٨٧/١/١٠٠٠٨٩
٨٧/٩/١٤

بسم الله الرحمن الرحيم

١٠٢٥١٢

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده علوم پایه

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد رشته زیست شناسی (علوم گیاهی)

بررسی تاثیر آلومینیوم بر فعالیت سیستم آنزیمی آنتی اکسیدان (سوپراکسید دسموتاز، کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و پراکسیداز) در قلمه های ریشه دار شده گیاه لیسیانتوس

نگارنده:
فرنوش نعمتی کورایم

استاد راهنما:
دکتر فائزه قناتی

۱۳۸۷ /۹/ ۱۲

تیر ۱۳۸۷

۱۰۲۵۱۲

بسمه تعالی

دانشکده علوم پایه

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد

اعضای هیئت داوران نسخهٔ نهایی پایان‌نامه خانم**فرنوش نعمتی‌کورایم** رشته **زیست‌شناسی** گرایش **(علوم‌گیاهی)** تحت عنوان: **«بررسی تأثیر آلومینیوم بر فعالیت سیستم آنزیمی آنتی‌اکسیدان (سوپراکسیددسموتاز، کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و پراکسیداز) در قلمه‌های ریشه‌دارشده گیاه لیسیانتوس » از نظر فرم و محتوا بررسی نموده و آنرا برای اخذ درجهٔ کارشناسی‌ارشد مورد تائید قرار دادند.**

اعضای هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	دکتر فائزه قناتی	دانشیار	
۲- استاد ناظر داخلی	دکتر مظفر شریفی	استادیار	
۳- استاد ناظر داخلی	دکتر شاهرخ کاظم‌پوراوصالو	استادیار	
٤- استاد ناظر خارجی	دکتر فرح کریمی	استادیار	
٥- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر شاهرخ کاظم‌پوراوصالو	استادیار	

۱۰۲۵۱۲

بسمه‌تعالی

آیین‌نامهٔ چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرّس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان‌نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرّس، مبیّن بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش‌آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

مادّهٔ ۱ در صورت اقدام به چاپ پایان‌نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اطلاع دهد.

مادّهٔ ۲ در صفحهٔ سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه)، عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد/رسالهٔ دکتری نگارنده در رشتهٔ زیست شناسی است که در سال ۱۳۸۷ در دانشکدهٔ علوم پایه دانشگاه تربیت مدرّس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر فائزه غنائی، مشاورهٔ سرکار خانم/جناب آقای دکتر ـــــ و مشاورهٔ سرکار خانم/جناب آقای دکتر ـــــ از آن دفاع شده است.»

مادّهٔ ۳ به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهداکند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

مادّهٔ ۴ در صورت عدم رعایت مادّهٔ ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ‌شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرّس، تأدیه کند.

مادّهٔ ۵ دانشجو تعهد و قبول می‌کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در مادّهٔ ۴ را از محلّ توقیف کتابهای عرضه‌شدهٔ نگارنده برای فروش، تأمین نماید.

مادّهٔ ۶ اینجانب فرنوش نعمتی کورایم دانشجوی رشته زیست شناسی گرایش سلولی و مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می‌شوم.

نام و نام‌خانوادگی: فرنوش نعمتی کورایم

تاریخ و امضا: ۱۳۸۷/۶/۳۱

دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشند.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین نامه های مصوب انجام می‌شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری خواهد بود.

فرنوش [illegible] ابراهیم

۸۷/۸/۲۱

تقدیم به:

خانواده بزرگوارم برای تمام حمایت های بی دریغشان

تقدیر و تشکر:

با سپاس بی منتها از لطف و عنایت خداوند سبحان، از استاد ارجمند و فرزانه ام سرکار خانم دکتر فائزه قناتی برای دانش فراوان و لطف بی پایانشان کمال تشکر را داشته و توفیق روزافزون ایشان را از خداوند منان خواستارم. همچنین از اساتید بزرگواری که در این دوره بر دانش و آگاهی ام افزودند صمیمانه قدردانی می نمایم.

