تاثیرآلومینیوم بر میزان اجزای پلی ساکاریدی دیواره سلولهای چای (*Comellia sinensis* **L. cv. Yabukita**) حاصل از بساک در کشت تعلیقی

خدیجه شکوهی، فائزه قناتی*

گروه علوم گیاهی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

* مسئول مکاتبات- آدرس الکترونیکی: *ghangia@modares.ac.ir*

(دریافت: ۸۷/۸/۱۱ ؛ پذیرش:۸۸/۴/۲۸)

چکیده

آلومینیوم یکی از فراوانترین عناصر موجود در خاک است که در خاکهائی با اسیدیته بالا به شکل انحلال پذیر Al^{3+} درآمده ، از طریق ریشه جذب شده و بدین ترتیب بر رشد گیاهان تاثیر می گذارد . گیاهان انباشت کننده آلومینیوم گیاهانی هستند که مقدار زیادی آلومینیوم را در خود ذخیره می- کنند. این گیاهان اغلب در خاک های اسیدی رشد می کنند. چای یکی از معروفترین این گیاهان است که بیش از ۱۰۰۰۰ppmآلومینیوم در برگهای مسن خود ذخیره می کند. دربسیاری از تحقیقات گذشته تاثیر آلومینیوم در کوتاه مدت ثابت گردیده و مهار سریع رشد ریشه توسط آن گزارش شده است . همچنین آزمایشات متعددی نشان داده است که آلومینیوم در ابتدا وارد راس ریشه شده و غالبا در آپوپلاست جای می گیرد. در واقع آپوپلاست با داشتن ماتریکس پکتینی با بار منفی مهمترین محل اتصال آلومینیوم می باشد. تحقیق حاضر به منظور شناسائی هر چه بیشتر تاثیر آلومینیوم بر پلی ساکارید های دیواره سلولی چای انجام شد.سلول های چای (*Camellia sinensis L. cv. Yabukita*) در محیط کشت تعلیقی B5 با غلظت های مختلف آلومینیوم (۳۰،۰ و ۶۰ میکرومولار) تیمار شدند. سلول ها پس از ۲۴ ساعت برداشت شده و دیواره سلولی و اجزای مختلف پلی ساکاریدی آن شامل پکتین ، سلولز، همی سلولزA و B استخراج و اندازه گیری شد. درصد زنده بودن سلول ها، میزان جذب آلومینیوم توسط سلول ها و تغییرات بیوماس نیز مورد سنجش قرار گرفت. نتایج حاکی ازافزایش بیوماس سلولهای چای و همچنین افزایش میزان جذب آلومینیوم به وسیله سلولهای تیمار شده با آلومینیوم بود. وزن دیواره و مقدار سلولز A نیز، در سلولهای تیمار شده با آلومینیوم نسبت به سلولهای شاهد افزایش نشان داد اما مقدار پکتین این سلولها نسبت به سلولهای شاهد کاهش یافت. همچنین در میزان همی سلولز B در تیمار با۳۰ میکرومولار آلومینیوم افزایش معنی داری مشاهده شد اما در میزان سلولز تغییری مشاهده نگردید. نتایج پیشنهاد می کند که پلی ساکارید های دیواره سلولهای چای در تعدیل سمیت آلومینیوم و حفظ توان زنده بودن آنها در تیمار با آلومینیوم نقش دارند.

واژه‌های کلیدی: آلومینیوم، پکتین، سلولز، کشت تعلیقی ، همی سلولز A ، همی سلولز B.

