/6 A_{663}) * V / 100W$

کاروتنوئید: $[(100 * A_{470}) - (3/27 * a_{\text{کلروفیل}}) - (1/04 * b_{\text{کلروفیل}})] / 227$

V: حجم فوقانی سانتریفوژ؛

W: وزن تر نمونه (گرم)؛

A: میزان جذب

سنجش میزان پرولین: اندازه‌گیری پرولین برگ به روش Bates و همکاران (۱۰) انجام شد. به منظور عصاره‌گیری ابتدا ۱۰۰ میلی‌گرم از بافت برگی در پنج میلی لیتر اتانول۴۰٪ ساییده و سپس توسط کاغذ واتمن شماره دو صاف شد. یک میلی لیتر از عصاره به همراه یک میلی لیتر محلول نایِن هیدرین در حمام آب جوش با دمای ۱۰۰ درجه به مدت یک ساعت قرار داده شد. بعد از سرد شدن به آن‌ها ۱۰ میلی لیتر تولوئن افزوده و لوله تکان داده شد تا دو فاز مشخص ایجاد شود. مایع رویی به کوت دستگاه اسپکتروفتومتر منتقل و سپس جذب آن در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد. از محلول غلظت‌های مختلف پرولین جهت رسم منحنی استاندارد استفاده گردید.

سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT): فعالیت این آنزیم بر طبق روش Aebi و Lester (۵) تعیین شد. در این روش میزان تجزیه H_2O_2 بصورت کاهش در میزان جذب، در طول موج ۲۴۰ نانومتر ظرف مدت یک دقیقه، ملاک سنجش فعالیت آنزیم قرار گرفت. به دو میلی‌لیتر عصاره گیاهی که ۲۰۰ بار بوسیله بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار رقیق شده بود، یک میلی‌لیتر پراکسید هیدروژن ۱۰ میلی‌مولار اضافه گردید و پس از یک دقیقه جذب در ۲۴۰ نانومتر قرائت شد. تفاوت در میزان جذب ظرف یک دقیقه نشان‌دهنده میزان فعالیت کاتالاز است. از قانون بیر-لامبرت (A=€bc) برای محاسبه میزان فعالیت آنزیم استفاده گردید. از محلول فاقد عصاره برای محلول بلانک استفاده گردید. ضریب خاموشی $H_2O_2 = 40\ mM^{-1}\ cm^{-1}$ است.

سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز(SOD): سنجش آنزیم SOD به روش Beauchamp & Fridovich (۱۲) انجام شد و فعالیت آن بر اساس مهار رقابتی احیای نیتروبلو تترازولیوم کلراید (NBT) توسط رادیکالهای سوپر اکسید تعیین می‌شود.

میزان فعالیت SOD براساس جذب طبق رابطهٔ زیر محاسبه گردید: unit SOD= [V/v] -1

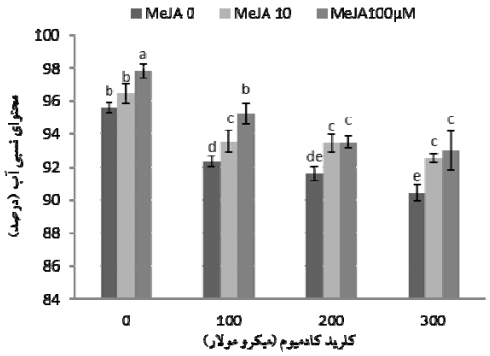
V : میزان جذب در واکنش بدون آنزیم (جذب محلول شاهد)؛v : میزان جذب در واکنش حاوی آنزیم

سنجش تجمع کادمیوم در ریشه و ساقه: بدین منظوراز دستگاه جذب اتمی (VARIAN AA240) استفاده شد. برای تعیین مقدار کادمیوم ریشه و اندام هوایی، نمونه‌ها پس از خرد شدن به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۷۰°C قرار داده شد. سپس مقدار ۰/۵ گرم برگ و ۰/۲ گرم از ریشه گیاهان را جدا کرده و ۱۰ میلی لیتر اسید نیتریک به آنها اضافه شد. نمونه‌ها به منظور هضم کامل بافتی به مدت یک هفته در اسید نگهداری شدند و بعد از صاف کردن حجم مایع در هر نمونه به کمک آب مقطر به۵۰ میلی لیتر رسید و سپس توسط دستگاه جذب اتمی میزان کادمیوم اندازه‌گیری شد. از غلظت‌های استاندارد کادمیوم جهت رسم منحنی استاندارد و بدست آوردن غلظت‌های مجهول بر اساس جذب نمونه استفاده شد.

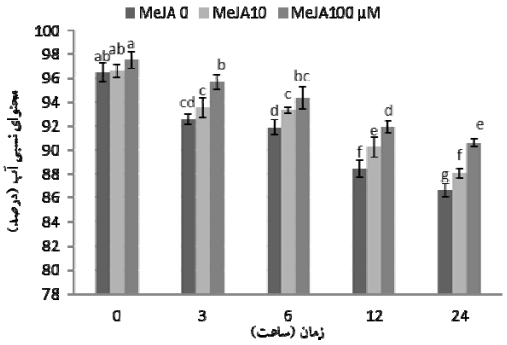
تجزیه و تحلیل داده ها: تجزیه و تحلیل آماری داده‌های جمع آوری شده در این پژوهش با استفاده از نرم افزار آماری SAS (9.4) انجام شد. مقایسه میانگین ها با آزمون LSD در سطح ۵ درصد انجام شد و برای رسم نمودارها و منحنی‌های استاندارد نیز از نرم افزار(2007) Excel استفاده شد.

