



۱۸۶.۵۳



دانشگاه تربیت معلم

دانشکده علوم پایه - گروه زیست شناسی

پایان نامه جهت اخذ

درجه کارشناسی ارشد رشته زیست شناسی علوم گیاهی گرایش فیزیولوژی گیاهی

عنوان :

اثر متقابل آلومینیوم و ایندول استیک اسید بر رشد و فتوسنتز گیاه سویا

(*Glycin max* L. Merr)

استاد راهنما:

سرکار خانم دکتر فرزانه نجفی

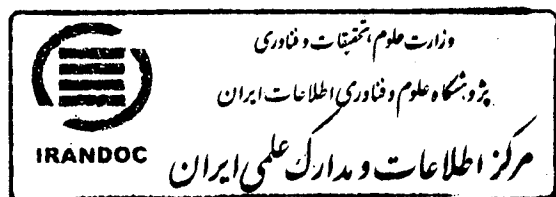
استاد مشاور:

جناب آقای دکتر رمضانعلی خاوری نژاد

نگارش:

فرزانه محمدی

اسفند ۱۳۸۹



۱۵۷۰۵۳

۱۳۹۰/۲/۲۷

تقدیم به مادر و پدر

این کوچک رخت می خواهد که در پیشگاه شما بنشیند و بگوید تمام آنچه بودم، هستم و خواهم بود

همه و همه

مدیون لطف بی انتهای شماست

همیشه بدانید که نزدیکم را جز شما سید بانی نیست.

ویرا دران عزیزم

پاس:

به رسم ادب بر خود لازم می دانم از زحمات استاد راهنمای گرامی ام سرکار خانم دکتر فرزانه نجفی ز تنهابه خاطر همه آنچه از ایشان آموختم بکمال دقت و حوصله ای که در انجام این تحقیق از خود نشان دادند کمال تشکر و قدر دانی را دارم و بخواه قدر دانی تمامی زحمات، کمک و راهنمایی های صبورانه و بی دریغ ایشان خواهم بود.

پاسکداز استاد گرامی جناب آقای دکتر مصطفی خاوری نژاد، بسم که با قبول شادرت این پروژه، از راهنمایی های خردمندانه شان بهره مند بودم و تشکر می انجامد ایشان افتخاری بزرگ برای من بوده است.

از جناب آقای دکتر فرخ قربانی نژاد که به عنوان داور داخلی و نماینده تحصیلات تکمیلی، قبول زحمت کردند پاس گذارم.

از جناب آقای دکتر یونس مستوفی به خاطر استقبال زحمت داری این پایان نامه، تشکر می نمایم.

از مساعدت و همکاری مدیریت گروه زیست شناسی سرکار خانم دکتر شهبانو عریان کمال تشکر را دارم.

از سرکار خانم فلاح منشی گروه، آقای کیوان، آقای رحیم زاده مسئول سایت به خاطر مساعدت های ایشان در طول انجام این پروژه پاسکدازم.

بجمله از تمام دوستان و همراهنان خوبم خانم پریا پویان، پریا صفاری و مسارحانی و آقای مصطفی رنجبری کمال تشکر را دارم و برای همه شان توفیق و سعادت آرزو مندم.

عنوان	شماره صفحه
چکیده	VI
هدف	VII
فصل اول - مقدمه	۱
۱-۱- معرفی گیاه سویا	۲
۱-۱-۱- تاریخچه سویا	۲
۱-۱-۲- رده بندی سویا و خصوصیات کلی ریخت شناسی آن	۲
۱-۱-۳- اهمیت اقتصادی سویا	۳
۱-۱-۴- اهمیت دارویی سویا	۴
۱-۲- پیشینه تحقیق عنصر آلومینیوم	۴
۱-۳- خواص فیزیکی و شیمیایی آلومینیوم	۵
۱-۴- طبیعت شیمیایی آلومینیوم و اشکال سمی آن در گیاهان	۵
۱-۵- برخی علائم ظاهری و سلولی سمیت Al^{3+} در گیاهان	۶
۱-۶- انتقال Al^{3+} از عرض غشای پلاسمایی	۶
۱-۷- جذب و توزیع Al^{3+}	۷
۱-۸- Al^{3+} و فرایندهای ترارسانی علامت	۸
۱-۹- Al^{3+} و تشکیل کالوز	۸
۱-۱۰- Al^{3+} و اسکلت سلولی	۹
۱-۱۱- Al^{3+} و تقسیم سلولی	۹
۱-۱۲- Al^{3+} و کالمادولین	۱۰
۱-۱۳- Al^{3+} و غشای پلاسمایی	۱۰
۱-۱۴- Al^{3+} و القای مرگ سلولی	۱۲

