

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

دانشگاه شهید باهنر کرمان

دانشکده علوم

گروه زیست‌شناسی

مرکز بین المللی علوم و فناوری پیشرفته و علوم محیطی (ICST)  
رساله جهت دریافت درجه دکتری رشته زیست‌شناسی  
گرایش فیزیولوژی گیاهی

---

---

بررسی اثر متیل جاسمونات بر تنش ناشی از کادمیوم در گیاه سویا  
(*Glycine max L.*)

---

---

استاد راهنما:

دکتر خسرو منوچهری کلانتری

استاد مشاور:

دکتر محمد جواد آروین

مؤلف:

بتول کرامت

اسفند ماه ۱۳۸۸



دانشگاه شهید باهنر کرمان

این رساله به عنوان یکی از شرایط احراز درجه دکترا به

گروه زیست شناسی

دانشکده علوم

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمیشود.

خانم بتول کرامت

دانشجو :

آقای دکتر خسرو منوچهری کلانتری

استاد راهنما :

آقای دکتر محمدجواد آروین

استاد مشاور :

آقای دکتر احسانپور

داور ۱ :

آقای دکتر قادریان

داور ۲ :

خانم دکتر رضائزاد

داور ۳ :

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی یا نماینده دانشکده : آقای دکتر مهدی عباس نژاد

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه است.

تقدیم به:

همسر مهربانم

و

فرزندان عزیزم

## تشکر و قدردانی

معبود یگانه‌ام را سپاس که از بیکران رحمتش، بی‌دریغ به من ارزانی داشت.  
سپاس خداوند بزرگی را که راهنمای راه‌های دشوار زندگی و گشاینده درهای  
معرفت و علم است.

از اساتید بزرگواری که در طول دوران تحصیل از محضر ایشان استفاده نمودم قدر دانی  
نموده و برای همه آنان سعادت و سلامتی آرزو می‌نمایم. از زحمات استاد گرانقدر جناب آقای  
دکتر کلانتری که راهنمایی پایان نامه اینجانب را تقبل نموده و هم‌چنین جناب آقای دکتر  
آروین مشاور محترم کمال تشکر را دارم.

از سرکارخانم دکتر پورابولی؛ ریاست محترم گروه زیست‌شناسی و تمامی کارمندان بخش  
زیست‌شناسی نهایت تشکر را دارم.

از کلیه مسئولین محترم مرکز علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی کرمان به خاطر  
امکان استفاده از امکانات آزمایشگاهی مرکز بی‌نهایت سپاس گزارم.

از سرکار خانم موسوی و آقای مهندس ترک زاده و جناب آقای اخگر به خاطر مساعدت‌های  
فراوان و همکاری‌های دلسوزانه‌شان تقدیر می‌نمایم.

از مساعدت اساتید گرامی جناب آقای دکتر قادریان، جناب آقای دکتر احسانپور و سرکار  
خانم دکتر رضا نژاد که زحمت داوری این رساله را تقبل نمودند و هم‌چنین جناب آقای دکتر  
عباس نژاد بی‌نهایت سپاس گزارم.

از مساعدت دوستان عزیزم در طول دوره تحصیل کمال تشکر را دارم.

در نهایت از خانواده گرامیم تشکر و قدر دانی می‌کنم که همواره مشوق من بوده‌اند.

از درگاه خداوند کریم برای روح مرحوم مهندس افضلی پور و همسر ایشان و هم‌چنین پدر  
و برادر عزیزم طلب غفران و علو درجات می‌نمایم و امیدوارم که روح آنها با مقربان حضرت  
دوست هم‌نشین گردد.

## چکیده:

کادمیوم به عنوان آلاینده محیطی و یک فلز سنگین باعث ایجاد سمیت در موجودات زنده می گردد.

جاسمونات ها یک گروه از تنظیم کننده های رشد گیاهی می باشند که سبب ایجاد پاسخ های متفاوتی در گیاهان می گردند.

در پژوهش حاضر، اثرات متیل جاسمونات (۰، ۰/۰۱ و ۰/۱ میلی مولار) و کادمیوم کلراید (۰ و ۵۰۰ میکرو مولار) بر رشد و برخی پارامترهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در آزمایش های جداگانه، به صورت (A) تیمار هم زمان متیل جاسمونات و کادمیوم (B) تیمار با تقدم متیل جاسمونات و (C) تیمار گیاهان با تقدم کادمیوم در گیاه سویا مورد مطالعه قرار گرفت.