نتایج

محتوای نسبی آب: با توجه به نتایج حاصل از تحلیل داده-ها تیمار کادمیوم باعث کاهش معنی‌داری در محتوای نسبی آب نمونه‌ها نسبت به شاهد شد و بیشترین کاهش در غلظت‌های ۲۰۰ و ۳۰۰ میکرومولار کادمیوم مشاهده شد. در تیمار همزمان کادمیوم و هورمون، متیل جاسمونات اثر افزایشی بر محتوای نسبی آب در مقایسه با گیاهان شاهد داشت (شکل۱). همچنین با گذشت زمان میزان آب نسبی برگ‌ها کاهش یافت و با اسپری متیل جاسمونات بر مقدار محتوای نسبی آب برگ افزوده شد (شکل۲).



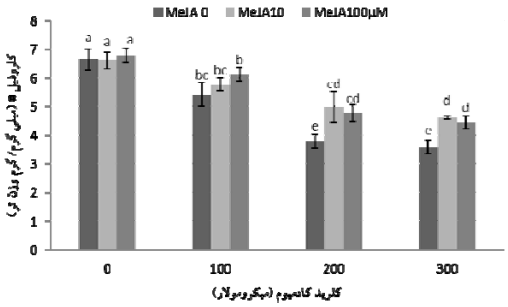
شکل۱- اثر متقابل متیل جاسمونات و کلرید کادمیوم بر محتوای نسبی آب در برگ دانه‌رست‌های گندم. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح پنج درصد ($p < 0.05$) تفاوت معنی‌داری با هم ندارند. میله‌های روی ستون‌ها خطای استاندارد را در هر گروه نشان می‌دهد.



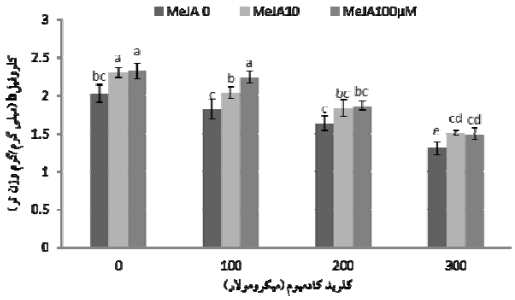
شکل ۲- اثر متقابل متیل جاسمونات و زمان بر محتوای نسبی آب دانه‌رست‌های گندم. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح پنج درصد ($p < 0.05$) تفاوت معنی‌داری با هم ندارند. میله-های روی ستون‌ها خطای استاندارد را در هر گروه نشان می‌دهد.

میزان کلروفیل a، b و کاروتنویید: تیمار کادمیوم به خصوص در غلظت ۳۰۰ میکرومولار منجر به کاهش

رنگیزه‌های فتوسنتزی شد. بررسی اثر همزمان تنش کادمیوم و تیمار هورمونی نشان داد که تیمار با ۱۰ میکرومولار متیل جاسمونات باعث افزایش حدود ۲۸٪ در میزان کلروفیل a، ۱۶٪ در کلروفیل b، و ۳۵٪ در مقدار کاروتنویید در غلظت ۳۰۰ میکرومولار کلرید کادمیوم نسبت به شاهد گردید (شکل ۳،۴و۵).

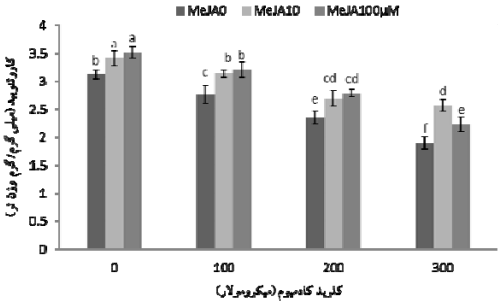


شکل ۳- اثر متقابل متیل جاسمونات و کلرید کادمیوم بر میزان کلروفیل a در دانه‌رست‌های گندم. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح پنج درصد ($p < 0.05$) تفاوت معنی‌داری با هم ندارند. میله‌های روی ستون‌ها خطای استاندارد را در هر گروه نشان می‌دهند.

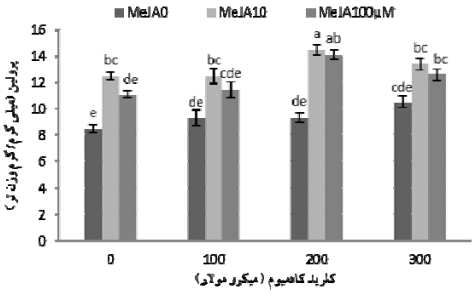


شکل ۴- اثر متقابل متیل جاسمونات و کلرید کادمیوم بر میزان کلروفیل b در دانه‌رست‌های گندم. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح پنج درصد ($p < 0.05$) تفاوت معنی‌داری با هم ندارند. میله‌های روی ستون‌ها خطای استاندارد را در هر گروه نشان می‌دهند.