مقدمه

آلومینیوم (Al) یکی از فراوان ترین عناصر پوسته زمین می‌باشد که میزان آن به ٪۷کل عناصر می رسد. Al عنصری است که فرم شیمیائی و نقش زیستی پیچیده ای دارد. با کاهش pH خاک انحلال پذیری آن افزایش یافته و از طریق ریشه جذب می گردد و بدین ترتیب بر رشد گیاهان تاثیر می گذارد. در واقع Al به عنوان مهمترین فاکتور محدود کننده رشد ریشه در خاک های اسیدی شناخته شده است (Foy *et al.* 1987). با توجه به اهمیت Al تحقیقات وسیعی در مورد این عنصر و اثرات سمی آن و همچنین روی مکانیسم سمیتAl و مقاومت نسبت به آن در گیاهان انجام شده است. بعضی گونه های گیاهی موسوم به انباشت کننده‌های Al ، غلظت های بالائی از Al را در اندامهای بالایی خود جمع می کنند بدون اینکه علامت سمیت را نشان دهند. مطالعات اخیر نشان داده است که در برخی گیاهان مقاوم، جذب Al از راس ریشه به وسیله تراوش ترکیباتی خاص از جمله اسیدهای آلی نظیر مالیک اسید مهار می گردد (Morita *et al.* 2008). علاوه بر مکانیسم های خارجی مانند مورد فوق، مکانیسم های مقاومت داخلی نیز برای سم زدائی Al پس از جذب آن از اهمیت خاصی بر خوردارند و با توجه به اینکه Al با تعداد زیادی از ساختارهای خارج و داخل سلولی بر همکنش دارد مکانیسم های زیادی برای سمیت و مقاومت به آن پیشنهاد شده است. اما بعید به نظر می رسد که برای همه گیاهان یک مکانیسم مشترک وجود داشته باشد (Kochian 1995). در گیاهی نظیرچای که قادر به انباشت کردن مقادیر زیادی Al می باشند، رشد گیاه حتی در خاکهای بسیار اسیدی که حاوی غلظت های بالای Al قابل حل هستند تحریک می شود (Konishi 1992). با توجه به این یافته ها به نظر می رسد که سم زدایی Al در برگهای چای اتفاق می افتد .تحقیقات متعدد نشان داده است که دیواره یکی از مکان های

Archive of SID

www.SID.ir

اصلی ایجاد سمیت و سمیت زدائی فلزات سنگین می باشد و اولین بخش از سلول گیاهی است که با این فلزات اتصال بر قرار می کند (Schomhl & Horst 2000; Harvey *et al.* 2002). اخیرا نیز نتایجی به دست آمده که به اثبات نقش آپوپلاست در بیان سمیت Al و مقاومت به آن کمک می کند (Horst 1995, Rengel1996; Blamey *et al.* 1993). هدف از پژوهش حاضر بررسی تاثیر Al بر ترکیبات بیوشیمیائی آپوپلاسم سلول های گیاه چای و تغییرات بیوماس و رشد در محیط کشت تعلیقی می باشد.

مواد و روش ها

کشت سلول های چای و تیمار آنها با آلومینیوم

کالوس های ۲۰ روزه حاصل از بساک چای (*Camellia sinensis* L.cv.Yabukita) در محیط جامد B5 کشت شده و مورد استفاده قرار گرفت. با قرار دادن قطعات کوچکی ازاین کالوس ها در ۳۰ میلی لیتر محلول B5 ،کشت تعلیقی تهیه شد تا جمعیت همگنی از سلولها به دست آمده و از نظر دسترسی به Al نیزدر شرایط یکسانی باشند. کشتهای تعلیقی در شرایط تاریکی و در دمای ۲۷±۲°C بر روی شیکر افقی با ۱۲۳ rpm نگهداری شدند. آزمایش های مقدماتی، زمان رشد لگاریتمی سلول های چای را در کشت تعلیقی ، ۸-۵ روز پس از واکشت نشان داد. لذا کشت های تعلیقی هفته ای یک بار واکشت شدند. سلول ها در فاز لگاریتمی رشد با کمک پمپ و ارلن خلاء بر روی قیف بوخنرحاوی کاغذ صافی و نایلون مش (42µm) صاف شده و به میزان مساوی (۳ گرم در ۳۰ میلی لیتر محیط کشت) به فلاسک های مجزای حاوی محیط کشت B5 وغلظت های صفر، ۳۰ و ۶۰ میکرومولار $AlCl_3$ اضافه شدند. سلول ها بعد از ۲۴ ساعت برداشت شده و بلافاصله با نیتروژن مایع تثبیت شدند.