در گیاهان تیمار شده با کادمیوم، وزن خشک اندام هوایی و ریشه، مقدار کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها در مقایسه با گیاهان کنترل کاهش یافت. کاربرد متیل جاسمونات (به ویژه غلظت ۰/۰۱ میلی مولار) در شرایط تیمار هم زمان متیل جاسمونات و کادمیوم (A) و تیمار با تقدم جاسمونات (B)، باعث افزایش وزن خشک و مقدار رنگیزه های فتوسنتزی نسبت به گیاهانی که فقط تحت تیمار کادمیوم بودند گردید. ولی در شرایط آزمایش (C) هیچ کدام از غلظت های متیل جاسمونات نتوانست اثرات منفی کادمیوم را کاهش دهد.

علاوه بر این کادمیوم، مقدار مالون دآلدئید، آب اکسیژنه و اتیلن را در برگ و ریشه گیاهان تیمار شده افزایش داد، در حالی که غلظت پایین متیل جاسمونات باعث تخفیف خسارات کادمیوم در شرایط تیمار هم زمان و تیمار با تقدم جاسمونات گردید.

کادمیوم در اکثر موارد باعث کاهش مقدار قند و پروتئین در برگ و ریشه گیاهان سویا گردید، اما متیل جاسمونات باعث تعدیل این کاهش در گیاهان تحت تیمار با کادمیوم شد.

در هر سه آزمایش انجام شده، تیمار با متیل جاسمونات در غلظت ۰/۰۱ میلی مولار باعث افزایش آنتی اکسیدان های غیر آنزیمی از جمله گلوکاتایون احیا، آنتوسیانین ها و سایر ترکیبات فنلی در برگ گیاهان تیمار شده با کادمیوم گردید.

در آزمایشات با شرایط (A) و (B)، متیل جاسمونات باعث کاهش محتوای آسکوربیک اسید و افزایش مقدار دهیدرو آسکوربیک اسید در گیاهان تحت تنش با کادمیوم گردید. هم چنین متیل جاسمونات فعالیت آنزیم های آنتی اکسیداتیو مانند کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و گلوکاتایون ردوکتاز را در این گیاهان افزایش داد. افزایش در مقدار گلوکاتایون، ترکیبات فنلی و آنزیم های آنتی اکسیداتیو نشان دهنده نقش دفاعی این ترکیبات در کاهش میزان گونه های فعال اکسیژن می باشد.

بنا بر این، زمان مصرف و غلظت متیل جاسمونات بر موثر بودن آن اثر داشت. به طوری که کاربرد آن در غلظت پایین (۰/۰۱ میلی مولار) در آزمایش های (A) و (B)، به طور چشم گیری باعث تخفیف اثرات منفی ناشی از تنش کادمیوم می گردد، ولی اگر بعد از اعمال تنش استفاده شود (آزمایش C) اثری بر بهبود صدمات کادمیوم نخواهد داشت.

## فصل اول: مقدمه

۱	مقدمه
۱-۱	فلزات سنگین
۱-۱-۱	کادمیوم
۱-۱-۲	منابع آلودگی
۱-۱-۳	جذب و انتقال کادمیوم در گیاهان
۲-۱	جاسمونات ها
۱-۲-۱	بیوسنتز جاسمونات در گیاهان
۲-۲-۱	فرم های ایزومری جاسمونیک اسید
۳-۱	اثرهای کادمیوم و جاسمونات بر گیاهان
۱-۳-۱	تقسیم سلولی
۲-۳-۱	بیوماس
۳-۳-۱	فتوسنتز
۴-۳-۱	رنگیزه های فتوسنتزی
۵-۳-۱	کاروتنوئیدها
۶-۳-۱	محتوای پروتئین
۷-۳-۱	پروتئین های تنش
۸-۳-۱	سنتز فیتوکلاتین ها
۹-۳-۱	تولید اتیلن
۱۰-۳-۱	تولید گونه های فعال اکسیژن
۱۱-۳-۱	پراکسیداسیون لیپید های غشاء
۴-۱	مکانیسم های دفاعی آنزیمی گیاه
۱-۴-۱	سوپر اکسید دیسموتاز
۲-۴-۱	کاتالاز
۳-۴-۱	آسکوربات پراکسیداز
۴-۴-۱	گایاکول پراکسیداز
۵-۴-۱	گلوتاتیون ردوکتاز
۵-۱	مکانیسم دفاع غیر آنزیمی
۱-۵-۱	آسکوربیک اسید
۲-۵-۱	گلوتاتیون احیا
۳-۵-۱	ترکیبات فنلی