- ۱۳-۱- عناصر سنگین و پاسخ های سازشی گیاه به آنها..... ۱۳
- ۱۳-۱-۱- کلات شدن با اسیدهای آلی..... ۱۳
- ۱۵-۱-۲- غیر متحرک کردن Al^{3+} ۱۵
- ۱۵-۱-۳- اثر تونوپلاست(غشای واکنش)..... ۱۵
- ۱۵-۱-۴- پروتئین های شوک حرارتی..... ۱۶
- ۱۶-۱- ایندول ۳-استیک اسید(IAA)..... ۱۶
- ۱۶-۱- پیام رسانی قطبیت سلول؛ با تمرکز برانتقال قطبی اکسین..... ۱۶
- ۱۸-۱- پیام رسانی اکسین..... ۱۸
- ۱۹-۱- اکسین و ریشه زایی..... ۲۰
- ۲۰-۱- اثرات برهم کنش Al^{3+} و اکسین..... ۲۱
- ۲۱-۱- اثر Al^{3+} بر اکسین و تولید اتیلن..... ۲۱
- ۲۳- فصل دوم- مواد و روش ها..... ۲۳
- ۲۴-۱- دستگاه های مورد نیاز..... ۲۴
- ۲۴-۲- وسایل و مواد مورد نیاز..... ۲۴
- ۲۴-۳- روش کاشت و نگهداری گیاه..... ۲۶
- ۲۴-۴- مراقبت های بعد از کاشت..... ۲۸
- ۲۴-۵- آنالیز رشد..... ۳۱
- ۲۴-۵-۱- میزان ماده سازی خالص (NAR)..... ۳۱
- ۲۴-۵-۲- میزان رشد نسبی (RGR)..... ۳۲
- ۲۴-۵-۳- میزان رشد نسبی برگ (RLGR)..... ۳۲
- ۲۴-۵-۴- سطح ویژه برگ (SLA)..... ۳۳
- ۲۴-۵-۵- محتوای آب در واحد سطح برگ (LWCA)..... ۳۳

۳۳	۶-۲- تعیین محتوای نسبی آب برگ ها
۳۴	۷-۲- سنجش تبادلات گازی
۳۴	۱-۷-۲- سنجش شدت فتوسنتز
۳۴	۲-۷-۲- سنجش شدت تنفس در تاریکی
۳۵	۳-۷-۲- محاسبه نقطه جبران CO ₂
۳۶	۸-۲- سنجش رنگیزه های فتوسنتزی
۳۶	۱-۸-۲- سنجش کلروفیل ها
۳۶	۲-۸-۲- سنجش کاروتنوئیدها
۳۷	۹-۲- سنجش پرولین
۳۸	۱-۹-۲- روش تهیه نین هیدرین
۳۸	۱۰-۲- سنجش پروتئین کل
۳۹	۱-۱۰-۲- روش تهیه معرف برای استخراج پروتئین کل
۳۹	۱۰۲-۲- روش تهیه سرم گاوی (BSA) با غلظت یک میکروگرم بر میکرولیتر ($\mu\text{g}\mu\text{l}^{-1}$)
۴۰	۱۱-۲- سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز
۴۰	۱۲-۲- سنجش فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز
۴۱	۱۳-۲- سنجش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز
۴۱	۱۴-۲- سنجش میزان مالون دی آلدهید
۴۲	۱۵-۲- سنجش کربوهیدرات ها
۴۲	۱-۱۵-۲- سنجش قندهای محلول
۴۳	۲-۱۵-۲- سنجش قندهای نامحلول
۴۴	۳-۱۵-۲- روش تهیه محلول های مورد نیاز برای سنجش قندهای محلول
۴۴	۱-۳-۱۵-۲- محلول کوئیوروسدیک

۴۵	..... ۲-۱۵-۳-۲- محلول آرسنومولیبیدات
۴۵	..... ۲-۱۶- سنجش میزان آنتوسیانین ها و فنل ها
۴۶	..... ۲-۱۷- سنجش میزان عنصر آلومینیوم بافت گیاهی
۴۷	..... ۲-۱۸- محاسبات آماری
۴۸	..... فصل سوم- نتایج
۴۹	..... ۳-۱- نتایج مربوط به مقایسه نشانه های آشکار گیاهان تحت تیمار، نسبت به شاهد
۵۱	..... ۳-۲- نتایج مربوط به آنالیز رشد
۵۹	..... ۳-۳- نتایج مربوط به آنالیز گازی
۵۹	..... ۳-۳-۱- فتوسنتز
۶۱	..... ۳-۳-۲- تنفس
۶۳	..... ۳-۳-۳- نقطه جبران CO ₂
۶۵	..... ۳-۴- نتایج مربوط به آنالیز رنگیزه های فتوسنتزی
۷۲	..... ۳-۵- نتایج مربوط به آنالیزهای بیوشیمیایی
۷۲	..... الف) قندهای محلول و نامحلول برگ
۷۶	..... ب) پروتئین برگ
۷۸	..... ۳-۶= نتایج مربوط به میزان فعالیت گایاکول پراکسیداز برگ
۸۰	..... ۳-۷- نتایج مربوط به میزان فعالیت آسکوربات پراکسیداز برگ
۸۲	..... ۳-۸- نتایج مربوط به میزان فعالیت کاتالاز برگ
۸۴	..... ۳-۹- نتایج مربوط به میزان پراکسیداسیون لیپید ریشه
۸۶	..... ۳-۱۰- نتایج مربوط به میزان آنتوسیانین
۸۸	..... ۳-۱۱- نتایج مربوط به میزان فنل
۹۰	..... ۳-۱۲- نتایج مربوط به میزان RWC