میزان پرولین: در گیاهان تحت تنش کادمیوم (بخصوص در غلظت ۲۰۰ میکرومولار) میزان پرولین (تا ۱۵٪) نسبت به شاهد افزایش یافت. کاربرد متیل جاسمونات به تنهایی نیز این پارامتر را افزایش داده است. بررسی اثر همزمان کادمیوم و جاسمونات نیز نشان داد که تیمار با متیل جاسمونات (بخصوص در غلظت ۱۰ میکرومولار) مقدار پرولین را نسبت به نمونه شاهد حدود ۲۷٪ در غلظت ۳۰۰ میکرومولار کلرید کادمیوم افزایش داده است (شکل۶).



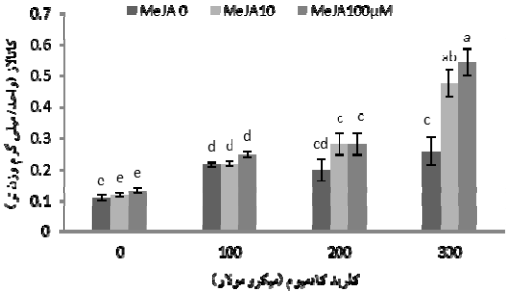
شکل ۵- اثر متقابل متیل جاسمونات و کلرید کادمیوم بر میزان کاروتنویید در دانه‌رست‌های گندم. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح پنج درصد ($p < 0.05$) تفاوت معنی‌داری با هم ندارند. میله‌های روی ستون‌ها خطای استاندارد را در هر گروه نشان می‌دهند.



شکل ۶- اثر متقابل متیل جاسمونات و کادمیوم بر میزان پرولین در دانه رست‌های گندم. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح پنج درصد ($p < 0.05$) تفاوت معنی‌داری با هم ندارند. میله‌های روی ستون‌ها خطای استاندارد را در هر گروه نشان می دهند.

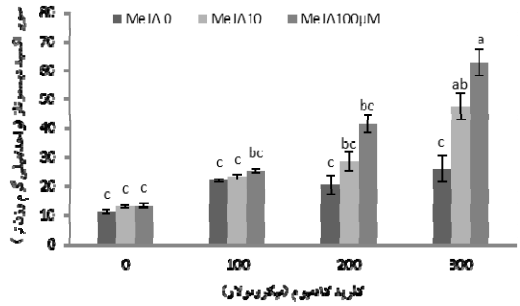
فعالیت کاتالاز و سوپر اکسید دیسموتاز: میزان فعالیت آنزیم کاتالاز با بالا رفتن غلظت کادمیوم افزایش یافت و در غلظت ۳۰۰ میکرومولار کادمیوم مقدار فعالیت این آنزیم نسبت به شاهد ۳ برابر شد. استفاده از متیل جاسمونات به تنهایی نیز فعالیت کاتالاز را نسبت به نمونه کنترل افزایش داد. در شرایط تنش کادمیوم (در غلظت ۳۰۰میکرومولار) تیمار با ۱۰۰میکرومولار متیل جاسمونات مقدار فعالیت این

آنزیم را نسبت به نمونه کنترل بیش از ۲ برابر افزایش داده است (شکل۷).



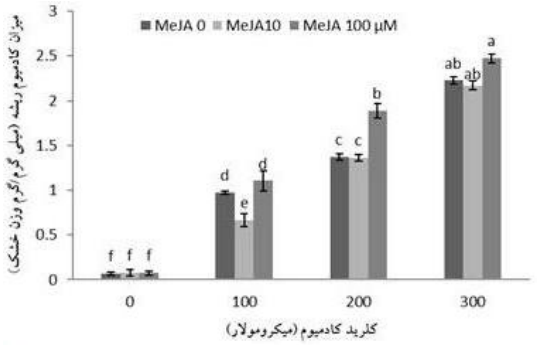
شکل ۷- اثر متقابل متیل جاسمونات و کلریدکادمیوم بر میزان کاتالاز در دانه‌رست‌های گندم. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح پنج درصد ($p < 0.05$) تفاوت معنی‌داری با هم ندارند. میله-های روی ستون‌ها خطای استاندارد را در هر گروه نشان می‌دهند.

نتایج نشان داد که تیمار کادمیوم به تنهایی فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز را افزایش داده است. این تغییرات بخصوص در غلظت ۳۰۰ میکرومولار کادمیوم به بیش از ۳ برابر رسیده است. تیمار با متیل جاسمونات به تنهایی نیز منجر به افزایش فعالیت این آنزیم گردید. بررسی اثرات همزمان کادمیوم و جاسمونات نشان داد که ۱۰۰میکرومولار متیل جاسمونات میزان فعالیت SOD را ۲/۴ برابر افزایش داده است (شکل۸).

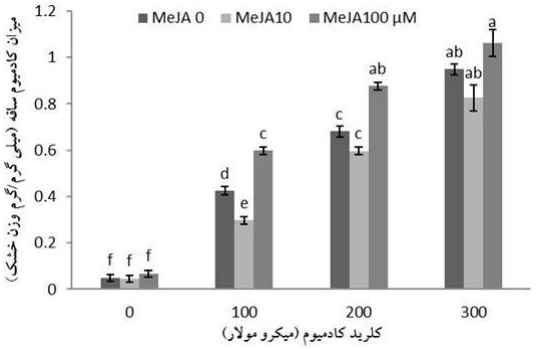


شکل ۸- اثر متقابل متیل جاسمونات و کلرید کادمیوم بر میزان آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در دانه‌رست‌های گندم. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح پنج درصد ($p < 0.05$) تفاوت معنی-داری با هم ندارند. میله‌های روی ستون‌ها خطای استاندارد را در هر گروه نشان می‌دهند.

