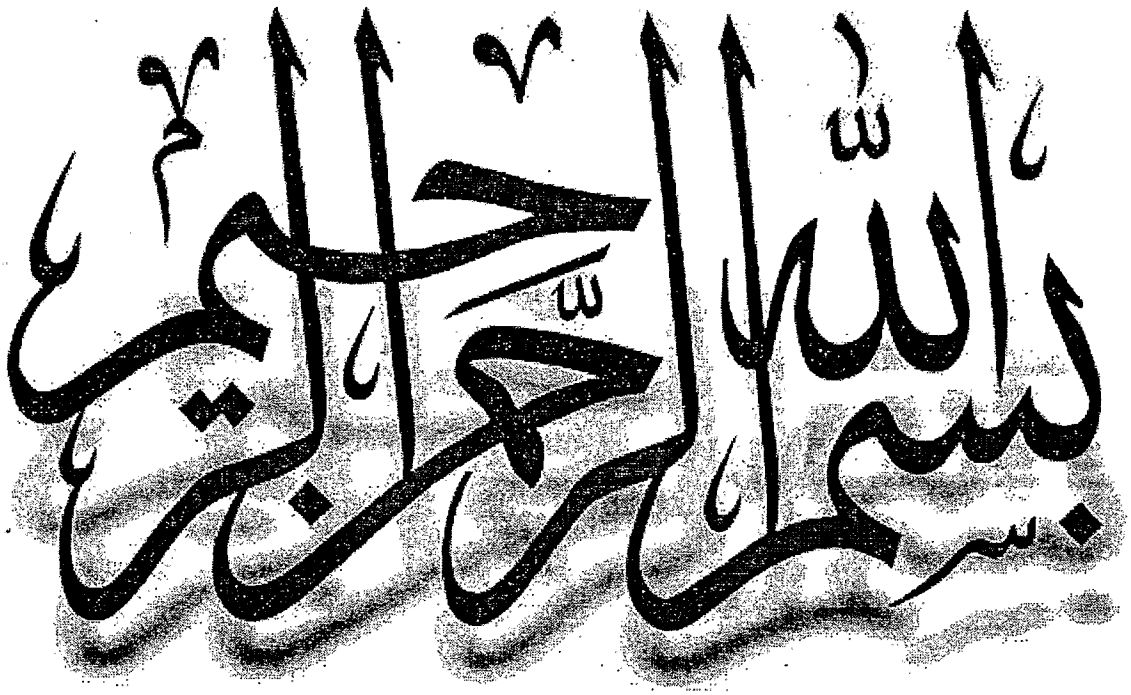

١٠٤١٤٤

۸۷/۱/۱۰۵۲۷۱
۸۷/۱۱/۱۹

دانشگاه تربیت معلم

دانشکده علوم-گروه زیست شناسی

پایان نامه

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته زیست شناسی- علوم گیاهی

گرایش فیزیولوژی گیاهی

عنوان

اثرات برهم کنش کادمیوم و آهن برروی رشد و فتوسنتز گیاه برنج (*Oryza sativa* L.)

استاد راهنما

جناب آقای دکتر رمضانعلی خاوری نژاد

استاد مشاور

سرکارخانم دکتر فرزانه نجفی

۱۳۸۷ /۹/ ۱۱

نگارش

مائده رضائی

آبان ۱۳۸۷

۱۰۴۱۴۴

تقدیم به

بهانه های بودنم

پدر و مادر عزیزم

و

همسر مهربانم

تشکر و قدردانی

سپاس فراوان از :

*** خداوندی که تنها پناهم در زندگیست ***

خالصانه ترین مراتب سپاس و قدرشناسی تقدیم به خانوادهٔ خوبم :
پدر و مادر عزیزم که درتمام طول زندگی زحمات ودعای خیرشان موجب سربلندی وموفقیتم بود.
همسر خوب و صبورم که در تمام مراحل انجام پایان نامه، کمک، همراه و مشوق من بود.
خواهر خوبم و همسر ایشان که از کمکشان در طی انجام تحقیق بسیار بهره بردم.
برادر عزیزم که همیشه مشکل گشای مشکلاتم بوده است .
خانوادهٔ خوب همسرم که همراه و مشوق من بوده اند.

صمیمانه ترین مراتب تشکر خود را تقدیم استاد گرانقدرم جناب آقای دکتر رمضانعلی خاوری نژاد که در طول انجام پروژه حاضر از رهنمودهای سازنده خویش مرا بهره مند ساخته اند، می نمایم.
امیدوارم که نظم و وجدان پاک علمی ایشان همواره سرمشق اینجانب در زندگی باشد.