۹۲	۱۳-۳- نتایج مربوط به میزان پرولین.....
۹۴	۱۴-۳- نتایج مربوط به میزان غلظت آلومینیوم در ریشه و برگ.....
۹۴	۱۴-۳-۱- ریشه.....
۹۶	۱۴-۳-۲- برگ.....
۹۹	فصل چهارم- بحث و تفسیر.....
۱۰۰	۱-۴- تاثیر بر هم کنش آلومینیوم و اکسین بر رشد و تولید گیاه.....
۱۰۲	۲-۴- تاثیر بر هم کنش آلومینیوم و اکسین بر فتوسنتز، تنفس و نقطه جبران CO ₂
۱۰۵	۳-۴- تاثیر بر هم کنش آلومینیوم و اکسین بر محتوای رنگیزه های فتوسنتزی.....
۱۰۷	۴-۴- تاثیر بر هم کنش آلومینیوم و اکسین بر قندهای محلول و نامحلول برگ.....
۱۰۸	۵-۴- تاثیر بر هم کنش آلومینیوم و اکسین بر میزان پروتئین برگ.....
۱۰۹	۶-۴- تاثیر بر هم کنش آلومینیوم و اکسین بر فعالیت آنزیم های کاتالاز، گلیاکول پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز.....
۱۱۱	۷-۴- تاثیر بر هم کنش آلومینیوم و اکسین بر پراکسیداسیون لیپید ریشه.....
۱۱۳	۸-۴- تاثیر بر هم کنش آلومینیوم و اکسین بر میزان آنتوسیانین ها.....
۱۱۴	۹-۴- تاثیر بر هم کنش آلومینیوم و اکسین بر میزان فنل.....
۱۱۵	۱۰-۴- تاثیر بر هم کنش آلومینیوم و اکسین بر میزان RWC.....
۱۱۶	۱۱-۴- تاثیر بر هم کنش آلومینیوم و اکسین بر میزان پرولین.....
۱۱۷	۱۲-۴- تاثیر بر هم کنش آلومینیوم و اکسین بر میزان غلظت عناصر.....
۱۱۹	نتیجه گیری کلی.....
۱۲۰	فصل پنجم- منابع.....

اثر متقابل کلرور آلومینیوم (۵۰،۰،۱۰۰،۲۰۰ و ۳۰۰ میکرومولار) و ایندول استیک اسید (IAA) (۵۰،۰ و ۱۰۰ میکرو مولار) بر رشد و نمو گیاه سویا مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان داد که گیاه سویا مقاومت کمی به تنش آلومینیوم دارد. افزایش آلومینیوم باعث کاهش معنی دار میزان ماده سازی خالص (NAR)، میزان رشد نسبی (RGR)، میزان رشد نسبی برگ (RLGR) و میزان آب در واحد سطح برگ (LWCA) شده است اما میزان سطح ویژه برگی (SLA) افزایش معنی داری را نشان می دهد. افزایش IAA تا حدودی باعث بهبود اثرات مضر این عنصر می گردد که معنی دار می باشد. افزایش آلومینیوم موجب کاهش فتوسنتز، میزان کلروفیل ها و کاروتنوئیدها شد و موجب افزایش تنفس و نقطه جبران CO₂ گردید. با افزایش IAA، سرعت فتوسنتز، میزان کلروفیل ها و کاروتنوئیدها کاهش بیشتر و سرعت تنفس و نقطه جبران CO₂ افزایش بیشتری را نشان دادند محتوای آب برگ ها (RWC) و میزان پروتئین ها تحت تنش آلومینیوم، کاهش معنی داری را نشان داد و افزودن IAA به محیط تحت تنش، موجب تعدیل معنی دار محتوای آب برگ ها و میزان پروتئین می گردد. در تیمار آلومینیوم و برهمکنش آن با IAA، میزان قندهای نامحلول و محلول را به ترتیب افزایش و کاهش می یابد. همچنین افزایش آلومینیوم، میزان پرولین، آنتوسیانین و فنل را به طور معنی داری افزایش می دهد. همچنین افزایش غلظت آلومینیوم همانند تیمار بر هم کنش آلومینیوم و IAA، رابطه مثبتی با فعالیت آنزیم های پراکسیداز و کاتالاز دارد. آلومینیوم و IAA پراکسیداسیون لیپید ریشه را به طور معنی داری افزایش می دهند. تجمع عنصر آلومینیوم در ریشه ها و برگ های در مقایسه با شاهد افزایش معنی داری را نشان داد. با افزودن IAA به محیط کشت تجمع عنصر فوق در ریشه ها و برگ نیز افزایش معنی داری را نشان داد.

کلمات کلیدی: ایندول استیک اسید، آلومینیوم، سویا، تجمع عنصر آلومینیوم، پراکسیداز.