تجمع کادمیوم در ریشه: با افزایش غلظت کادمیوم تجمع آن در ریشه‌ها و برگ‌ها افزایش یافت. میزان کادمیوم در ریشه ۲/۵ برابر مقدار آن در ساقه بود. بررسی اثرات متقابل متیل جاسمونات و کادمیوم نشان داد که غلظت ۱۰میکرومولار هورمون مقدار تجمع کادمیوم را در ساقه و ریشه بویژه در گیاهانی که معرض غلظت پایین کلرید کادمیوم (۱۰۰ میکرومولار) قرار داشتند، حدود ۳۰٪ کاهش داده است در حالی که غلظت ۱۰۰میکرومولار متیل جاسمونات منجر به افزایش تجمع کادمیوم (۱۱-۱۲٪) در این اندام‌ها گردید (شکل۹ و ۱۰).



شکل ۹- اثر متقابل متیل جاسمونات و کلرید کادمیوم بر میزان کادمیوم ریشه در دانه‌رست‌های گندم. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح پنج درصد ($p < 0.05$) تفاوت معنی‌داری با هم ندارند. میله‌های روی ستون‌ها خطای استاندارد را در هر گروه نشان می‌دهند.



شکل ۱۰- اثر متقابل متیل جاسمونات و کلرید کادمیوم بر میزان کادمیوم ساقه در دانه‌رست‌های گندم. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح پنج درصد ($p < 0.05$) تفاوت معنی‌داری با هم ندارند. میله‌های روی ستون‌ها خطای استاندارد را در هر گروه نشان می‌دهند.

بحث ونتیجه گیری

کادمیوم یک فلز سمی است که به علت تحرک نسبتا بالای آن در سیستم خاک – ریشه مورد توجه زیادی قرار گرفته است. این فلز می‌تواند بر مکانیزم‌های بیوشیمیایی و جنبه-های ساختاری سلول تاثیر مخربی داشته باشد. برای مثال با کم کردن کنترل حالت اکسیداسیون و احیای سلول باعث القای استرس اکسیداتیو شده و از لحاظ فیزیولوژیک اختلالات شدیدی در فتوسنتز، ارتباطات آبی و جذب مواد معدنی ایجاد می‌کند (۹). نتایج تحقیق حاضر نشان داد که کلرید کادمیوم بویژه در غلظت‌های بالا سبب کاهش معنی-دار مقدار آب نسبی می‌شود. به نظر می‌رسد این اثر کاهشی ناشی از تجمع کادمیوم و اختلال در جذب آب باشد (۱). سایر تحقیقات انجام گرفته نیز نشان دهنده اثر مخرب کادمیوم بر میزان آب سلول است. در مطالعه ای که بر روی گندم دوروم انجام شد، محلول کلرید کادمیوم باعث کاهش محتوای نسبی آب شد (۷). تحقیقات انجام شده بر روی دو واریته از گیاه خردل تحت تنش کادمیوم نیز نشان داد که در هر دو واریته پارامترهای رشدی و پتانسیل آب برگ کاهش یافته است (۲۱). ثابت شده است که تحت تنش فلزات سنگین، گیاهان سطح هورمون‌های داخلی خود را برای سازگاری تنظیم می‌کنند. استرس‌های غیرزیستی باعث تحریک سنتز جاسمونات داخلی در گیاهان می‌شود (۱۵). متیل جاسمونات محرک القای آنتی‌اکسیدان‌ها در گیاهان و کشت‌های سلولی تحت تنش کادمیوم است و اثرات حمایتی مهمی بر علیه تنش اکسیداتیو دارد. در پژوهش حاضر تیمار متیل جاسمونات توانست تا حدودی باعث افزایش محتوای نسبی آب گردیده و از اثرات تنش بکاهد. سایر تحقیقات نیز نشان دهنده آن است که متیل جاسمونات بر میزان آب نسبی سلول اثر مثبتی دارد. در گیاه شاهی تیمار با ۵ و ۱۰ میکرومولار متیل جاسمونات باعث کاهش نشت یونی و افزایش میزان آب نسبی در شرایط تنش مس شده است (۱). در گیاهان سویا که تحت تنش خشکی قرار گرفته بودند اسپری برگی ۵۰ میکرومولار متیل جاسمونات باعث افزایش محتوای نسبی آب شده و بدین ترتیب بر عملکرد محصول تاثیر مثبتی داشت این تاثیر هورمونی می‌تواند مربوط به نقش متیل جاسمونات در بسته شدن روزنه‌ها و کاهش تعرق باشد (۸).