گرامی ترین مراتب سپاس خود را تقدیم استاد بزرگوارم سرکار خانم دکتر فرزانه نجفی می نمایم که در تمام مراحل انجام این پژوهش از تعالیم و راهنمایی های بی دریغشان بهره مند بوده ام و از اینکه مشاورت این پایان نامه را پذیرفتند، نهایت تشکر را دارم.

از اساتید ارجمندم جناب آقای دکتر فرخ قهرمانی نژاد و جناب آقای دکتر حسین شاکر که مطالعه و داوری این پایان نامه را پذیرفتند کمال تشکر را دارم.

از سرکار خانم دکتر شهربانو عریان مدیر محترم گروه زیست شناسی، به خاطر مساعدت های ایشان در طول انجام این پروژه بسیار ممنونم.

از جناب آقای دکتر مسعود بوجار و آقای دکتر محمد نبیونی به دلیل همکاری و مساعدتشان در استفاده از لوازم آزمایشگاه های مربوطه نهایت تشکر را دارم.

از کلیه اساتید گروه زیست شناسی دانشگاه مازندران که در طی دورهٔ کارشناسی افتخار شاگردی شان را داشتم و مرا به ادامهٔ تحصیل تشویق و ترغیب نمودند، بسیار سپاسگزارم.

از دوستان گرانقدرم خانم ها اکرم قربانپور ، معصومه سیاه علی ، فریده حسنجان زاده و دیگر دوستانم که هر یک به نحوی مرا در انجام این پژوهش بسیار یاری نمودند، صمیمانه تشکر و قدردانی می نمایم.

چکیده

تاثیر متقابل کلرید کادمیوم در غلظت های ۰ ، ۵۰ و۱۰۰ میکرومولار و Fe-EDTA با غلظت آهن ۵ ، ۱۰ و۲۰ پی پی ام بر روی برخی از پارامترهای فیزیولوژیکی گیاه برنج مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان داد که افزایش کادمیوم موجب کاهش میزان رشد نسبی(RGR)، میزان همگون سازی خالص(NRA)، میزان رشد نسبی برگ(RLGR)، سطح ویژه برگی(SLA) و محتوای آب برگ در واحد سطح(LWCA) گردید و آهن در شرایط تنش کادمیوم، آثار کادمیوم را تا اندازه ای بهبود داد. همچنین افزایش کادمیوم با کاهش شدت فتوسنتز، غلظت کلروفیل ها، کاروتنوئیدها و افزایش شدت تنفس و نقطهٔ جبران CO_2 فتوسنتزی برگ ها همراه بود. آهن در شرایط تنش کادمیوم موجب افزایش شدت فتوسنتز، غلظت کلروفیل ها، کاروتنوئیدها و کاهش شدت تنفس و نقطهٔ جبران CO_2 گردید. با افزایش کادمیوم محتوای نسبی آب برگ ها کاهش یافت و آهن افزوده شده موجب تعدیل اثر کادمیوم گردید. کادمیوم موجب کاهش غلظت قندهای محلول و نامحلول اندام هوایی گردید و با افزودن آهن، آثار کادمیوم تعدیل شد و غلظت کربوهیدرات ها افزایش یافت. همچنین کادمیوم موجب افزایش میزان پراکسیداسیون لیپید ریشه وغلظت پرولین اندام هوایی گردید و حضور آهن در شرایط تنش کلرید کادمیوم موجب کاهش این دو پارامتر شد. غلظت پروتئین کل اندام هوایی در غلظت ۵۰ میکرومولار کادمیوم افزایش و در غلظت ۱۰۰ میکرومولار، کاهش نشان داد. در نتیجهٔ برهمکنش آهن و کادمیوم، کاهش پروتئین کل اندام هوایی مشاهده شد. با افزایش غلظت کادمیوم، فعالیت آنزیم های کاتالاز و پراکسیداز اندام هوایی افزایش یافت و آهن افزوده شده موجب کاهش آن ها گردید. نتایج نشان داد که با افزایش یون آهن به محیط گیاهان تیمار شده با کلرید کادمیوم، اثرات سمی کادمیوم کاهش می یابد.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