۳۵ ..... ۴-۵-۱- آنتوسیانین ها

### فصل دوم : مواد و روش های آزمایشگاهی

- ۳۷ ..... ۲- مواد و روش های آزمایشگاهی
- ۳۷ ..... ۲-۱- تهیه و انتخاب بذرهای گیاه مورد پژوهش
- ۳۷ ..... ۲-۲- کشت گیاه
- ۳۸ ..... ۲-۳- شرایط نور و دما برای کشت گیاه مورد آزمایش
- ۳۸ ..... ۲-۴- نحوه اعمال تیمارها
- ۳۹ ..... ۲-۵- اندازه گیری وزن خشک ریشه واندام هوایی
- ۳۹ ..... ۲-۶- اندازه گیری مقدار رنگیزه های گیاهی
- ۳۹ ..... ۲-۶-۱- سنجش مقدار کلروفیل و کاروتنوئید
- ۳۹ ..... ۲-۶-۲- سنجش مقدار آنتوسیانین ها
- ۴۰ ..... ۲-۷- اندازه گیری مقدار پراکسیداسیون لیپیدها
- ۴۰ ..... ۲-۷-۱- سنجش غلظت مالون دآلدئید
- ۴۱ ..... ۲-۷-۱- سنجش غلظت سایر آلدئیدها
- ۴۱ ..... ۲-۸- اندازه گیری مقدار پراکسید هیدروژن
- ۴۲ ..... ۲-۹- اندازه گیری مقدار قندهای محلول
- ۴۳ ..... ۲-۱۰- تعیین مقدار آسکوربات و آسکوربات کل
- ۴۵ ..... ۲-۱۱- اندازه گیری مقدار گلوکاتایون احیا
- ۴۵ ..... ۲-۱۲- سنجش محتوای پلی فنل کل
- ۴۶ ..... ۲-۱۳- سنجش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیداتیو
- ۴۶ ..... ۲-۱۳-۱- تهیه عصاره
- ۴۷ ..... ۲-۱۳-۲- سنجش فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز
- ۴۸ ..... ۲-۱۳-۳- سنجش فعالیت کاتالاز
- ۴۹ ..... ۲-۱۳-۴- سنجش فعالیت گلوکاتایون ردوکتاز
- ۴۹ ..... ۲-۱۳-۵- سنجش فعالیت گایاکول پراکسیداز
- ۵۰ ..... ۲-۱۳-۶- سنجش فعالیت آسکوربات پراکسیداز
- ۵۰ ..... ۲-۱۴- سنجش مقدار پروتئین کل
- ۵۱ ..... ۲-۱۴-۱- تهیه معرف بیوره
- ۵۱ ..... ۲-۱۵- اندازه گیری اتیلن در برگ های قطع شده گیاه
- ۵۳ ..... ۲-۱۶- سنجش میزان کادمیوم

۱۷-۲-آنالیز آماری.....۵۳

### فصل سوم : نتایج

۳-نتایج حاصل از بررسی اثر متیل جاسمونات و کادمیوم بر:

- ۱-۳-میزان جذب و تجمع کادمیوم در برگ و ریشه ..... ۵۴
- ۲-۳-وزن خشک اندام هوایی ..... ۵۷
- ۳-۳-وزن خشک ریشه..... ۶۰
- ۴-۳-رنگیزه های فتوسنتزی(کلروفیل a ) ..... ۶۳
- ۵-۳- کلروفیل b ..... ۶۶
- ۶-۳- کلروفیل کل و کاروتنوئید ..... ۶۹
- ۷-۳-اندازه گیری محتوای آنتوسیانین ..... ۷۳
- ۸-۳-اندازه گیری محتوای مالون دآلدئید و سایر آلدئید های تولید شده در برگ..... ۷۴
- ۹-۳-اندازه گیری محتوای مالون دآلدئید و سایر آلدئید های تولید شده در ریشه ..... ۷۷
- ۱۰-۳-اندازه گیری محتوای پراکسید هیدروژن در برگ و ریشه ..... ۸۳
- ۱۱-۳-اندازه گیری محتوای قند کل در برگ و ریشه ..... ۸۷
- ۱۲-۳-اندازه گیری مقدار پروتئین در برگ و ریشه ..... ۹۱
- ۱۳-۳-اندازه گیری مقدار آسکوربات در برگ و ریشه ..... ۹۳
- ۱۴-۳-اندازه گیری مقداردهیدرو آسکوربات در برگ و ریشه ..... ۹۹
- ۱۵-۳-اندازه گیری محتوای گلوکاتایون احیا در برگ و ریشه ..... ۱۰۳
- ۱۶-۳-اندازه گیری میزان ترکیبات فنلی ..... ۱۰۶
- ۱۷-۳-نتایج حاصل از اثر متیل جاسمونات و کادمیوم بر فعالیت آنزیم ها ..... ۱۱۰
- ۱-۱۷-۳-سوپر اکسید دیسموتاز در برگ ..... ۱۱۰
- ۲-۱۷-۳-سوپر اکسید دیسموتاز در ریشه ..... ۱۱۳
- ۳-۱۷-۳-اندازه گیری فعالیت کاتالاز در برگ ..... ۱۱۴
- ۴-۱۷-۳-اندازه گیری فعالیت کاتالاز در ریشه ..... ۱۱۶
- ۵-۱۷-۳-اندازه گیری فعالیت گلوکاتایون ردوکتاز در برگ ..... ۱۱۸
- ۶-۱۷-۳-اندازه گیری فعالیت گلوکاتایون ردوکتاز در ریشه ..... ۱۲۰
- ۷-۱۷-۳-اندازه گیری فعالیت آسکوربات پر اکسیداز در برگ و ریشه..... ۱۲۲
- ۸-۱۷-۳-فعالیت گایاکول پر اکسیداز در برگ و ریشه ی گیاه سویا ..... ۱۲۳