یافته‌های این تحقیق نشان داد که کادمیوم میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی را کاهش داده است. اثر تنش کادمیوم بر کاهش کلروفیل در بسیاری از تحقیقات گذشته به اثبات رسیده است. به طور مثال هنگامی که دانه رست *Kandelia obovata* تحت تنش کادمیوم قرار گرفت کاهش میزان کلروفیل در تیمار با ۲۰۰ میکرومولار کادمیوم مشاهده شد (۱۵). تیمار گیاه *Lactuca sativa* L. با غلظتهای مختلف نیترات کادمیوم نیز نشان داد که غلظت‌های بالای آن باعث کاهش شدید کارایی فتوسنتزی در فتوسیستم ۲ و اختلال در آسیمیلاسیون دی اکسید کربن شده است که احتمالا مربوط به کاهش فعالیت روبیسکو است (۱۸). به‌علاوه، مطالعات نشان داده است که کادمیوم اثرات مخربی بر سیستم فتوسنتزی داشته و غلظت دی اکسید کربن درون سلولی را کم می‌کند. این فلز میزان کلروفیل را کاهش داده و بر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم ۲ اثرات زیانباری دارد (۳۱). سمیت حاصل از کادمیوم ممکن است در اثر اتصال یون‌ها به گروه‌های سولفیدریل پروتئین‌ها باشد که در نتیجه باعث مهار فعالیت و اختلال در ساختار پروتئین‌ها از جمله آنزیمها می‌شود. آنزیم‌ها از اهداف اصلی یون‌های فلزی هستند و هنگامی که به مدت طولانی در معرض این یون‌ها باشند فعالیت آنزیمی آنها کاهش می‌یابد. مهار فعالیت آنها ممکن است در اثر پوشش یون‌ها در جایگاه کاتالیکی آنزیم‌ها باشد (۱۳). کادمیوم باعث اختلال در فعالیت آنزیم‌های کلروپلاستی شده و بیوسنتز کلروفیل را مهار می‌کند. همینطور باعث کاهش فعالیت آنزیم‌های درگیر در تثبیت دی اکسید کربن بویژه آنزیم روبیسکو می‌شود (۲۰). در مورد روبیسکو می‌توان گفت که این آنزیم دارای یون

منیزیم Mg^{2+} در جایگاه کاتالیکی خود است که در اثر جایگزینی منیزیوم با یون دو ظرفیتی کادمیوم فعالیت خود را از دست می‌دهد. همچنین این فلز دو ظرفیتی می تواند جایگزین یون منیزیم در ملکول کلروفیل شود که در این صورت باعث ناپایداری و تجزیه کلروفیل می‌شود (۲۳).

در این تحقیق تیمار با متیل جاسمونات بخصوص در غلظت ۱۰ میکرو مولار اثرات بهبود دهنده‌ای در میزان کلروفیل a، b و کاروتنویید داشته است. گزارش‌ها حاکی از این است که تیمار با جاسمونات می‌تواند باعث افزایش سطح رنگیزه‌های فتوسنتزی و همچنین افزایش نسخه برداری از زیر واحد کوچک آنزیم روبیسکو گردد (۱). در خردل تیمار متیل جاسمونات آسیب‌های فتوسنتزی ناشی از تنش کادمیوم را بهبود بخشید که از طریق افزایش آسیمیلاسیون سولفات و تولید گلوتاتیون و تحریک فعالیت فتوسنتزی بود (۲۸).

تجمع پرولین در گیاه یکی دیگر از مکانیزم‌های مهم است که در تنش کادمیوم مشاهده می‌شود. پرولین سریعترین انباشت را در برگ‌ها دارد. و باعث حفظ فشار تورژسانس و کاهش خسارت غشا در گیاهان می‌شود. (۴). در تحقیق حاضر مقدار پرولین در غلظت ۲۰۰ میکرومولار کادمیوم افزایش چشمگیری داشته است. سایر تحقیقات نیز افزایش میزان پرولین در تنش کادمیوم را گزارش کرده اند. از جمله در مطالعاتی که بر روی گیاهان گندم دوروم (۷) و عدس (۲) انجام شده است، نتایج بیانگر افزایش میزان پرولین در نتیجه کاربرد کلرید کادمیوم است. نتایج این پژوهش نشان داد که تیمار توام با متیل جاسمونات بخصوص در غلظت ۲۰۰ میکرومولار کادمیوم باعث افزایش معنی‌داری در مقدار پرولین نسبت به گروه شاهد شده است. به نظر می‌رسد متیل جاسمونات باعث فعال شدن بیشتر مکانیزم‌های آنتی اکسیدانی و افزایش پرولین شده است. پرولین یک آمینو اسید چند کاره است که در گیاهان از مسیر گلوتامات سنتز می‌شود و اغلب به عنوان یک اسمولیت داخلی برای حمایت از ساختارهای زیر سلولی و ماکروملکول‌های تحت تنش اسمزی شناخته شده است. اما پرولین نه تنها یک اسمولیت است بلکه فعالیت‌های زیادی را تحت کنترل دارد و می‌تواند بردباری به تنش را در گیاهان افزایش دهد. پرولین بصورت چاپرون عمل کرده و باعث حفظ ساختار پروتئینها و افزایش فعالیت آنزیمها می‌گردد (۳۳).