۱-۱- مشخصات تیره گندمیان ۱

۱-۲- گیاه برنج ۱

۱-۲-۱- مشخصات گیاه برنج ۱

۱-۲-۲- تاریخچه و اهمیت اقتصادی ۲

۱-۲-۳- شرایط مناسب برای کشت برنج ۳

۱-۳- عناصرسنگین ۳

۱-۳-۱- انتقال فلزات سنگین درگیاهان ۵

۱-٤- عنصرکادمیوم ٦

۱-٥- اثرات کادمیوم بربدن انسان ٦

۱-٦- جذب و انتقال کادمیوم درگیاهان ۷

۱-۷- اثرات سمیت کادمیوم درگیاهان عالی ۷

۱-۸- پاسخ به تنش کادمیوم درسطح سلولی ۱۰

۱-۸-۱- فیتوکلاتین ها و پاسخ به تنش کادمیوم ۱۰

۱-۸-۲- متالوتیونین ها و پاسخ به تنش کادمیوم ۱۱

۱-۹- اثرات متقابل کادمیوم و سایریون ها ۱۱

۱-۹-۱- کادمیوم و فلزروی ۱۲

۱-۹-۲- کادمیوم و فلزگوگرد ۱۲

۱-۱۰- آهن وقابلیت جذب آن توسط گیاه ۱۳

۱-۱۱- نقش فیتوسیدروفورها درگیاهان گرامینه وبرهمکنش آن با کادمیوم ۱۵

۱-۱۱-۱- فیتوسیدروفورهای سنتزی ۱٦

۱-۱۲- اساس مولکولی انتقال فلزات از غشای پلاسمایی ۱٦

فصل دوم : مواد و روش ها

۲-۱- دستگاه های مورد نیاز ۱۹

۲-۲- ابزار و مواد شیمیایی مورد نیاز ۱۹

۲-۳- روش کاشت ونگهداری گیاه ۲۲

۲-٤- مراقبت های بعداز کاشت ۲۳

۲-٥- آنالیز رشد ۲۸

۲-٦- آنالیز گازی ۳۰

۲-۷- سنجش رنگیزه های فتوسنتزی ۳۱

۲-۸- تعیین محتوای نسبی آب برگ ها ۳۳

۲-۹- سنجش کربوهیدرات ها ۳۳

۲-۱۰- سنجش میزان مالون دی آلدهید ۳٥

۲-۱۱- سنجش میزان پرولین ۳٥

۲-۱۲- سنجش پروتئین کل ۳٦

۲-۱۳- سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز ۳۸

۲-۱٤- سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز ۳۸

۲-۱٥- محاسبات آماری ۳۹

فصل سوم : نتایج

۳-۱- نتایج مربوط به رشدوتولید گیاهی ٤۰

۳-۲- نتایج مربوط به آنالیز گازی ٤٤

۳-۳- نتایج مربوط به رنگیزه های فتوسنتزی ٤٥

۳-٤- نتایج مربوط به محتوای نسبی آب برگ ها ٤۷

۳-٥- نتایج مربوط به کربوهیدرات های اندام هوایی ٤۷

۳-٦- نتایج مربوط به پراکسیداسیون لیپید ریشه ٤۸

۳-۷- نتایج مربوط به پرولین اندام هوایی ٤۸

۳-۸- نتایج مربوط به پروتئین کل اندام هوایی ٤۸

۳-۹- نتایج مربوط به آنزیم کاتالاز اندام هوایی ٤۹

۳-۱۰- نتایج مربوط به آنزیم پراکسیداز اندام هوایی ٤۹

فصل چهارم : بحث و تفسیر

۴-۱- تاثیربرهم کنش کلریدکادمیوم وآهن بررشدوتولیدگیاه ۸۱

۴-۲- تاثیربرهم کنش کلریدکادمیوم وآهن برفتوسنتز،تنفس ونقطهٔ جبران CO_2 ..... ۸۳

۴-۳- تاثیربرهم کنش کلریدکادمیوم وآهن برمحتوای رنگیزه های فتوسنتزی ۸۶

۴-۴- تاثیربرهم کنش کلریدکادمیوم وآهن بر محتوای نسبی آب برگ ها ۸۷

۴-۵- تاثیربرهم کنش کلریدکادمیوم وآهن برمقدارقندمحلول ونامحلول اندام هوایی ۸۸

۴-۶- تاثیربرهم کنش کلریدکادمیوم وآهن برمقدارپراکسیداسیون لیپید ریشه ۸۹

۴-۷- تاثیربرهم کنش کلریدکادمیوم وآهن برمقدارپرولین اندام هوایی ۹۱

۴-۸- تاثیربرهم کنش کلریدکادمیوم وآهن برمقدارپروتئین اندام هوایی ۹۲

۴-۹- تاثیربرهم کنش کلریدکادمیوم وآهن برفعالیت آنزیم کاتالاز اندام هوایی ۹۳

۴-۱۰- تاثیربرهم کنش کلریدکادمیوم وآهن برفعالیت آنزیم پراکسیداز اندام هوایی ۹۴

۴-۱۱- نتیجهٔ برهم کنش کادمیوم وآهن درسطح مولکولی وفیزیولوژیکی ۹۵

فصل پنجم : منابع

منابع ۱۰۰

فصل اول :