۱۲۸ ..... ۱۸-۳- نتایج حاصل از اثر متیل جاسمونات و کادمیوم بر مقدار اتیلن

### فصل چهارم : بحث

۴- بحث و نتیجه گیری

۱۳۰ ..... ۴-۱- جذب و انتقال کادمیوم در گیاه

۱۳۱ ..... ۴-۲- وزن خشک برگ و ریشه

۱۳۳ ..... ۴-۳- رنگیزه های فتوسنتزی

۱۳۶ ..... ۴-۴- آنتوسیانین ها

۱۳۷ ..... ۴-۵- پراکسیداسیون لیپید

۱۳۹ ..... ۴-۶- محتوای پراکسید هیدروژن

۱۴۱ ..... ۴-۷- محتوای قند

۱۴۲ ..... ۴-۸- محتوای پروتئین ها

۱۴۴ ..... ۴-۹- آسکوربات و دهیدروآسکوربات

۱۴۶ ..... ۴-۱۰- محتوای گلوکاتایون

۱۴۷ ..... ۴-۱۱- ترکیبات فنلی

۱۴۹ ..... ۴-۱۲- سوپر اکسید دیسموتاز

۱۵۱ ..... ۴-۱۳- کاتالاز

۱۵۳ ..... ۴-۱۴- پراکسیدازها

۱۵۵ ..... ۴-۱۵- گلوکاتایون ردوکتاز

۱۵۷ ..... ۴-۱۶- اتیلن

۱۶۲ ..... منابع

۱۷۸ ..... ضمیمه

## ۱- مقدمه

### ۱-۱- فلزات سنگین

فلزات سنگین به گروهی از فلزات گفته می‌شود که چگالی آنها بیش از ۶ گرم بر سانتی متر مکعب باشد. موجودات زنده به مقادیر بسیار کمی از برخی از این فلزات شامل کبالت، منگنز، آهن، مس، روی و مولیبدن نیاز دارند. این فلزات به صورت گروه استخلافی در آنزیم‌ها (به عنوان کو آنزیم)، غشاها و کمپلکس‌ها قرار گرفته‌اند. درست است که مقادیر بسیار کم این فلزات ضروری می‌باشد اما غلظت زیاد آنها سبب مهار فعالیت سلولی و رشد در گیاهان می‌گردد (Hall, 2002). برخی از فلزات سنگین مانند کادمیوم، کروم، سرب، نقره، اورانیوم و آلومینیوم غیر ضروری بوده و آلودگی خاک‌ها و آب‌ها با این فلزات مشکلات جدی برای محیط و سلامتی انسان به وجود می‌آورد (Dobar et al., 2006).

### ۱-۱-۱- کادمیوم

تمام خاک‌ها، سنگ‌ها و کودهای معدنی به خصوص کودهای فسفوره و نیتروژنه مقادیری از کادمیوم را در خود دارند (Babula et al., 2009). هم‌چنین این فلز به شکل ذرات کوچکی در هوا و آب نیز وجود دارد (Dobar et al., 2006).

### ۱-۱-۲- منابع آلودگی

منابع مهم تولید کننده کادمیوم عبارتند از:

۱- منابع طبیعی: شامل خروج ماده معدنی از سنگ بستر

۲- منابع صنعتی: شامل معادن، فعالیت‌های صنعتی و فاضلاب صنایع

۳- منابع شهری و کشاورزی: شامل آلودگی های ناشی از احتراق سوخت های فسیلی، رنگ ها، باتری ها و آلودگی ناشی از کودهای کشاورزی به خصوص کودهای فسفره می باشد (Babula et al., 2009 ; Mathew et al., 2002).