کادمیوم باعث القای استرس اکسیداتیو در گیاه می‌شود. در چنین شرایطی است که مکانیزم‌های آنتی اکسیدانی گیاه فعال می‌شوند. در این تحقیق بررسی فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز نشان داد که کادمیوم فعالیت آن‌ها را در دانه رست گندم نسبت به نمونه کنترل تا ۳ برابر افزایش می‌دهد. تنش کادمیوم در ریشه و ساقه دو کولتیوار گندم حساس و غیر حساس به کادمیوم نشان داد که فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز، گلوتاتیون ردوکتاز و سوپر اکسید دیسموتاز با اثرات غلظتی این فلز تحت تاثیر قرار گرفت (۲۶). در گیاهچه عدس نیز در نتیجه افزایش غلظت کادمیوم فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز افزایش یافت و کاهش شدیدی در میزان پروتئینهای محلول گیاه مشاهده شد (۲). کاتالازها آنزیم‌های تترامر دارای "هم" هستند با پتانسیل تبدیل مستقیم پراکسید هیدروژن به آب و اکسیژن و برای سم زدایی اکسیژن‌های واکنش‌گر در طول شرایط تنش وجود آن‌ها ضروری است. متالوآنزیم سوپراکسید دیسموتاز نیز یکی از مهمترین و موثرترین آنتی اکسیدان‌های آنزیمی در داخل سلول است و منحصرا در تمام ارگانیزم‌های هوازی و همه بخشهای زیر سلولی که مستعد تولید اکسیژن‌های واکنش‌گر در تنش اکسیداتیو هستند حضور دارد. در شرایط تنش اکسیداتیو این آنزیم در بردباری گیاه به تنش نقش مهمی ایفا کرده و اولین خط دفاعی علیه اثرات سمی سطوح بالای اکسیژن‌های واکنش‌گر است. سوپر اکسید دیسموتاز خطر تشکیل یون هیدروکسیل را از طریق واکنش هابر- وایز کم می‌کند (۱۹).

در پژوهش حاضر اثر متیل جاسمونات بر فعالیت آنزیم-های کاتالاز و سوپر اکسید دیسموتاز نشان دهنده افزایش فعالیت این آنزیم‌ها تحت تیمار هورمونی بود. سایر تحقیقات انجام شده نیز حاکی از اثرات افزایشی متیل جاسمونات در غلظت‌های خاص، بر فعالیت آنزیم‌ها است (۱۷). در دانه رست برنج استفاده از ۵ میکرومولار متیل جاسمونات باعث کاهش جذب کادمیوم و افزایش ظرفیت آنتی اکسیدانی تحت تنش کادمیوم گردید (۳۲). هنگامی که دانه‌رست *Kandelia obovata* تحت تنش کادمیوم قرار گرفت استفاده از ۰/۱ تا ۱ میکرومول متیل جاسمونات باعث افزایش فعالیت کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز در برگ‌ها شد (۱۵). در کشت سلولی گیاه *Scrophularia striata* استفاده از متیل جاسمونات باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز شد (۳). افزایش در فعالیت آنزیم‌ها ممکن است مربوط به تنظیم افزایشی ژن‌های کنترل کننده سنتز آنزیم‌ها یا افزایش فعالسازی جایگاه‌های ساختاری آنزیم‌ها باشد (۲۲).

نتایج این تحقیق بیانگر ان است که تجمع این فلز در ریشه بیشتر از ساقه بوده و با افزایش غلظت کادمیوم میزان تجمع افزایش یافته است. یافته‌های سایر محققین نیز نتایج ما را تایید می‌کند. بطور مثال، در مطالعه‌ای مشخص شد که کادمیوم نسبت به سایر فلزات سنگین تجمع بیشتری را در گندم دارد و بالاترین مقدار آن در ریشه و سپس در ساقه مشاهده شد (۳۷). بررسی اثرات متقابل متیل جاسمونات و کادمیوم نشان داد که این هورمون اثر دوگانه ای بر تجمع کادمیوم در ساقه و ریشه دارد. تیمار با متیل جاسمونات در غلظت ۱۰ میکرومولار اثر کاهشی بر تجمع کادمیوم بویژه در غلظت ۱۰۰ میکرومولار کلرید کادمیوم نشان داد. اما غلظت ۱۰۰ میکرومولار این هورمون باعث افزایش تجمع کادمیوم شد. سایر تحقیقات نیز موید این مطلب است که غلظت‌های پایین جاسمونات می‌تواند باعث افزایش تحمل به تنش شود در حالی که غلظت‌های بالای این هورمون منجر به مهار رشد و کاهش فتوسنتز و تسریع پیری می‌شود که می‌تواند افزایش تجمع کادمیوم را نیز به دنبال داشته باشد (۳۶). در تحقیقات گذشته نیز اثر متیل جاسمونات در *solanum nigrum* و *Kandelia obovata* منجر به کاهش انتقال و تجمع کادمیوم در ریشه و ساقه شده است (۱۵و۳۶). ممکن است این اثر مربوط به نقش جاسمونات در بسته شدن روزنه‌ها و کاهش تعرق باشد زیرا که در این شرایط جریان درونی آب گیاه کند شده و درنتیجه انتقال کادمیوم از ریشه به برگ ها کاهش می یابد (۱۵).

با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق متیل جاسمونات اثر قابل توجهی در بالا رفتن تحمل گیاه به شرایط تنش کادمیوم داشته ست که افزایش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی، فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان و مقدار پرولین می‌تواند موید این ادعا باشد و با افزایش توان تحمل دانه رست‌های گندم، امکان ممانعت از ورود کادمیوم به ریشه و انتقال آن به بخش هوایی فراهم شده است.