مقدمه

۱-۱- مشخصات تیره گندمیان (Poaceae)

گیاهان تیره گندمیان، گیاهانی یکساله یا چند ساله می باشند. ساقهٔ آن ها بندبند، راست یا گسترده است. ساقه در میان بندها توخالی و در محل گره ها توپر است، گاهی مثلا در ذرت در تمام طول ساقه، توپر می باشد. برگ ها متناوب و دارای غلاف، زبانک و پهنک می باشند. گل آذین در گندمیان متنوع است و به ندرت متشکل از یک سنبلچه می باشد و در بیشتر مواقع به صورت سنبله و پانیکول دیده می شود. گل ها اکثرا نرماده هستند و گاهی مواقع مثلا در ذرت تک جنسی می باشند. پرچم ها زیرتخمدانی هستند و به صورت یک، سه یا شش تایی دیده می شوند و دارای میله ای بلند و نازک و بساکی دو حجره ای هستند که به وسیلهٔ شیار طولی و گاهی نیز به وسیلهٔ منفذ باز می شوند. تخمدان تک سلولی است، تخمک منفرد، واژگون یا خوابیده است. از مهم ترین گیاهان این تیره می توان به برنج، گندم، ذرت و جو اشاره کرد (مظفریان ، ۱۳۷۹).

۲-۱- گیاه برنج

رده بندی علمی برنج

Kingdom : plantae
Division : Magnoliophyta
Class : Liliopsidea
Order : Poales
Family : Poaceae
Genus : *Oryza*

۱-۲-۱- مشخصات گیاه برنج

برنج گیاهی از تیره گندمیان است. گیاه برنج دارای ریشهٔ سطحی و افشان می باشد، ساقهٔ آن راست، استوانه ای و جز در قسمتی که گره ها وجود دارند توخالی است. ارتفاع ساقه به ۶۰ تا ۲۰۰ سانتیمتر

می رسد، برنج علاوه بر ساقه اصلی، ۴ تا ۵ ساقه فرعی دارد. برگ های برنج به صورت متناوب در دو ردیف در دو طرف ساقه قرار گرفته اند. برگ ها دارای غلاف، پهنک، زبانک و گوشوارک است. گل آذین در برنج به صورت پانیکول بوده که در ارقام مختلف به شکل فشرده، باز و نیمه باز است و در انتهای ساقه قرار دارد و دارای شاخه های فرعی با محورهای ثانویه می باشد. خوشه ها روی دو گل کوتاه به وجود می آیند که نوک آن روی گلوم های نازا توسعه یافته است و به چند وجهی کنگره دار تبدیل می شوند. هر خوشه دارای محورکوچکی به نام محور سنبله است که روی آن یک گل در محور برگک که گلوم های نازا نام دارد تشکیل می شود. گل دهی در برنج از نوک گل آذین شروع شده و به سمت پایین ادامه می یابد. در موقع ظهور خوشه نیاز ریشه به مواد غذایی به ویژه نیتروژن، فسفر و پتاسیم زیاد است. میوه برنج دارای غلافی سفید رنگ، قهوه ای، کهربایی، قرمز یا بنفش است که این میوه را به همراه غلاف آن، شلتوک می نامند. گل دارای شش پرچم است و بساک ها دوخانه ای هستند. کلاله دو شاخه است و مادگی دارای تخمدان یک برچه ای می باشد. بیرونی ترین لایه دانه برنج پریکارپ نام دارد که بسیارسخت است. پوست دانه زیر این بخش قرارگرفته که از لحاظ پروتئین و چربی غنی ولی از نظر نشاسته ای فقیر است. پس از پوست، لایه آلورن قرار دارد. ترکیب اصلی برنج، نشاسته است که عمدتا در آندوسپرم قرار گرفته است. میزان پروتئین و اسید آمینه در برنج بسیار اندک است. برنج گلوتن ندارد و پروتئین عمده آن اوریزنین (oryzenin) می باشد.