چکیده:

اثر آلومینیوم (Al) بر فعالیت آنزیم ها و ترکیبات سیستم آنتی اکسیدان و برخی پارامتر های فیزیولوژیکی در قلمه های ریشه دار شده گیاه لیسیانتوس (*Eustoma grandiflora* L.) مورد بررسی قرار گرفت. قلمه های ریشه دار به مدت ۱۰ روز در کشت هیدروپونیک با محلول غذایی تغییر یافته هوگلند (۱/۲) قرار گرفتند. پس از سازگاری به محیط جدید، گروهی از گیاهان با تری کلرید آلومینیوم ($AlCl_3$) در غلظت ۰/۸۸ میلی مولار و pH ثابت ۴/۵ در فواصل زمانی (۲۴, ۹۶ساعت) تیمار شدند. آنالیز های بیوشیمیایی و میکروسکوپی بر روی نمونه های شاهد و تیمار پس از این مراحل انجام گرفت. در مقایسه با گیاهان شاهد فعالیت آنزیم های سیستم آنتی اکسیدان (کاتالاز، سوپراکسید دسموتاز و آسکوربات پراکسیداز) در ریشه گیاهان تیمار شده با آلومینیوم افزایش یافت در حالیکه فعالیت آنزیم پراکسیداز در سه بخش محلول، یونی وکووالانی و آنزیم پلی فنل اکسیداز و پراکسیداسیون لیپیدی کاهش یافت. همچنین تیمار Al سبب افزایش ترکیبات آنتی اکسیدان (آسکوربات و دهیدرو آسکوربات) در ریشه و برگ گردید. نتایج نشان داد که اثر آلومینیوم در افزایش فعالیت آنزیم ها و ترکیبات جاروب کننده گونه های فعال اکسیژن، کاهش میزان لیگنین و افزایش متابولیسم احتمالا سبب تحریک رشد و تعویق فرآیند پیری درگیاه لیسیانتوس می شود.

کلمات کلیدی: آلومینیوم، سیستم آنتی اکسیدان، کشت هیدروپونیک، لیسیانتوس

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه ۱

تنش در گیاهان ۲

تنش اکسیداتیو در گیاهان ۳

سمیت آلومینیوم در گیاهان ۳

اثرات سمیت آلومینیوم در گیاهان ۴

سمیت آلومینیوم در جانوران ۵

مکانیسم های مقاومت به آلومینیوم در گیاهان ۶

منابع تولید گونه های فعال اکسیژن مولکولی در سلول گیاهی ۹

مکانیسم های مقاومت گیاهان در برابر شرایط تنش اکسیداتیو ۱۱

سابقه و ضرورت انجام تحقیق ۱۶

فصل دوم: مواد و روش ها ۱۹

معرفی گیاه لیسیانتوس ۲۰

کشت گیاه کامل ۲۰

روش تیماردهی ۲۱

آنالیز های بیوشیمیایی ۲۱

استخراج و سنجش آنزیم های سیستم آنتی اکسیدان ۲۲

اندازه گیری فعالیت آنزیم سوپر اکسید دسموتاز (SOD) ۲۲

اندازه گیری فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) ۲۲
اندازه گیری فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (APX) ۲۳
اندازه گیری فعالیت آنزیم پراکسیداز (PO) ۲۳
اندازه گیری فعالیت پراکسیداز محلول (SPO) ۲۴
اندازه گیری فعالیت آنزیم پراکسیداز یونی (IPO) ۲۴
اندازه گیری فعالیت آنزیم پراکسیداز کووالانی (CPO) ۲۴
اندازه گیری فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز (PPO) ۲۵
استخراج دیواره ۲۵
تعیین محتوای لیگنین ۲۶
سنجش میزان آلومینیوم ۲۷
اندازه گیری قند کل ۲۷
سنجش میزان پراکسیداسیون لیپید های غشاء ۲۸
سنجش میزان کلروفیل بافت برگ ۲۸
اندازه گیری غلظت پروتئین کل به روش برادفورد ۲۹
سنجش میزان آسکوربات کل و دهیدرو آسکوربات ۲۹
اندازه گیری میزان فلاونوئید ۳۰
مطالعات میکروسکوپی ۳۱
آنالیز های آماری ۳۱
فصل سوم: نتایج ۳۲
فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان ۳۳

فعالیت آنزیم SOD ۳۳
فعالیت آنزیم CAT ۳۳
فعالیت آنزیم APX ۳۴
فعالیت آنزیم PO ۳۴
فعالیت آنزیم SPO ۳۴
فعالیت آنزیم IPO ۳۴
فعالیت آنزیم CPO ۳۵
فعالیت آنزیم PPO ۳۵
درصد چوبی شدن دیواره ۳۵
میزان آلومینیوم ۳۶
میزان قند کل ۳۶
پراکسیداسیون لیپید های غشا ۳۶
میزان کلروفیل ۳۷
میزان آسکوربات کل و دهیدرو آسکوربات ۳۷
میزان فلاونویید ۳۷
مشاهدات میکروسکوپی ۳۸
فصل چهارم: بحث ۵۲
پیشنهادات ۵۹
مراجع و مآخذ ۶۰