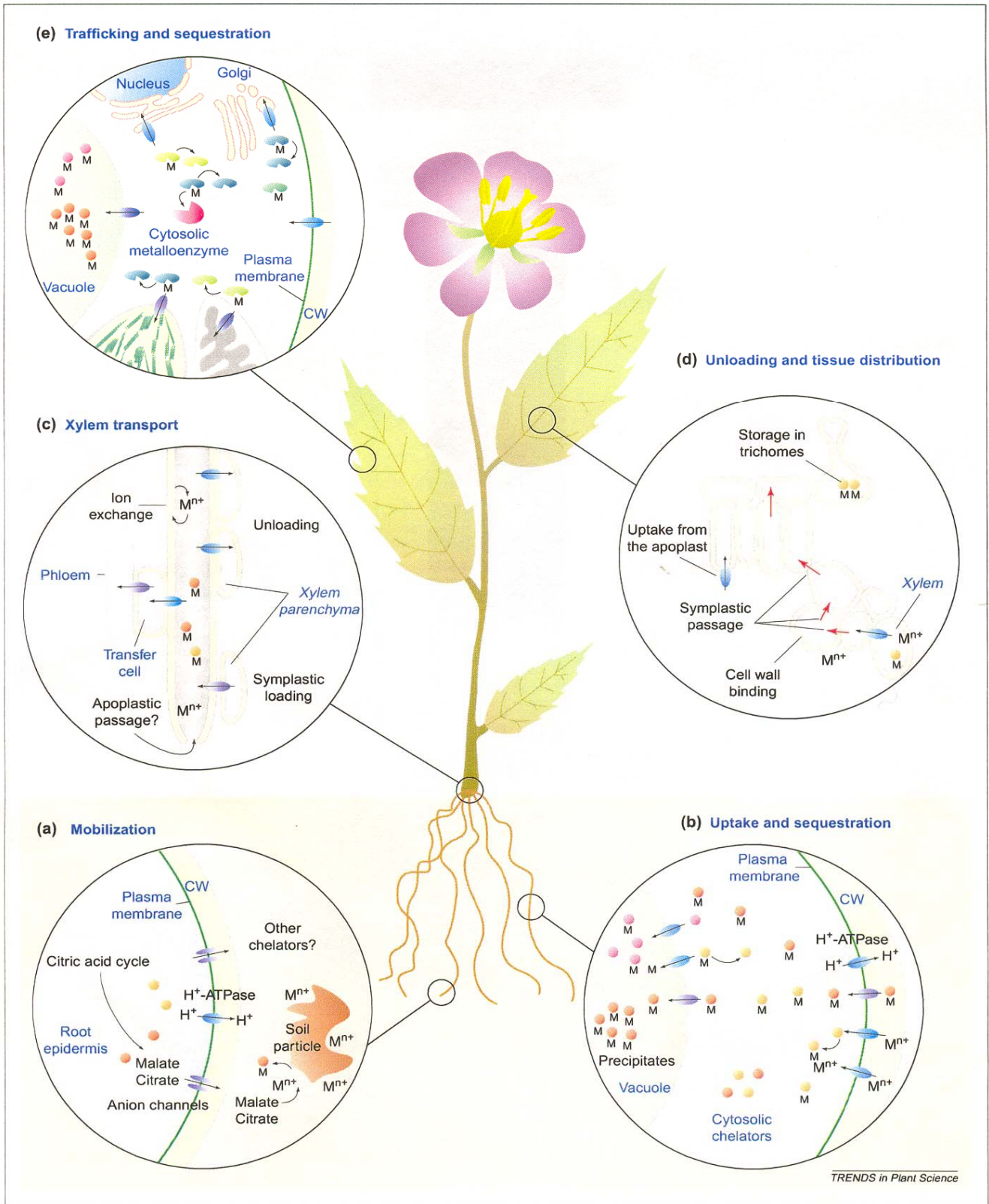
### ۱-۱-۳- جذب و انتقال کادمیوم در گیاهان

کادمیوم برای ورود به سلول در ابتدا به دیواره سلولی باند می شود، سپس از طریق کانال ها یا ناقلان کاتیون های دو ظرفیتی از عرض غشاء سلولی عبور می نماید. البته پتانسیل غشایی سلول های اپیدرمی ریشه هم نیروی زیادی جهت جذب کاتیون ها از طریق ناقلین ایجاد می نمایند. در سال های اخیر چندین ناقل کاتیونی شناخته شده اند که مهم ترین آنها در جذب یون های کادمیوم، ناقلین ZIP می باشند. از جمله این ناقلین که نقش مهمی در جذب کادمیوم از خاک دارند IRT1 می باشد و بعضی دیگر مانند NRAMP ها در انتقال کادمیوم به درون واکوئل نقش دارند (Verbruggen et al., 2009).