۲-۲-۱- تاریخچه واهمیت اقتصادی

برنج یکی از مهم ترین غلات و از گیاهان علفی مهم در قاره آسیاست. برنج گیاهی است با تاریخچه کشت بسیار قدیم که قدمت آن به ۲۷۰۰ سال قبل از میلاد مسیح می رسد. در ایران قدیم، در بابل و

شوش کشت می شد و قدمت آن به ٤٠٠ سال قبل از میلاد بر می گردد. مراکز اولیه تولید برنج را کشور چین و هندوستان می دانند. در حال حاضر هزاران نوع برنج که از لحاظ مشخصات ظاهری و فیزیولوژیکی با هم متفاوت اند در جهان کشت می شوند. دانه برنج و فرآورده های به دست آمده از آن تقریبا ٤٠ درصد غذای مورد نیاز نصف مردم جهان را تشکیل می دهد.

۳-۲-۱- شرایط مناسب برای کشت برنج

دما: میانگین دمای مورد نیاز برنج هنگام رشد باید بین ۲۰ تا ۳۷ درجه سانتیگراد باشد.

نور: شدت نور در اوایل فصل زراعی شاید عامل محدودکننده ای برای رشد برنج به حساب آید، ولی موقع تشکیل خوشه رقابت برای کسب نور افزایش می یابد.

رطوبت : مناسب ترین میزان رطوبت برای گلدهی بین ۷۰ تا ۸۰ درصد است، برنج گیاه آب دوستی به شمار می رود ولی آبزی نیست زیرا ریشه گیاهان آبزی قادر به تشکیل تارهای کشنده و ریشه های فرعی نیستند، درحالی که ریشه برنج هم تارکشنده و هم ریشه فرعی دارد.

خاک : مناسب ترین خاک برای کشت برنج، خاک رسی در عمق ۵۰ تا ۱۵۰ سانتیمتری و همراه با مقدار زیادی مواد آلی است. برنج اصولا نسبت به شوری خاک وآب مقاوم است، درصورتی که آب کافی برای شستشوی نمک خاک وجود داشته باشد، می توان از برنج برای اصلاح خاک های شور استفاده کرد.

۳-۱- عناصرسنگین

با گسترش روز افزون صنایع و استفاده از فلزات سنگین در صنعت، امکان آلودگی محیط زیست نیز افزایش پیداکرده است. آلودگی فلزات سنگین یکی از مسائل مهم محیط های آلوده است که رشد و

فعالیت های حیاتی گیاهان و سلامت ارگانیسم های زندهٔ دیگر را تحت تاثیر قرار می دهد. گیاهان با مکانیسم های مختلف تلاش می کنند تا از اثرات سوء آن ها جلوگیری نمایند. مثلا ترشح اسیدهای آلی به عنوان یک مکانیسم مقاومت به آلودگی فلزات سنگین از قسمت نوک ریشه ذرت انجام می گیرد. فلزات سنگین گروهی از فلزات با چگالی بالاتر از $^{-1}$ g cm ۰/۵ هستند(Holleman & Wiberg,1985). درحدود ۴۰ عنصر با این ویژگی وجود دارد که عمدتا در شکل پراکنده در تشکیلات سنگ بسترهستند (Ayres,1992). این عناصر به مقادیرمتفاوت در نواحی مختلف سراسر جهان وجود دارند، برای مثال کادمیوم(Cd)، نقره(Ag)، نیکل(Ni)، کروم (Cr)، روی(Zn)، جیوه(Hg)، مس(Cu) و سرب(Pb)، از مهم ترین آلوده کننده های محیطی محسوب می شوند. فلزات سنگین دو گروه هستند، برخی از این ها مخصوصا مس و روی برای رشد و نمو معمول گیاه ضروری هستند به این دلیل که جز اصلی بیشتر آنزیم ها و پروتئین های دیگر هستند و تعدادی که برای متابولیسم گیاهان و جانوران غیرضروری هستند مثل کادمیوم و سرب که اغلب در غلظت های پایین نیز سمی هستند. اگرچه افزایش غلظت های هر دو نوع فلز سنگین ضروری و غیرضروری در خاک می تواند منجر به عوارض سمیت و بازدارندگی بیشتر رشد گیاهان گردد (Cunningham et al.,1995;Van & Clijsters,1990;Lasat, 2000). فلزات سنگین از آلوده کننده های اکوسیستم های آبی و خشکی هستند و در مقایسه با بیشتر آلوده کننده ها قابل تجزیه زیستی نیستند، بنابراین در محیط ثابت می باشند و در خاک برای چندین سال باقی می مانند و پتانسیل ایجاد سمیت گیاهی یا سمیت زنجیرهٔ غذایی را دارند (Alloway & Jackson,1991;Hussanin et al.,1993;Klaus & Bernd,2005). مضرترین فلزات سرب، کادمیوم و روی می باشند زیرا هم پتانسیل تهدید موجودات آبزی را دارند و هم به گیاهان و جانوران آسیب می

رسانند(Macfarlane,2000). به دلیل فعالیت های مختلف بشر، هرساله غلظت های فلزات سنگین در آب رودخانه ها چندین هزار برابر توسط فاضلاب ها افزایش می یابند.