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

شکل ۳- ۱ فعالیت SOD در ریشه ۳۹

شکل ۳- ۲ فعالیت CAT در ریشه ۳۹

شکل ۳- ۳ فعالیت APX در ریشه ۴۰

شکل ۳- ۴ فعالیت SPO در ریشه ۴۰

شکل ۳-۵ فعالیت IPO در ریشه ۴۱

شکل ۳- ۶ فعالیت CPO در ریشه ۴۱

شکل ۳- ۷ فعالیت PPO در ریشه ۴۲

شکل ۳- ۸ درصد چوبی شدن دیواره در ریشه ۴۲

شکل ۳- ۹ درصد چوبی شدن دیواره در برگ ۴۳

شکل ۳- ۱۰ میزان آلومینیوم در ریشه ۴۳

شکل ۳- ۱۱ میزان آلومینیوم در ساقه ۴۴

شکل ۳- ۱۲ محتوای کربوهیدرات در ریشه ۴۴

شکل ۳- ۱۳ محتوای کربوهیدرات در برگ ۴۵

شکل ۳- ۱۴ میزان پراکسیداسیون لیپیدی در ریشه ۴۵

شکل ۳- ۱۵ محتوای کلروفیل a در برگ ۴۶

شکل ۳- ۱۶ محتوای کلروفیل b در برگ ۴۶

شکل ۳- ۱۷ محتوای آسکوربات کل در ریشه ۴۷
شکل ۳- ۱۸ محتوای دهیدروآسکوربات در ریشه ۴۷
شکل ۳- ۱۹ محتوای آسکوربات کل در برگ ۴۸
شکل ۳- ۲۰ محتوای دهیدروآسکوربات در برگ ۴۸
شکل ۳- ۲۱ محتوای فلاونویید در ریشه ۴۹
شکل ۳- ۲۲ مشاهدات میکروسکوپی برش های ریشه با تغییر pH ۵۰
شکل ۳- ۲۳ مشاهدات میکروسکوپی برش های ساقه با تغییر pH ۵۱

فصل اول:

مقدمه

۱- ۱ تنش در گیاهان

گیاهان به عنوان ارگانیسم های زنده محدود به مکان، در برابر شرایط تنش زای محیطی پاسخ های متنوعی را بروز می دهند. عوامل محیطی (Environmental factors) به دو گروه زیستی یا زنده (biotic) و غیر زیستی یا غیر زنده (abiotic) دسته بندی می شوند. از عوامل زیستی می توان به پاتوژن ها، علفخوارها و از عوامل غیر زیستی به دما، اشعه ماوراء بنفش، فلزات سنگین، ترکیبات غیر آلی، رطوبت نسبی و شدت نور اشاره کرد (Zhao et al., 2005).

تنش (stress) به هرگونه تغییر در عوامل محیطی که سبب تغییر فرآیند های معمول فیزیولوژیکی گیاه شود، اطلاق می گردد. پاسخ های گیاهان به تنش های محیطی بسیار پیچیده است (Chaves et al., 2003) و به تعدادی از عوامل داخلی فرآیند های مورفولوژیکی، بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی آن بستگی دارد (Turhan et al., 2007). عوامل تنش زا از طریق ایجاد علامت های شیمیایی یا مکانیکی، سبب بروز پاسخ های دفاعی نظیر Hypersensitive Response (HR) و SAR (Systemic Acquired Resistance) در گیاهان می شوند (Wang et al., 2006). برخی از این پاسخ ها عبارتند از (Wang et al., 2006; Zhao et al., 2005):