هدف از پژوهش :

گیاه سویا (*Glycin max* L.Merr) از تیره فاباسه (Fabaceae) است و بومی شرق آسیا است که جزء گروه دانه روغنی ها طبقه بندی شده است. در چین ۵۰۰۰ سال است که به عنوان غذا و یک ماده دارویی استفاده می شود. گزارش شده است که اثرات سودمند آن شامل: کاهش کلسترول، جلوگیری از سرطان، دیابت، چاقی و محافظت بر علیه بیماری های کلیوی است. سویا یک منبع مهم روغن گیاهی و پروتئین است به علاوه شامل متابولیت های ثانویه مانند: ایزوفلاوون ها، ساپونین ها، الیگوساکاریدها، فیتواستروژن ها، گواتیروژن ها و فیتیک اسیدها می باشند. این گیاه میتواند در یک محدوده وسیعی از خاک ها رشد کند اما بهترین رشد در خاک های رسوبی مرطوب با یک بافت آلی خوب انجام می شود (Manavalan et al, 2009).

آلومینیوم یکی از عناصر غیر ضروری می باشد. در شرایط طبیعی در خاک به فرم غیر قابل حل وجود دارد به عبارت دیگر اسیدی شدن خاک به طور برجسته سمیت آلومینیوم را در گیاه افزایش می دهد. از زمانی که خاک های اسیدی بیش از ۴۰ درصد زمین های قابل کشت دنیا را اشغال کرده اند، سمیت آلومینیوم به عنوان یک عامل بزرگ محدود کننده حاصلخیزی در دنیا فرض می شود و سمیت آلومینیوم به عنوان یک فاکتور محدودکننده رشد در خاک های اسیدی است (Ermolayev et al, 2003).

با افزایش روز افزون جمعیت جهان تامین مایحتاج غذایی بیشتر مورد توجه و اهمیت بشر قرار می گیرد. منبع اصلی تامین غذای بشر نباتات زراعی می باشند. به طور کلی بررسی ها نشان می دهد که ۹۰ درصد کالری و ۸۰ درصد پروتئین مورد نیاز انسان از منابع گیاهی و باقی آن از منابع حیوانی تامین می گردد و در این میان سهم دانه های روغنی به عنوان یکی از محصولات با اهمیت کشاورزی با فرآورده های مختلف خود جهت تامین بخشی از نیاز های جوامع بشری حائز اهمیت می باشد. بنابراین باید سعی در کشف توان دسترسی مقادیر زیستی، سمیت و بردباری گیاهان نسبت به فلزات سنگین داشت.

فصل اول

مقدمه

۱-۱ معرفی گیاه سویا

۱-۱-۱- تاریخچه سویا:

سویا گیاهی است بومی آسیا به ویژه چین و ژاپن، قدمت آن به حدود ۴۷۰۰ سال قبل در چین باز می‌گردد. که از این کشور به کشورهای همسایه مثل کره، ژاپن و جنوب شرقی آسیا و سرانجام در سراسر جهان گسترش یافته است اگر چه شرق موطن اصلی سویا است ولی امروزه تولید سویا در آمریکای شمالی، بیش از کل تولید آن در شرق است. سطح زیر کشت گیاه سویا در شرق کمتر از نصف سطح زیر کشت و تولید دانه گیاه سویا کمتر از ربع تولید دانه این گیاه در آمریکای شمالی است. در سال ۱۸۸۲ به برزیل راه یافت اما در حدود ۱۰۰ سال اهمیت چندانی پیدا نکرد و این در حالی است که این کشور در حال حاضر یکی از تولید کنندگان و صادر کنندگان عمده سویا در جهان است. سویا در ابتدا بیشتر به صورت علوفه مصرف می‌شد و در سال ۱۹۱۵ برای اولین بار روغن از آن استخراج شد. امروزه این گیاه روغنی- پروتئینی به عنوان یک گیاه زراعی در جهان از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است (Fargion et al, 2008).

۱-۱-۲- رده‌بندی سویا و خصوصیات کلی ریخت شناسی آن:

سویا گیاهی است از سلسله *Planta*، شاخه *Magnoliphya*، رده *Magnoliopsida*، زیر رده *Rosidae*، راسته *Fabales*، تیره *Fabaceae*، سرده *Glycine* (Cronquist 1988). گیاهی است یک ساله، علفی و دولپه ای با ساقه‌ای راست، پرزدار، برگهای مرکب، سه برگچه‌ای متناوب، ولی دو برگ اول ساده متقابل، گل‌های سفید و بنفش آن به صورت دسته‌ای از بغل برگ‌ها می‌روید، دارای میوه نیام. اگر چه گوناگونی مورفولوژیک وجود دارد ولی به طور معمول، سویا به طول ۹۰-۱۲۰ سانتی‌متر رشد می‌کند و هر گل سبب تشکیل ۰ تا ۵ غلاف در هر بند و ۱ تا ۵ دانه در هر غلاف می‌شود (Blackman et al, 1992)