۱-۳-۱- انتقال فلزات سنگین درگیاهان

جذب و انتقال فلزات در گیاهان بسیار متفاوت است و بستگی به گونه های گیاهی و نوع فلز دارد و همچنین تنوع وسیعی بین گونه های گیاهی و نیز ژنوتیپ های گونه های یکسان وجود دارد (Prasad & Hagemeyer,1999;Chang et al.,2007). فلزات مختلف از نظرتحرک متفاوت هستند، برای مثال کادمیوم و روی تحرک بیشتری از مس و سرب دارند. فلزات سنگین اغلب به صورت آپوپلاستی در بافت های گیاهان منتقل می شوند و قادرند به آوندهای چوبی ریشه ها برسند. همچنین گزارش شده است که دو مانع اصلی برای انتقال آپوپلاستی فلزات سنگین در ریشه ها وجود دارد که شامل لایه های پروتودرم و هیپودرم سلول های مریستمی در ناحیه مریستم ریشه و لایه آندودرمی در ناحیه ریشه بالغ می باشند. فلزات سنگین به سختی از آندودرم و نوارهای کاسپارین می گذرند، درنتیجه بیشترین جذب این فلزات از طریق قسمت های جوان تر ریشه که نوارهای کاسپارین هنوز به طورکامل نمو نیافته اند، صورت می گیرد(Hardiman et al.,1984;Marschner,1995). فلزات سنگین در آوندهای چوبی، تا حدودی در شکل کمپلکس منتقل می شوند(Mench et al.,1988) مثلا سرب به صورت کلات شده با اسیدهای آلی منتقل می شود. همچنین مشخص شده که انتقال آکروپتال فلزات سنگین مثل کادمیوم و سرب توسط سرعت جریان تعرق صورت می گیرد(Hardiman et al.,1984). انتقال فلزات سنگین در آوند آبکش به سختی صورت می گیرد زیرا آوند آبکش از سلول های زنده تشکیل شده است و دارای مواد آلی ویون هاست که به آسانی به فلز می چسبند(Salim et al.,1992; Greger et al.,1993).

٤-١- عنصر کادمیوم

کادمیوم (Cd) یکی از فلزات سنگین غیرضروری(Liu et al.,2003) و از کاتیون های دو ظرفیتی است. عدد اتمی این عنصر۴۸ و دارای ۸ ایزوتوپ طبیعی و تعدادی ایزوتوپ مصنوعی می باشد. این عنصر به طور طبیعی در غلظت های خیلی کم (۱- ۰/۵ میلی گرم بر کیلوگرم خاک) در خاک های غیرآلوده حضور دارد، اما وجود غلظت های بالای آن در خاک های آلوده برای گیاهان سمی می باشد. سطوح سمی کادمیوم در خاک می تواند به علت فعالیت های کشاورزی، کارخانه ها و صنایع، آفت کش ها و کودها باشد(Bakhtiarian et al.,2001;Liu et al.,2006). کادمیوم در طبیعت به صورت اکسید کادمیوم، سولفات و سولفید کادمیوم وجود دارد.

٥-١- اثرات کادمیوم بربدن انسان

کادمیوم به عنوان خطرناک ترین عنصر پس از ورود به بدن، ماندگاری پیدا کرده و در بافت های بدن انباشته می شود. همین امر موجب بروز بیماری ها و عوارضی در بدن می گردد. کادمیوم رشد و گسترش عفونت های ویروسی، باکتریایی و قارچی را افزایش می دهد. همچنین موجب تخریب سیستم حافظه می شود و به مرور زمان یکی از دلایل بروز سرطان خواهد شد. کادمیوم هیچ نقش متابولسیمی ایفا نمی کند و تاکنون هیچ آنزیمی یافت نشده که به عنوان کوفاکتور به آن نیاز داشته باشد. به طور کلی فلزات سنگین، جایگزین دیگر املاح و مواد معدنی مورد نیاز در بدن می گردند. برای مثال فلزات سنگین، در بافت های عروق، عضلات، استخوان ها و مفاصل رسوب می کنند. مثلا درصورت کمبود روی در مواد غذایی، کادمیوم جایگزین آن خواهد شد. حداکثر مجازکادمیوم در هوا ppm ۵ است. این عنصر عمدتا از طریق هوا و نوشیدن جذب می شود و جذب آن از طریق تماس

پوستی هنوز ثابت نشده است. به طورکلی جذب از طریق تنفس ۳۰ درصد بیشتر از بلع می باشد (Fauci et al.,1998).