۱- بیان ژن های مقاومتی

۲- افزایش فعالیت آنزیم های سلولی

۳- تولید و تجمع متابولیت های ثانویه

۴- تولید لیگنین

۱- ۲- تنش اکسیداتیو در گیاهان

یکی از فرآیند های بیوشیمیایی که در تمام تنش های محیطی اعم از زنده یا غیر زنده رخ می دهد، تولید گونه های فعال اکسیژن (ROS) نظیر آنیون سوپر اکسید ($O_2^{\cdot-}$)، پراکسید هیدروژن (H_2O_2) و رادیکال هیدروکسیل ($OH^{\cdot}$) و در نتیجه آن ایجاد تنش اکسیداتیو است (Turhan et al., 2007). تولید این ترکیبات منجر به کاهش عملکرد و بروز سمیت در گیاه می شود. گونه های فعال اکسیژن در شرایط معمول نیز طی فرآیند های فیزیولوژیکی سلول نظیر فتوسنتز و تنفس تولید می شوند که این میزان (۲۴۰ میکرومول در ثانیه سوپر اکسید و در سطح ثابت ۰/۵ میکرومول پراکسید هیدروژن در کلروپلاست)، در مقایسه با شرایط تنش (۲۷۰ – ۲۴۰ میکرومول در ثانیه سوپر اکسید و ۱۵– ۵ میکرومول پراکسید هیدروژن) کمتر می باشد. همچنین افزایش میزان این ترکیبات طی تنش می تواند به عنوان پیامبر ثانویه در مسیر سیگنالینگ، سبب بروز پاسخ های دفاعی گیاه گردد (Vranova et al., 2002).

۱- ۳- سمیت آلومینیوم در گیاهان

آلومینیوم یکی از فراوان ترین عناصر موجود در خاک و پوسته زمین (در رتبه سوم پس از اکسیژن

و سیلیکون) می باشد. در خاک های اسیدی که بیشتر مناطق مرطوب گرمسیری نظیر جنگل ها و اراضی جنگلی (۶۷ درصد) و نیز ۴۰ درصد از زمین های زراعی را شامل می شود، به دلیل کاهش pH محیط (کمتر از ۴) تجمع آلومینیوم به صورت یون محلول سمی Al^{+3} نسبت به حالت غیر سمی اکسید و سیلیکات آلومینیوم افزایش می یابد (Wang et al., 2006; Yamamoto et al., 2002). همچنین علاوه بر pH محیط، غلظت آلومینیوم، دما و غلظت سایر کاتیون ها و آنیون ها در محیط از عوامل موثر در سمیت Al می باشد (Wang et al., 2006).

۱- ۴- اثرات سمیت آلومینیوم در گیاهان

به دلیل نیاز بسیار کم گیاهان به عنصر آلومینیوم که میزان آن در هر گرم بافت خشک گیاهی در حدود ($۱۰^{-۵}$-$۱۰^{-۹}$) گرم می باشد، مقادیر زیاد آن در خاک سبب ایجاد سمیت می گردد.

آلومینیوم سبب محدودیت رشد ریشه و گیاه می شود. همچنین با کاهش یا ممانعت از رشد محور اصلی، باعث ایجاد اشکال غیر طبیعی در سیستم ریشه از طریق تشکیل ریشه های جانبی می شود. این عنصر از طریق ایجاد عدم تعادل در عناصر معدنی نظیر فسفر، منیزیم و کلسیم، ترکیب با مواد ضروری رشد گیاه، مهار سنتز DNA، تقسیم سلولی، کاهش بیوماس، کاهش میزان تنفس و تولید ATP موجب کاهش رشد گیاه می گردد (Yamamoto et al., 1994).

مکانیسم فیزیولوژیکی سمیت آلومینیوم به طور کامل مشخص نمی باشد با این حال گزارش های زیادی نقش آن در تولید گونه های فعال اکسیژن مولکولی و ایجاد تنش اکسیداتیو را تایید می کنند (Devi et al., 2003). جایگاه اصلی در سمیت آلومینیوم غشاء پلاسمایی و دیواره سلولی در گیاهان می باشد. این عنصر با تاثیر بر پراکسیداسیون لیپید های غشایی و ترکیبات پروتئینی آن سبب تغییر ساختار، پتانسیل الکتریکی، سیالیت و نفوذپذیری انتخابی می شود (Cakmak

and Horst, 1991). آلومینیوم همچنین با تاثیر بر فعالیت آنزیم های موجود در غشاء و دیواره سلولی موجب تولید گونه های فعال اکسیژن مولکولی می گردد (Rengel and Zhang, 2003; Tun et al., 2007).

۱- ۴- ۱- صدمات لیپیدی

واکنش این ترکیبات با اسید های چرب غیر اشباع نقش موثری را در فساد و ایجاد طعم نامطلوب ایفا می کند. در این واکنش ها اسید های چرب غیر اشباع تجزیه می شود و ترکیبات آلدهیدی، هیدروکربن هایی چون اتان و اتیلن و مواد دیگر تولید می گردد (Scandalio, 1993; Vichnevetskaia and Roy, 1999).