۱-۱-۳- اهمیت اقتصادی سویا:

سویا دارای سه بازار عمده روغن، کنجاله و دانه است. روغن سویا یکی از اجزای اصلی بازار روغن خوراکی است و به صورت مختلفی به خصوص مارگارین و روغن جامد تبدیل می‌گردد که از این نظر مورد رقابت با سایر روغن‌های نباتی است. کنجاله سویا به عنوان یک منبع پروتئین به شدت مورد تقاضا است. سویا جهت خوراک انسان به مواد متفاوت دیگری تبدیل می‌شود که البته مقدار آن بسیار ناچیز است. روغن سویا ۲۰ تا ۲۵ درصد چربی‌های دنیا و ۳۰ تا ۳۵ درصد تولیدات روغن‌های نباتی را تشکیل می‌دهد این روغن از نظر اقتصادی جزء فراوان‌ترین روغن‌های خوراکی دنیا است. پروتئین سویا دارای اهمیت اقتصادی زیادی است، پروتئین موجود در محصولات اصلی مانند گندم، برنج و ذرت درصد پایین و حدود ۷/۳ تا ۱۴۳ درصد است در صورتی که سویا با دارا بودن ۳۵ تا ۴۵ درصد پروتئین مقام اول را دارد که این چیزی در حدود دو برابر پروتئین گوشت است.

پروتئین‌های جدا شده از آن، کازئین، آلبومین، گلوپتین، گالی‌نین، فازئولین و گلوبولین است. پروتئین‌های سویا سرشار از اسیدهای آمینه ضروری است. اسید آمینه‌های مهم موجود در دانه سویا: آرژینین، لیزین، تریپتوفان هیستیدین، فنیل‌آلانین، سیستین، متیونین، ترئونین، لوسین، ایزولوسین و والین هستند. هر چند از نظر اسیدهای آمینه تریپتوفان و متیونین غنی نیست ولی فراوانی بقیه اسیدهای آمینه ضروری به ویژه لیزین، پروتئین سویا را در زمره بهترین پروتئین‌های گیاهی قرار داده است. پس از استخراج روغن دانه در صنعت، کنجاله‌ای باقی می‌ماند که حاوی مواد پروتئینی است و در تهیه فرآورده‌های متنوعی مورد استفاده قرار می‌گیرد از جمله: آرد سویا، شیر سویا، پنیر سویا، انواع سس سویا (Henk, 2005; Endres, 2001; Keshun, 1977).

ترکیب اسیدهای چرب موجود در سویا به صورت زیر است:

۱۱٪ اسید پالمیتیک، ۴٪ اسید استئاریک، ۲۴٪ اسید اولئیک، ۵۴٪ اسید لینولئیک، ۷٪ اسید لینولنیک و

میزان اسیدهای چرب اشباع شده و اشباع نشده در سویا به صورت زیر است:

۱۰/۱۶٪ اسیدهای چرب اشباع شده، ۸۳/۹٪ اسیدهای چرب اشباع نشده، ۳/۷٪ گلیسرین. هیدرات‌های کربن مهم آن، نشاسته و سلولز می‌باشند و ویتامین‌های موجود در دانه آن شامل: A، D، E، K و B₂ است. درصد هیدرات کربن در دانه سویا ۲۳٪ است، درصد پروتئین ۳۰ تا ۵۰٪ است، درصد چربی موجود در دانه ۱۸ تا ۲۲٪ و درصد مواد کانی ۳ تا ۶٪ است.

۱-۱-۴- اهمیت دارویی سویا:

سویا دارای ارزش بالایی برای انسان‌ها، به خصوص کودکان و کسانی که مبتلا به دیابت هستند، می‌باشد (Yoon et al, 1983). از مدت‌ها پیش ثابت شده که مواد غذایی حاوی سویا ضمن این که خون رابه صورت سیال‌تری در آورده، مقدار کلسترول خون را نیز پایین می‌آورد (Henkel, 2008). همچنین بیان شده است که روغن سویای غیرهیدروژنه، مجموع کلسترول پلاسمای خون را به میزان ۱۲/۹٪ و LDL (Low Density Lipoprotein) را به میزان ۲۴/۳٪ کاهش می‌دهد و می‌تواند از بروز سگته‌های قلبی و مغزی تا حدودی جلوگیری کند (Manavalan et al, 2009; Hogervorst et al, 2008).

سویا یکی از مواد غذایی است که دارای خاصیت ضدسرطانی می‌باشد که علت این امر حضور ماده‌ای به نام Genistein می‌باشد که حاصل از هیدرولیز ایزوفلاون‌ها است و این گیاه دارای اسید فیتیک نیز می‌باشد که مانند آنتی‌اکسیدانت عمل کرده و نقش کلات شونده‌گی دارند (Vucenik et al, 2003).