گزارش شده است که کادمیوم پس از ورود به ریشه از طریق آپوپلاست یا سیم پلاست وارد آوند چوبی می گردد (شکل ۱) و با چندین لیگاند مثل اسیدهای آلی، آمینو اسیدها و فیتوکلاتین ها ترکیب می شود. یون های فلزی و یا کمپلکس کلات-فلز پس از رسیدن به برگ از طریق پلاسمودسماتا واز سلولی به سلول دیگر منتقل می شوند و پس از جذب در سلول های برگ توزیع داخل سلولی اتفاق می افتد (Clemens et al., 2002).

البته با توجه به گونه گیاهی میزان تجمع کادمیوم در قسمت های مختلف گیاه متفاوت می باشد. چنان که در اکثر گیاهان گزارش شده است کادمیوم در ریشه باقی می ماند و به میزان کمی به اندام هوایی منتقل می شود. برعکس در تربچه کادمیوم به طور عمده به برگ و ساقه انتقال می یابد و تجمع این یون در ریشه مشاهده نگردیده است، هم چنین در کدو حلوایی گزارش شده است که میوه عاری از کادمیوم می باشد (Azimi et al., 2006).

کادمیوم یکی از فلزات سنگین است که باعث ممانعت رشد و کاهش بازده تولیدات گیاهی می شود. گزارش هایی وجود دارد که ترکیبات مختلفی جهت بهبود تنش ناشی از فلزات سنگین از جمله کادمیوم در گیاهان به کار برده شده است از جمله: کاربرد سالیسیلیک اسید در گیاه برنج (Choudhury and Panda, 2004)، در گیاهچه های جو (Metwally et al., 2003) و در گیاهان *Matricaria chamomilla* (Kovacik et al., 2009)، کاربرد کینتین در گیاهچه های نخود (Hakimi, 2007)، استفاده از برازینواستروئید در *Brassica juncea* (Hayat et al., 2007)، کاربرد جاسمونات در *Wolffia arrhiza* (Piotrowska et al., 2009) و استفاده از اسید جیبرلیک در لوبیا چشم بلبلی (Rumaih et al., 2003). نتایج حاصل از تحقیقات ذکر شده نشان داده است که کاربرد این ترکیبات تا حدودی موفقیت آمیز بوده است. از آنجائی که در زمینه اثر متیل جاسمونات بر تخفیف احتمالی صدمات ناشی از کادمیوم در گیاهان مطالعات زیادی صورت نگرفته است، در این پژوهش به بررسی این مهم پرداخته شد.



شکل ۱: مکانیسم جذب، انتقال و تجمع فلزات سنگین از جمله کادمیوم در گیاهان. (a) یون های فلزی از طریق ترشح کلاتورهای ریشه به محیط یا اسیدی شدن ریزوسفر قابلیت تحرک پیدا می کنند. (b) جذب یون های فلزی هیدراته یا کمپلکس کلات-فلز به وسیله انواع سیستم های جذب موجود در غشا پلاسمایی. در پیرامون سلول، انتقال فلزات کلاته شده به داخل واکوئل نشان داده شده است. (c) انتقال فلزات از ریشه و ورود آن ها به اندام هوایی از طریق آوندهای چوبی انجام می گیرد. احتمالاً "بخش وسیعی از این انتقال از مسیر سیم پلاست می باشد. مسیر آپوپلاستی بیشتر در نوک ریشه دیده می شود. (d) یون های فلزی و یا کمپلکس کلات-فلز بعد از رسیدن به برگ از طریق پلاسمودسماتا، از سلولی به سلول دیگر منتقل می شوند و بخشی در تریکوزوم ذخیره می گردند. (e) پس از جذب در سلول های برگ دوباره تجزیه صورت گرفته و توزیع داخل سلولی رخ می دهد (Clemens et al., 2002).