۶-۱- جذب وانتقال کادمیوم درگیاهان

میزان جذب کادمیوم توسط گیاهان، به غلظت آن در خاک، pH خاک و غلظت دیگر عناصر وابسته است. در فرآیندهای انتقالی از غشاهای گیاهی، کادمیوم با عناصری مثل آهن، منگنز، روی، مس، کلسیم، منیزیم و پتاسیم رقابت می کند(Rivetta et al.,1997;Qyang et al.,2006). در سلول های گیاهان، کادمیوم ممکن است جانشین روی در فاکتورهای رونویسی zinc-finger یا انگشت روی شود و یا به جایگاه های اتصال کلسیم در کالمودولین متصل شود و بنابراین فرآیندهای انتقال پیام درون سلولی را مختل کند(Liu et al.,2006). عقیده براین است که کادمیوم در ریشه از طریق بافت پوستی نفوذ می کند، به محض اینکه کادمیوم وارد ریشه ها شود، می تواند از طریق مسیر آپوپلاستی یا سیم پلاستی به گزیلم برسد و سپس با چندین لیگاند مثل اسیدهای آلی یا فیتوکلاتین ها ترکیب شود. اخیرا پیشنهاد شده است که کادمیوم موجود در میوه های درحال رشد از طریق انتقال فلوئمی تجمع یافته اند(Hart et al.,1998).

۷-۱- اثرات سمیت کادمیوم درگیاهان عالی

کادمیوم در گیاهان درحال رشد، تغییرات ساختاری، مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی را ایجاد می کند. کادمیوم درگیاهان از فتوسنتز و متابولیسم نیتروژن ممانعت می کند (Kavita et al.,2001;Liu et al.,2006;Pinto et al.,2004). سمیت فلزات سنگین نظیر کادمیوم، مس و روی از مدت ها پیش شناخته شده است(Marie et al.,2007). این یون ها ممکن است به طور مستقیم در فعالیت های

متابولیکی دخالت کنند و این عمل را با تغییردادن ساختمان پروتئین ها به عنوان مثال آنزیم ها، ناقل ها و پروتئین های تنظیم کننده به سبب تمایل زیاد به عنوان لیگاندها به گروه های سولفیدریل و کربوکسیلیک انجام می دهند (Roberta et al., 2007). به طورکلی نتیجه حضور کادمیوم در گیاهان، منجر به کاهش مقاومت و توان گیاه می شود و بر جوانه زنی دانه و متابولسیم گیاه اثر می گذارد، همچنین موجب ایجاد پیچش در برگ ها و زردی آن ها شده و رشد ریشه ها و ساقه ها را کاهش می دهد(Kavita et al.,2001).این کاهش رشد مربوط به جلوگیری از رشد طولی سلول ها به علت مهار غیرقابل برگشتی است که توسط کادمیوم روی پمپ پروتونی اعمال شده است. کادمیوم به دستگاه فتوسنتزی به ویژه دربخش LHCPII خسارت می زند و مقدار کلروفیل و کاروتنوئید را کاهش می دهد(Larson et al.,1998).

کادمیوم در گیاه عدس در شاخه زایی دخالت می کند، علت این امر می تواند به دلیل اثر کادمیوم بر سنتز، انتقال و یا فعالیت های هورمون های دخیل در رشد جوانه های جانبی مانند سیتوکینین، اکسین و یا اسید آبسیزیک باشد. این یافته نقش کادمیوم را در از بین بردن چیرگی راسی نشان می دهد. کادمیوم در فعالیت بسیاری از آنزیم های کلیدی مسیرهای متابولیسمی تغییر ایجاد می کند. کادمیوم جذب نیترات و انتقال آن از ریشه ها به بخش های هوایی را با مهار فعالیت نیترات ردوکتاز کاهش می دهد (Hernandez et al.,1996). در برنج سنتز RNA را تغییر داده و فعالیت ریبونوکلئاز را باز می دارد (Shah & Dubey,1997). همچنین کادمیوم به طور قوی بر روی فعالیت چندین آنزیم از جمله گلوگز۶-فسفات دهیدروژناز، گلوتامات دهیدروژناز، مالیک آنزیم، سیترات دهیدروژناز، روبیسکو و کربنیک انهیدراز اثر بازدارندگی دارد(Siedlecka et al.,1997). برخی ازیون ها با ویژگی های ردوکس