۱-۲- پیشینه تحقیق عنصر آلومینیوم:

سمیت ناشی از Al یکی از مشکلات اصلی در برخی از خاک‌های اسیدی می‌باشد (Kochian, 1995). Al در pH کمتر از ۵ به صورت آزاد در آمده و موجب سمیت برای گیاه می‌شود (Tohidi et al, 2009). تقریباً ۴۰ درصد زمین‌های قابل کشت جهان دارای خاک‌های اسیدی می‌باشد. Al در خاک‌های اسیدی به صورت کاتیون Al³⁺ در می‌آید که قابل جذب برای گیاهان می‌باشد. این عنصر سمی می‌تواند تعدادی از ساختارهای برون و درون سلولی و همچنین فرآیندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی را تحت تأثیر قرار دهد (Ermolayev et al, 2003).

۳-۱- خواص فیزیکی و شیمیایی آلومینیوم:

Al در گروه سوم جدول تناوبی عناصر با عدد اتمی ۱۳، وزن اتمی ۲۶/۹۸، دانسیته $۲/۷\text{Cm}^3$ ، نقطه ذوب $۹۳۳/۴۳۷\text{K}$ و نقطه جوش ۲۷۹۲K قرار دارد. Al به شکل آزاد در طبیعت یافت نمی‌شود بلکه عمدتاً به دو شکل پتاسیم آلومینیوم سولفات ($\text{KAl}(\text{SO}_4) \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) و اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) در طبیعت وجود دارد. Al خالص، یک فلز روشن و نرم می‌باشد و هادی خوبی برای گرما و جریان الکتریسیته می‌باشد. Al_2O_3 در آب تشکیل کمپلکس $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ را می‌دهد که هم می‌تواند به یون‌های هیدروژن و هم هیدروکسید متصل شود. هیدروکسید آلومینیوم، آمفوتریک است زیرا در اسید حل شده و به یون‌های هیدروژن متصل می‌شود و در محلول‌های بازی هیدروژن آزاد می‌کند. در pH خنثی، هیدروکسید آلومینیوم، به طور محدودی حل می‌شود. در یک محلول هیدروکسید آلومینیوم با pH زیر ۵/۵ یون‌های $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ ، $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ و Al^{3+} ایجاد می‌شود (Weast, 1979). Al سومین عنصر فراوان بعد از اکسیژن و سیلیکون می‌باشد و حدود ۷٪ جرم پوسته زمین را در برمی‌گیرد (Kochian, 1995).

۴-۱- طبیعت شیمیایی آلومینیوم و اشکال سمی آن در گیاهان:

Al در آب و خاک و هوا وجود دارد ولی بخش اعظم Al به صورت آلومینوسیلیکات^۱ جزء مواد کانی خاک می‌باشد و فقط مقدار اندکی (μm) در شکل‌های محلول ظاهر می‌شود که می‌تواند موجودات زنده را تحت تأثیر قرار دهد. Al محلول به چندین گروه دسته‌بندی می‌شود:

۱- اشکال آزاد Al^{3+} (Mononuclear)

۲- با بیش از یک مولکول آلومینیوم (Polynuclear)

۳- Al به صورت کمپلکس‌هایی با وزن مولکولی پایین.

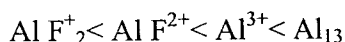
شکل‌های مختلف Al که در خاک به شکل‌های زیر وجود دارد: در شرایط اسیدی ($\text{pH} < 5$),

آلومینیوم سه ظرفیتی (Al^{3+}) شکل غالب آلومینیوم می‌باشد $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})^{3+}_4$ ، در حالی که در شرایط بازی

$\text{Al}(\text{OH})_4^-$ یا آلومینات شکل غالب می‌باشد. تحت شرایطی که محلول تا حدودی خنثی شده، شکل‌هایی از

1-Alomino silicate

Al دارای بیش از یک اتم Al دارند، ایجاد می‌شود. مهم‌ترین این نوع Al، $Al_2O_3 \cdot nH_2O$ ، $Al(OH)_3$ ، $Al_2(SO_4)_3$ ، $Al_2(PO_4)_3$ ، AlF_3 ، اسیدهای (Al_13) ، می‌باشد. بسیاری از کاتیون‌های Al به لیگاندهای آلی و غیرآلی نظیر PO_4^{3-} ، SO_4^{2-} ، F^- ، اسیدهای آلی، پروتئین‌ها و لیپیدها متصل می‌شوند. ترتیب انواع Al سمی برای ریشه‌های گندم به صورت زیر می‌باشد:



Al^{3+} اصلی‌ترین شکل سمی Al برای گیاهان می‌باشد (Mossor-Pietrazewska, 2001).