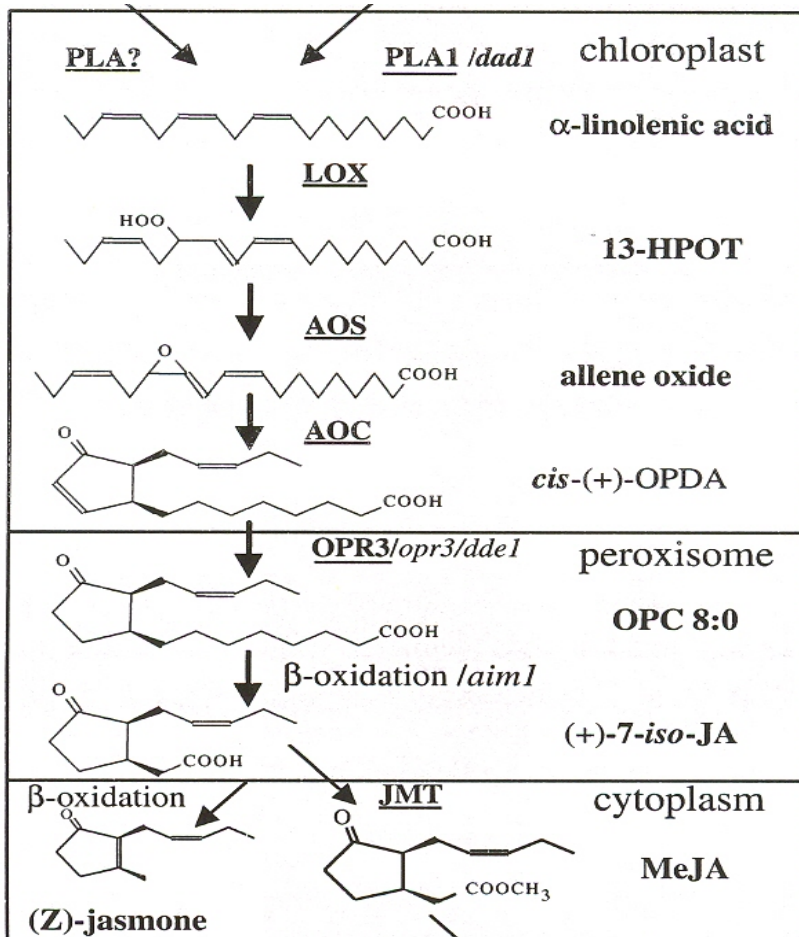


## ۲-۱- جاسمونات ها

جاسمونیک اسید (JA) و متیل استر آن (متیل جاسمونات) ترکیبات مشتق شده از سیکلوپنتان لینولنیک اسید می باشند که در تنظیم فرآیند رشد و نمو گیاهان تاثیر دارند (Leon and Sanchez-Serrana, 1999).

## ۱-۲-۱- بیوسنتز جاسمونات در گیاهان

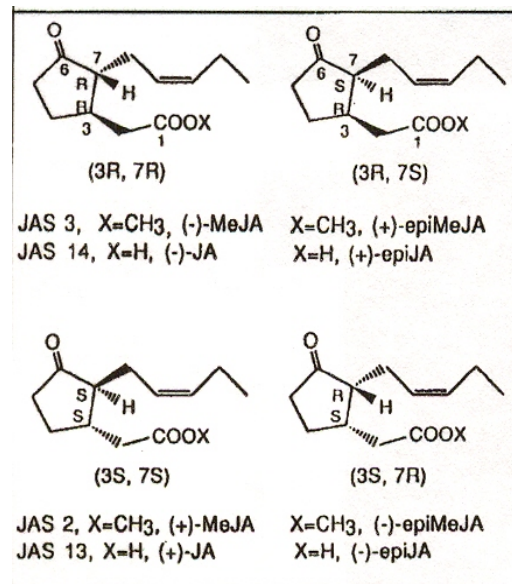
جاسمونات ها از مسیر اکتادکانوئید ساخته می شوند که در این مسیر لینولنیک اسید به جاسمونیک اسید تبدیل می شود (Leon and Sanchez-Serrana 1999). چنان که در شکل ۲ مشاهده می شود، بیوسنتز جاسمونیک با اثر فسفو لیپاز  $A_1$  بر غشاء لیپیدی و تولید لینولنیک اسید شروع می شود، که این اسید چرب تحت تاثیر آنزیم لیپواکسیژناز (LOX) به ۱۳-هیدروپراکسی لینولنیک اسید (HPOT-۱۳) تبدیل می شود. ۱۳-هیدروپراکسی لینولنیک اسید به عنوان گهرمایه برای آنزیم آلن اکسید سنتتاز (AOS) می باشد. در مرحله بعد آنزیم آلن اکسید سنتتاز که در کلروپلاست قرار دارد یک اپوکسید ناپایدار به نام اپوکسی لینولنیک اسید تولید و در ادامه مسیر بیوسنتزی آنزیم آلن اکسید سیکلاز (AOC)، اکسو فیتو دینوئیک اسید (OPDA) را تولید می کند. این قسمت از مسیر بیوسنتزی در کلروپلاست توسط آنزیم های LOX، AOS و AOC کاتالیز می شود. اما آنزیم اکسو فیتو دینوئیک اسید ردوکتاز (OPR) در پراکسیزوم قرار دارد، بنابراین گهر مایه آن یعنی OPDA باید از کلروپلاست به پراکسیزوم انتقال یابد تا اکسوسیکلوپنتان اکتانوئیک اسید (OPC) تولید گردد. در ادامه مسیر، سه بتا اکسیداسیون اتفاق می افتد و ژاسمونیک اسید تولید می شود (Devoto and Turner, 2005).