منابع

۱- اسدی کرم، الف.، اسرار، ز.، کرامت، ب. ۱۳۹۳. تاثیر کاربرد متیل جاسمونات بر محتوای پرولین و جذب عناصر مس، آهن، روی و منیزیم در گیاه شاهی(*Lepidium sativum*) تحت سمیت مس. پژوهش‌های گیاهی. ۲۹ (۲): ۲۴۳-۲۵۳.

۲- بارنده، ف و کاوسی ح. ر. (۱۳۹۴). اثر کلرید کادمیوم بر رنگیزه های فتوسنتزی، محتوای پرولین، میزان پروتئینهای محلول و برخی آنزیمهای آنتی اکسیدان در گیاهچه های عدس. فرایند و کارکرد گیاهی. ۵ (۱۶): ۱۳۲-۱۱۷.

۳- خانپور اردستانی، ن.، شریفی، م.، بهمنش، م. ۱۳۹۲. اثر متیل جاسمونات بر فعالیت آنزیمهای آنتی اکسیدان، ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی در کشت سلول *Scrophularia straita Boiss*. پژوهش‌های گیاهی. ۲۷(۵): ۸۴۰-۸۵۳.

۴- ناصری، ز.، عباسی، ف.، محمود زاده، ه. (۱۳۹۰). اثر سطوح مختلف خشکی و جیبرلین بر تجمع پرولین، قندهای محلول و غیر محلول در برگ جو خوراکی. فصلنامه پژوهش‌های علوم گیاهی. ۲۲(۶): ۱-۱۰.

5- Aebi, H. and Lester, P. 1984. Catalase in vitro. Methods in Enzymology, 105:121–126.

6- Arnon AN. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal, 23, 112- 121.

7- Alayat, A., Souiki, L., Grara, N., Djebar M.R., Boumedris, Z.E., Benosmane, S., Amamra, R., Berrebbah, H. 2014. Effects of cadmium on water content, soluble protein, proline changes and some antioxidant enzymes in wheat (*Triticum durum* desf.) leaves. Annual Research & Review in Biology, 4(24): 3835-3847.

8- Anjum, S.A., Xie, X., Farooq, M., Wang, L. C., Xue, L. L., Shahbaz, M. and Salhab, J. 2011 Effect of exogenous methyl jasmonate on growth, gas exchange and chlorophyll contents of soybean subjected to drought. African Journal of Biotechnology. 10(47): 9640-9646.

9- Azevedo, R.A., Garatao, P.L., Monteiro, C.C., Carvalho, R. F. 2012. What is new in the research on Cadmium-induced stress in plants? Food and Energy Security, 1(2):133-140.

10- Bates L, Waldren RP, Teare ID. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil, 39: 205-207.

11- Bavi, K., Kholdebarin, B., Moradshahi, A., 2011. Effect of cadmium on growth, protein content and peroxidase activity in pea plants. Pakistan Journal of Botany, 43(3): 1467-1470.

12- Beauchamp C.O., Fridovich I. (1971): Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. Analytical Biochemistry, *44*:276–287.

13- Benavides, M. P., Gallego, S.M., Tomaro, M. L. 2005. Cadmium toxicity in plants. Brazilian Journal of Plant Physiology, 17(1):21-34.

14- Bernard, A. 2008. Cadmium & its adverse effects on human health. Indian Journal of Medical Research, 128(4):557.

15- Chen, J., Yan, Z., Li, X. 2014. Effect of methyl jasmonate on Cadmium uptake and antioxidative capacity in *Kandelia obovata* seedlings under Cadmium stress. Ecotoxicology and Environmental Safety 104: 349-356.

16- Da-lin, L., Kai-qi, H., Wei-Wei, q., Xiu-ping, W., Shu-pan, Z., 2011. Effects of cadmium on the growth and physiological characteristics of sorghum plants. African journal of biotechnology, 10 (7):15770-15776.

17- Dar, T. A., Uddin, M., Khan, M. M. A., Hakeem, K. R., Hassan, J. 2015. Jasmonates counter plant stress. Environmental and experimental Botany, 115: 49-57.

18- Dias, M. C., Monterio, C., Moutinho-Pereira, J., Correia, C., Goncalves, B., Santos, C. 2013. Cadmium toxicity affects photosynthesis and plant growth at different levels. Acta Physiologiae Plantarum, 35:1281-1289.

19- Gill, S. S., Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. Plant Physiology and Biochemistry, 48: 909-930.

20- Gubrelay, U., Aghnihotri, R. K., Singh, G., Kaur, R., Sharma, R. 2013. Effect of heavy metal Cd on some physiological and biochemical parameters of Barley (*Hordeum vulgare* L.). International Journal of Agriculture and Crop Sciences 5(22):2743-2751.

21- Irfan, M., Ahmad, A., Hayat, S. 2013. Effect of cadmium on the growth and antioxidant enzymes in two varieties of *Brassica juncea*. Saudia Journal of Biological Sciences, 21: 125-131.

22- Keramat, B., Manouchehri Kalantari, Kh., and Arvin, M. J. (2009). Effects of methyl jasmonate in regulating cadmium induced oxidative stress in soybean plant (*Glycine max* L.). African Journal of Microbiology Research, 3(5): 240-244.

23- Kupper, H. and Andresen, E. 2016. Mechanism of metal toxicity in plants. The Royal Society of Chemistry Metallomics, 8: 269- 285.