۱-۵- برخی علائم ظاهری و سلولی سمیت Al^{3+} در گیاهان:

مهار رشد ریشه اولین نشانه Al است. ریشه‌ها معمولاً کوتاه، شکننده، ضخیم و ممکن است قهوه‌ای رنگ شوند که در جذب آب و مواد غذایی کم بازده می‌باشند (Sun *et al*, 2010). مهار فعالیت H^+ -ATPase در غشای پلاسمایی سلول‌های نوک ریشه (Mossor-Pietrazewska *et al*, 1997)، تغییرات سطح و ترکیب لیپید غشای پلاسمایی (Horst & Eticha; Shen *et al*, 2005)، افزایش تنش اکسیداتیو (Bhuja *et al*, 2004)، تشکیل و تجمع کالوز (Ahn *et al*, 2002)، اختلال در پویایی اسکلت سلولی، تعامل با کالمدولین (Fangie *et al*, 2010; Panda *et al*, 2003) از نشانه‌های سمیت آلومینیوم در ریشه‌ها هستند. در اندام هوایی می‌توان به تغییرات سلولی و فرا ساختاری در برگ‌ها، کاهش منافذ روزنه‌ای، کاهش فعالیت فتوسنتزی که منجر به کلروزه و نکروزه شدن برگ‌ها می‌شود اشاره کرد (Williams *et al*, 2000).

۱-۶- انتقال Al^{3+} از عرض غشای پلاسمایی:

بررسی‌ها نشان می‌دهند که یون‌های چند ظرفیتی Al^{3+} در دو لایه لیپیدی غشا غیرمحلول می‌باشد (سدی برای Al^{3+} است). با این وجود برخی از یون‌های Al^{3+} می‌توانند از غشا عبور کنند. یک راه عبور $Fe(III)$ -فیتوسیدورفور است. در خاک‌های تحت تنش عناصر سنگین از جمله Al^{3+} ، افزایش نشانه‌های کمبود آهن را در گیاهان می‌توان مشاهده کرد. برخی باکتری‌ها در ریزوسفر هستند که می‌توانند متابولیت‌های ثانویه ای را تولید کنند که برای درمان گیاهی مفید هستند. این میکروب‌ها، تولید سیدورفور^۲

کرده و سیدرفور نه تنها با Fe^{3+} بلکه با سایر یون‌های دو یا چند ظرفیتی نیز می‌تواند پیوند شود (Dimkpa *et al*, 2008) وقتی سیدروفور کلات می‌شود با عنصر مورد نظر آن را به درون گیاه می‌برد.

راه دیگر مشابهت شعاع یونی است. Al^{3+} مشابهت زیادی از نظر اندازه به Mg^{2+} و Fe^{2+} دارد، بنابراین Al^{3+} ممکن است از غشای پلاسمایی از طریق یک کانال کاتیون دو ظرفیتی برای Mg^{2+} عبور کند (Bertsch *et al*, 1986).

۷-۱- جذب و توزیع Al^{3+} :

توزیع Al^{3+} بیشتر به صورت آپوپلاستی است. Al^{3+} از مرز بین رأس و کلاهک ریشه وارد شده و در سیتوپلاسم سلولهای نزدیک این ناحیه انباشته می‌شود و بعد به سلولهای اپیدرمی و کورتیکال DTZ منتقل شده و به جایگاه‌های اتصال منفی آپوپلاستی، روی گروه‌های کربوکسیل ترکیبات پکتین دیواره سلولی متصل می‌شود (Kollmeier *et al*, 2000).

میزان مقاومت گیاه ممکن است به محتوای ساختاری دیواره سلولی به ویژه به درجه متیلاسیون گالاکتورونیک اسید مربوط باشد. افزایش pH مقدماً منجر به کاهش رقابت بین Al^{3+} با H^+ برای جایگاه اتصال آپوپلاستی می‌شود.

افزایش pH در DTZ برای غیر فعال‌سازی Al^{3+} کافی نیست. این افزایش pH می‌تواند به روش‌های زیر انجام شود :

۱- جذب آنیون به صورت سیم پورت با H^+

۲- افزایش یون‌های اسیدهای آلی

۳- افزایش تنفس و تولید بی‌کربنات (Kollmeier *et al*, 2000).

همچنین سمیت Al^{3+} با یک افزایش در نسبت فسفاتیدیل کولین به فسفاتیدیل اتانول‌آمین وابسته است، که نفوذپذیری غشا را افزایش می‌دهد (Jun-Ping *et al*, 2006). پیش تیمار با Si، مقاومت به Al^{3+} را افزایش می‌دهد. Si، ایجاد فنول‌ها و آنیون‌های اسیدهای آلی را افزایش می‌دهد، اما اتصال Al^{3+} به دیواره

سلولی را کاهش می‌دهد. Si منجر به تشکیل هیدروکسی آلومینیوم سیلیکات (HAS) در آپوپلاست می‌شود و بنابراین سم‌زدایی Al^{3+} را به دنبال دارد (Horst & Eticha, 2010; Wang, 2004).

فعالیت آنزیم پکتین متیل استراز در دیواره سلولی کشت حساس به Al^{3+} بیشتر از کشت‌های مقاوم به Al^{3+} است. متیل زدایی از طریق (PME) کنترل می‌شود و متیل زدایی بالاتری در پکتین‌های کشت‌های حساس به Al^{3+} دیده شده است (Gerendas, 2007) و نسبت بالاتری از پکتین آزاد (دمیتله) در دیواره سلولی نشان دهنده شمار بیشتری از Al^{3+} در رأس ریشه است (Yang et al, 2008).