۱- ۴- ۲- صدمات پروتئینی

گونه های فعال اکسیژن با تغییر اسید های آمینه، تجزیه زنجیره پپتیدی، تراکم و تجمع محصولات، تغییر شارژ الکتریکی و افزایش حساسیت به پروتئولیز سبب آسیب پروتئین های سلولی می شود (Scandalio, 1993).

۱- ۴- ۳- صدمات DNA

این ترکیبات سبب بروز تغییرات ساختاری در باز های نوکلئوتیدی و اسکلت قندی می شوند.

۱- ۵- سمیت آلومینیوم در جانوران

اثرات سمی آلومینیوم در سیستم های جانوری نیز مورد بررسی قرار گرفته است. این یون سبب

بروز بیماری های مختلفی چون آلزایمر و ناراحتی های ریوی و کلیوی می شود. در ارتباط با آلزایمر تحقیقات نشان داده است که Al با اثر بر فعالیت میتوکندری سبب تحریک تولید رادیکال های آزاد، ایجاد تنش اکسیداتیو، افزایش پراکسیداسیون چربی ها و ترکیبات دیگر می شود (Markesbery, 1997; Perl, 2005).

۱- ۶- مکانیسم های مقاومت به آلومینیوم در گیاهان

گیاهان بر اساس پاسخ به افزایش آلومینیوم محیطی، به انواع حساس و متحمل دسته بندی می شوند. گونه های گیاهی در میزان تحمل آلومینیوم متفاوت بوده و برخی از این تفاوت ها ارثی می باشند (Miyasaka et al., 1991). گیاهان متحمل به منظور کاهش اثرات منفی این عنصر، راهکار های مختلفی (داخلی، خارجی و ژنتیکی) به کار می برند (Wang et al., 2006).

۱- ۶- ۱- مکانیسم های خارجی: اساس عملکرد گیاه در مکانیسم های خارجی ممانعت از ورود آلومینیوم به داخل بافت و سلول ها می باشد. از آن جمله می توان به موارد زیر اشاره نمود (Wang et al., 2006).

۱- تجمع آلومینیوم در دیواره سلولی از طریق اتصال به ترکیبات دیواره

تمایل زیاد آلومینیوم به ترکیبات دهنده اکسیژن مانند گروه های فسفات و کربوکسیلات سبب اتصال آن به فسفولیپید های غشایی و در نتیجه جلوگیری از ورود آن به داخل سلول می شود (Devi et al., 2003).

۲- نفوذ انتخابی غشاء پلاسمایی

۳ تغییر pH ریزوسفر و آپوپلاسم سلول های ریشه

۴- خروج ترکیبات کلیته آلومینیوم

۵- ترشح فسفات

۶- خروج آلومینیوم

۷- ایجاد تغییر پروتین های غشاء

۸- فعالیت ATP ase موجود در غشاء میکروزومی

همچنین ترشح ترکیبات موسیلاژی نظیر پکتین و پلی D- گالاکتورونیک اسید از نوک ریشه در گیاهان، احتمالا از طریق ایجاد لایه ای در سطح ریشه از انتشار آلومینیوم جلوگیری می کند و از سمیت آن می کاهد (Wang et al., 2006).

۱- ۶- ۲- مکانیسم های داخلی: اساس عملکرد گیاه در مکانیسم های داخلی به تحمل یون آلومینیوم در داخل سیمپلاسم مربوط می شود که در این حالت Al نفوذ یافته به پلاسمالما به صورت غیر فعال در می آید (Wang et al., 2006).

مکانیسم های داخلی عبارتند از:

۱- تشکیل کلیت آلومینیوم در سیتوزول

۲- تجمع آلومینیوم در واکوئل

۳- فعالیت های آنزیمی

ترشح انواع مختلف دی و تری کربوکسیلیک اسید ها نظیر سیتریک، مالیک، اگزالیک و تارتاریک اسید در داخل گیاه (تحمل داخلی) و یا به محیط ریزوسفر (تحمل خارجی) (Miyasaka et al., 1991). یکی از راهکار های مهم کاهش سمیت آلومینیوم از طریق اجتناب (avoidance) است (Watanabe et al., 2001; Wang et al., 2006). این ترکیبات با آلومینیوم کلیت می شوند و سمیت آن را متعادل می کنند. اسید های آلی همچنین از طریق اصلاح تغییرات ساختاری ناشی از سمیت آلومینیوم در پروتئین تنظیمی کالمودولین سبب حمایت فعالیت های آنزیمی در