شکل ۲: بیوسنتز جاسمونات در گیاهان (Devoto and Turner, 2005)

## ۱-۲-۲- فرم های ایزومری جاسمونیک اسید

این ماده دارای دو کربن کایرال (۳ و ۷) و ۴ استرو ایزومر می باشد که ایزومر های آن در شکل ۳ نشان داده شده اند. به دلیل این که هر کدام از ایزومرهای جاسمونیک اسید تاثیر متفاوتی بر عملکرد سلول ها و بافت های گیاهی نشان داده اند، به طور معمول جاسمونیک اسید و متیل جاسمونات (MeJA) مورد استفاده در مطالعات زیست شناسی، ترکیبی از چهار ایزومر مختلف می باشد (Holbrook et al., 1997).



شکل ۳: فرم های ایزومری جاسمونیک اسید (Holbrook et al., 1997)

جاسمونات ها به طور معمول در برگ های جوان، گل ها و میوه ها به وفور یافت می شوند و در پاسخ گیاه به استرس های محیطی نقش مهمی ایفا کرده و موجب کاهش خسارات ناشی از تنش های محیطی در گیاه می شوند (Creelman and Mullet, 1995). چنانچه گزارش شده است که کاربرد جاسمونات در غلظت  $0.1 \mu\text{M}$ ، باعث کاهش صدمات ناشی از سمیت سرب در نوعی عدسک آبی گردیده است (Piotrowska et al., 2009).

گزارشات دیگر از جمله تاثیر متیل جاسمونات بر کاهش خسارات ناشی از تنش کم آبی در توت فرنگی (Wang, 1999) و ذرت (Li et al., 1998) و هم چنین اثر بر سازگاری گیاه جو به تنش شوری (Walia et al., 2007) بیانگر کارآیی ترکیب فوق در زمینه کاهش خسارات ناشی از تنش های محیطی در گیاهان می باشد.

### ۱-۳- اثرهای کادمیوم و جاسمونات بر گیاهان

#### ۱-۳-۱- تقسیم سلولی

کادمیوم بر تقسیم و رشد سلول ها تاثیر می گذارد. گزارش شده است که کادمیوم بر فاز G<sub>2</sub> سیکل سلولی در محیط کشت سلول های سویا (*Glycine max*) تاثیر بازدارنده دارد. این بازدارندگی از طریق تاثیر بر بیان ژن های Cyclin B<sub>1</sub> می باشد (Sobkowiak and Deckert, 2003).

Duchovskis و همکاران (۲۰۰۶) نیز گزارش کرده اند که فلز سنگین کادمیوم در گیاه گوجه فرنگی مانع تقسیم سلولی گردیده است. این تحقیق نشان داده است که در سلول های مریستمی ریشه ی این گیاه میتوز، با نا بهنجاریهایی از جمله شکست کروموزومی، قطعه قطعه شدن، اتصال، حذف کروموزومی و تقسیم غیر طبیعی هسته همراه می باشد (Duchovskis et al., 2006). هم چنین گزارش شده است که کادمیوم سلول های در حال تقسیم میتوزی در پیاز و باقلا را کاهش داده است (Unyayar et al., 2006).

در مقابل، Capitani و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند کاربرد متیل جاسمونات در غلظت های ۱۰-۱۰۰ μM در محیط کشت سلول های تنباکو، به شدت فعالیت میتوزی را در روزهای دوم تا پنجم پس از تیمار افزایش داده است (Capitani et al., 2005). هم چنین گزارش شده است، در برخی بافت های گیاه سویا از جمله هیپوکوتیل، گل ها و بذرهای در حال جوانه زنی، غلظت های بالای جاسمونات مشاهده گردیده است (Creelman and Mullet, 1995). وجود