۸-۱- Al^{3+} و فرآیندهای ترارسانی علامت:

اتصال یک ماده به گیرنده به صورت رقابتی در سطح غشای پلاسمایی، سبب پیام‌رسانی به یک G - پروتئین هتروتیرمیک می‌شود. ضمن تبدیل GTP به GDP، زیر واحد $G\alpha$ جدا می‌شود و پس از آن فسفولیپاز C (PLC) غشای پلاسمایی را فعال می‌کند که با فسفاتیدیل اینوزیتول ۱ و ۴ و ۵- تری فسفات غشای پلاسمایی در ارتباط است.

پس از آن یک پیامبر ثانویه ایجاد می‌شود به نام IP_3 (اینوزیتول تری فسفات) و به درون سیتوپلاسم رها می‌شود که نقش اصلی آن باز کردن کانال لیگاندی Ca^{2+} و افزایش Ca^{2+} سیتوسلی است و می‌تواند پاسخ سلولی را یا از طریق پیوند شدن به کالمادولین و فعال‌سازی آن و یا از طریق پیوند شدن به آنزیم‌های خاص میانجی‌گری کند (Wood et al, 1994).

اتصال Al^{3+} به دیواره سبب تغییر پتانسیل غشا شده و نتیجه آن فعال‌سازی یک سری از کانال‌های کلسیمی است، و نتیجه افزایش Ca^{2+} سیتوپلاسمی دو عمل تخریبی تشکیل کالوز و تخریب اسکلت سلولی در سلول می‌باشد (Rengel & Zhang, 2003).

۹-۱- Al^{3+} و تشکیل کالوز:

تشکیل کالوز^۳ (۱ و ۳- بتا- دی گلوکان) یکی از پاسخ‌های سریع در غشای پلاسمایی سلول‌های رأس ریشه می‌باشد (Bhuja et al, 2004; Sivaguru, 2000). کالوز به وسیله آنزیم ۱ و ۳- بتا- دی گلوکان سنتاز

در غشای پلاسمایی سنتز می‌شود، که این آنزیم متصل به غشا می‌باشد و از UDP- گلوکز به عنوان سوبسترا استفاده می‌کند (Sivaguru, 2000)، یکی از شرایط لازم برای القای کالوز، افزایش Ca^{2+} سیتوپلاسمی است (Rengel & Zhang, 2003) افزایش Ca^{2+} القا شده از طریق آلومینیوم، فعال کننده آنزیم ۱ و ۳- بتا- دی گلوکان سنتاز است. در شرایط طبیعی آنزیم UDP- گلوکز: بتا فورفوریل- بتا- گلولوزیل ترانسفراز، واکنش UDP- گلوکز را با بتا فورفوریل در سیتوپلاسم کاتالیز می‌کند و محصول واکنش بتا- فورفوریل- بتا گلوکوزید است که از طریق یک آنتی پورتر به درون واکوئول انتقال می‌یابد. تحت تنش آلومینیوم فعالیت آنزیم UDP- گلوکز: بتا فورفوریل- بتا- گلولوزیل ترانسفراز مختل شده که این عمل، افزایش غلظت UDP- گلوکز و بتا فورفوریل- بتا گلوکوزید در سیتوپلاسم است که هر دو محصول تولید شده، فعال کننده آنزیم ۱ و ۳- بتا- دی گلوکان سنتاز هستند.

تشکیل کالوز القا شده از طریق Al^{3+} در نوک ریشه ها ارتباط مستقیمی با مهار رشد ریشه دارد و سنتز کالوز القا شده به وسیله Al^{3+} ارتباط عکسی با مقاومت به Al^{3+} در *Z.mays* (Horst et al, 1997) و سویا دارد (Ermolayev et al, 2003).

۱-۱۰- Al^{3+} و اسکلت سلولی:

Al^{3+} منجر به برهم زدن سازماندهی فیلامنت‌های اکتین در ناحیه TZ (Transition Zone) می‌شود (Zhang et al, 2009)، هم‌چنین بیان ژن اکتین و پروفیلین از طریق Al^{3+} باز داشته می‌شود (Zhang et al, 2007). پروفیلین یک پروتئین متصل به اکتین است و تنظیم کننده پلی‌مریزاسیون فیلامنت‌های اکتین است و نقش برجسته‌ای در طویل شدن سلول ایفا می‌کند (Ramachandran et al, 2000).

۱-۱۱- Al^{3+} و تقسیم سلولی:

مکانیسم‌های جلوگیری از رشد ریشه القا شده از طریق Al^{3+} ، هنوز به وضوح مشخص نیست (Matsumoto, 2000). تقسیم سلول نمی‌تواند علت اولیه مهار رشد ریشه قلمداد شود (Wallace, 1984) به دلیل اینکه تقسیم سلول یک فرآیند آهسته می‌باشد و چرخه سلول در ریشه تقریباً ۲۴ ساعت طول می‌کشد (Powell et al, 1986). Al^{3+} می‌تواند تشکیل کالوز را القا کرده و منع رشد ریشه بین ۳۰ تا ۶۰ دقیقه بعد