شدید مثل مس (Weckx & Clijsters,1996) و آن هایی که فاقد آن هستند مثل روی (Haluk et al.,1996;Weckx & Clijsters,1997) و کادمیوم(Liu et al.,2003;Hassan et al.,2006)، اکسیداسیون لیپیدهای غشایی را آغاز می کنند و تولید انواع اکسیژن فعال را تحریک می کنند. فلزات سنگین از طریق تشکیل گونه های اکسیژن فعال یا ROS باعث آسیب رساندن به مولکول ها درگیاهان از طریق مستقیم یا غیرمستقیم می شوند. فلز کادمیوم نیز القا کننده تنش اکسیداتیو در گیاهان است (Murakami & Ishikawa,2007) اما در مقایسه با سایر فلزات سنگین از جمله مس (Cu) به نظر نمی رسد مستقیما در تولید اکسیژن های فعال نقش داشته باشد.

ROS شامل رادیکال سوپراکسید (O_2^{o-})، رادیکال هیدروکسیل (OH^o) و پراکسید هیدروژن(H_2O_2) است که در داخل سلول ها به بیومولکول ها مثل لیپیدها، پروتئین ها و اسیدهای نوکلئیک آسیب می رسانند. آنزیم های آنتی اکسیدان در پاسخ به تنش اکسیداتیو درگیاهان عمل می کنند. کادمیوم می تواند در فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان نظیر کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسیددیسموتاز تغییر ایجاد کند (Kavita et al.,2001).

درگیاه برنج تحت تاثیر کادمیوم، سطوح بالای تولید آنیون سوپراکسید(O_2^{o-}) مشاهده شد. همچنین یون کادمیوم باعث افزایش در فعالیت آنزیم های سوپراکسیددیسموتاز و گایاکول پراکسیداز شد. افزایش فعالیت این آنزیم ها، همراه با افزایش محافظت از آسیب های اکسیداتیو است. در *Phaseolus aureus* یون های کادمیوم باعث پراکسیداسیون لیپید شده و فعالیت کاتالاز را کاهش می دهند، اما فعالیت گایاکول پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز را افزایش می دهند(Shaw,1995). کاهش در فعالیت کاتالاز احتمالا به علت بازدارندگی از سنتز آنزیم یا تغییر در تجمع زیر واحدهای این آنزیم است. در

ریشه ها و برگ های *Phaseolus vulgaris*، کادمیوم فعالیت گایاکول پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز را افزایش داده ، همچنین موجب افزایش پراکسیداسیون لیپیدی می شود (Chaoui et al., 1997). سنجش و اندازه گیری سطح مالون دی آلدهید به عنوان یک شاخص پراکسیداسیون لیپیدها مطرح می شود. در گیاه برنج، تحت تیمار کادمیوم، سطوح پراکسیداسیون لیپیدها در مقایسه با گیاهان شاهد افزایش یافت(Kavita et al.,2001). اندازه گیری میزان مالون دی آلدهید در ریشه و ساقه ارقام حساس و مقاوم گیاه کلزا مشخص نمود که گیاه حساس اکسایش غشا بیشتری را نشان داده است. پاسخ های مختلف به القا تنش اکسیداتیو توسط کادمیوم احتمالا هم به سطوح کادمیوم به کار رفته و هم به غلظت های ترکیبات تیولی حاضر و یا القا شده توسط کادمیوم بستگی دارد. تیول ها دارای خواص آنتی اکسیدان قوی هستند که قادر به خنثی کردن تنش اکسیداتیو می باشند.

۸-۱- پاسخ به تنش کادمیوم درسطح سلولی

در پاسخ به تنش کادمیوم درگیاهان، سنتز پپتیدهای غنی از گوگرد افزایش می یابد. سمیت کادمیوم بعد از ورود به داخل سلول ها به وسیلهٔ پروتئین های باند شونده به کادمیوم که غنی از گوگرد هستند نظیر فیتوکلاتین ها و متالوتیونین ها کاهش می یابد.

۱-۸-۱- فیتوکلاتین ها وپاسخ به تنش کادمیوم

فیتوکلاتین ها(PCs) کلات کننده های بیولوژیکی فلزات سنگین هستند(Prasad,1998) که وجود آن ها در گیاهان و بعضی موجودات دیگر (مخمرها ونوعی نماتد) اثبات شده است. در گیاهان از ریشه به ساقه و برگ ها منتقل شده و باعث افزایش تجمع فلزات سنگین در برگ های گیاه می شوند. فیتوکلاتین ها پپتیدهای غنی از سیستئین هستند که در پاسخ به تنش فلزات سنگین ساخته می شوند