24- Liu, W. X., Liu, J. W., Wu, M. Z., Li, Y., Zhao, Y., Li, S. R., 2008. Accumulation and translocation of toxic heavy metals in winter Wheat (*Triticum aestivum* L.) growing in agricultural soil of Zhengzhou, China. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 82: 343-347.

25- Maksymiec, W., Wianowska, D., Dawidowicz, A.L., Radkiewicz, S., Mardarowicz, M., Krupa, Z., 2005. The level of jasmonic acid in *Arabidopsis taliana* and *Phaseolus coccineus* plants under heavy metal stress. Journal of Plant Physiology, 162:1338-1346.

26 - Nasr, N. 2013. Cadmium Effects on Enzyme Activities in Wheat. International Journal of Agronomy and Plant Production, 4 (11): 2972-2982.

27 -Nazar, R., Iqbal, N., Masood, A., Khan, M. I. R, Syeed, S., Khan, N. A. 2012. Cadmium toxicity in plants and role of mineral nutrients in its alleviation. American Journal of Plant Sciences, 3:1476-1489.

28- Per, T. S., Khan, N. A., Masood, A., Fatma, M. 2016. Methyl Jasmonate Alleviates Cadmium-Induced Photosynthetic Damages through Increased S-Assimilation and Glutathione Production in Mustard. Frontiers in Plant Science, 7:1933.

29- Perez Chaca, M.V., Vigliocco, A., Reinoso, H., Molina, A., Abdala, G., Zirulnik, F., Pedranzani, H., 2014. Effects of Cadmium stress on growth, anatomy and hormone contents in *Glycin max* L.Merr. Acta Physiologia Plantarum, 36(10):2815-26

30- Ritchie, S.W., Nguyan,H.T.and Holaday. A.S.1990. leaf Water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. Crop science, 30:105-111.

31- Singh, S., Parihar, P., Singh, R., Singh, V. P. and prasad, S. M. (2016). Heavy metal tolerance in plants: role of transcriptomics, proteomics, metabolomics, and ionimics. Fronties in plant science, 6:1143.

32- Singh, I., Shah, K. 2014. Exogenous application of methyl jasmonate lowers the effect of Cadmium-induced oxidative injury in rice seedlings. Phytochemistry, 108:57-66.

33-Szabados, L., and Savoure, A. 2009. Proline: a multifunctional amino acid. Trends in Plant Science, 15(2):89-97.

34- Tavakkoli, L and Khanjani, N. 2016. Environmental and occupational exposure to cadmium in Iran: a systematic review. Reviews on Environmental Health, 31(4): 457–463.

35- Tran, T. A and Popova, L. P. 2013. Functions and toxicity of Cd in plants: recent advances and future prospects. Turkish journal of Botany, 37:1-13.

36- Yan, Z., Zhang, W., Chen, J., Li, X., 2015. Methyl jasmonate alleviates cadmium toxicity in *Solanum nigrum* by regulating metal uptake and anti-oxidative capacity. Biological Plantarum 23: 42-51.

37- Wang, Z.W., Nan, Z.R., Wang, S.L., Zhao, Z.J., 2010. Accumulation and distribution of Cd and lead in wheat (*Triticum aestivum* L.) grown in contaminated soils from the oasis, north-west China. Society of Chemical Industry 91: 377 – 384.

Effects of methyl jasmonate on cadmium accumulation, antioxidant capacity and some physiological traits of wheat seedlings (*Triticum aestivum* L.)

Alikhani O.[1] Abbaspour H.[2] Safipour afshar A.[3] and Motevalizadeh Kakhaki A.R.[4]

[1] **Dept. of Biology, Damghan Branch, Islamic Azad University, Damghan, I.R. of Iran.**

[2] **Dept. of Biology, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, I.R. of Iran.**

[3] **Dept. of Biology, Neyshabur Branch, Islamic Azad University, Neyshabur, I.R. of Iran.**

[4] **Dept. of Chemistry, Neyshabur Branch, Islamic Azad University, Neyshabur, I.R. of Iran.**

Abstract

Cadmium is an unnecessary heavy metal with a relatively high mobility in the soil-root system and the potential for toxicity in plants and humans. This research investigates the effects of cadmium chloride and its interaction with methyl jasmonate on cadmium accumulation, its relative water content, proline content, the amount of photosynthetic pigments and the activity of superoxide dismutase and catalase in wheat seedlings (Sivand cultivar). The results showed that cadmium accumulation in root and shoot at 300 µM increased 30 and 17 times, respectively, compared to control level. Cadmium at concentrations of 200 and 300 µM resulted in significant changes in the studied traits. So that activity of catalase and superoxide dismutase enzymes is increased 2 to 3 times and the amount of proline is increased by 15%. While chlorophyll a, chlorophyll b and carotenoid content dropped by between 20% and 30% and relative water content was about 3% lower than the control level. Results showed that 10 µM methyl jasmonate spray on plants under cadmium stress increased the amount of proline (16%) and photosynthetic pigments (23%) and decreased the cadmium content of the root and shoot by 30%. At the 100 µM of methyl jasmonate the activity of catalase and superoxide dismutase enzymes increased by 2 and 3 times, respectively. The results of this study indicate the ability of methyl jasmonate in change of cadmium accumulation in the root and shoot and in increase the activity of antioxidant enzymes.

Key Words: Antioxidant Enzymes, Heavy Metals, Chlorophyll, Methyl Jasmonate, Wheat