تعیین توان زیستی

توان زیستی سلول ها با رنگ آمیزی به وسیله Evans blue (محلول آبی ۰/۱ درصد)، شستشو با آب مقطر پس از گذشت ۲ الی ۳ دقیقه و مشاهده سلولها در زیر میکروسکوپ نوری مدل (Olympus, BH2, Japan) سنجیده شد. سلول هائی که کاملا به رنگ آبی درآمده بودند مرده و سلول هائی که تنها دیواره آنها رنگ آبی به خود گرفته بود سلول های زنده در نظر گرفته شد. با شمارش سلول های زنده و مرده و محاسبه کل آنها درصد توان زیستی سلول ها تعیین گردید . (Ghanati *et al.* 2002)

تعیین میزان تغییرات بیوماس

پس از تیمار ۲۴ ساعته با آلومینیوم سلول های هر فلاسک جداگانه در زیر هود لامینار با پمپ خلا صاف گردیدند. محتوای صاف شده هر فلاسک با محیط کشت B5 شسته شد. سلول های شسته شده مجددا به فلاسک های حاوی محیط کشت بدون آلومینیوم منتقل شدند و یک هفته در این محیط ماندند تا اثر تیمار ۲۴ساعته با $AlCl_3$ بر رشد بعدی آنها آشکار گردد. گروه های شاهد نیز پس از ۲۴ ساعت مانند سلول های تیمار صاف شده و پس از ۳ بار شستشو با محیط کشت، مجددا به این محیط برگردانده شدند. پس از گذشت یک هفته سلول ها صاف شده و به طور جداگانه توزین شدند (Yamamoto *et al.* 1994).

سنجش میزان آلومینیوم جذب شده توسط سلول ها

مقادیر یکسانی (۵ گرم) از نمونه های منجمد از گروه های شاهد و تیمار شده با $AlCl_3$ در کروزه های چینی به مدت ۲ ساعت در دمای ۲۵۰°C قرار گرفت. پس از آن دمای کوره به ۵۵۰ °C درجه رسانیده شد و اجازه داده شد که نمونه ها به مدت ۲/۵ تا۳ساعت در این دما بمانند. به خاکستر سفید حاصل پس از سرد شدن۱میلی لیتر از محلول $HCl(12N):H_2O$ (1:1 v/v) اضافه شد و در حمام شن ۱۱۰ °C گذاشته شد. پس از خشک شدن کروزه ها به هرکدام ۵ میلی لیتر HCl نرمال اضافه گردید. میزان آلومینیوم در محلولهای حاصل با استفاده از دستگاه ICP (Inductively Coupled Plasma Spectroscopy) (VIST A-PRDCCD, simultaneous) ساخت کشور استرالیا اندازه‌گیری شد.

استخراج ماتریس پلی ساکاریدی دیواره

۳ گرم از توده‌های سلول های منجمد شده پس از توزین درون هاون با استفاده از آب مقطر سائیده شدند. پس از هموژنیزه شدن بر روی نایلون مش(42µm) صاف گردیدند. توده دیواره ای حاصل طی مراحل متوالی با حلالهای آلی شامل ۴حجم اتانول مطلق(V/W) به مدت ۲دقیقه،۱۰ حجم اتانول مطلق ۱ ساعت ، ۱۰حجم استون ۱ ساعت و بالاخره۱۰ حجم مخلوط کلروفرم:متانول (به نسبت حجمی۱:۲) یک شب شسته شد و با استفاده از پمپ خلا بر روی نایلون مش(42µm) و قیف بوخنر صاف گردید. به این ترتیب توده سفید رنگی به دست آمد که در زیر هود به مدت ۳-۴ ساعت خشک شد. این توده که عمدتا بخش پلی ساکاریدی دیواره است تا زمان استفاده درون پتری شیشه ای و در درون دسیکاتور نگهداری شد(Ghanati 2002).

جداسازی ترکیبات پلی ساکاریدهای دیواره

برای استخراج پلی ساکارید های دیواره از روش Sakurai & Nevins (۱۹۹۷) استفاده شد. پکتین موجود در ماتریس پلی ساکاریدی با EDTA ۵۰ میلی مولار در بافر فسفات سدیم ۵۰ میلی مولار، pH=۶/۸ در دمای ۱۰۰°C استخراج شد. عمل استخراج سه بار تکرار و پس از هر بار بر روی نایلون مش (42µm) صاف گردید. محلول حاصل با استفاده از کیسه دیالیز (MWCO8000) به مدت ۲۴ ساعت درون ظرفی حاوی ۲ لیتر آب مقطر و بر روی استیرر قرار گرفت و پس از تخلیص بوسیله فریز درایر (Freeze-drier) مدل (Snijders Scientific

Archive of SID

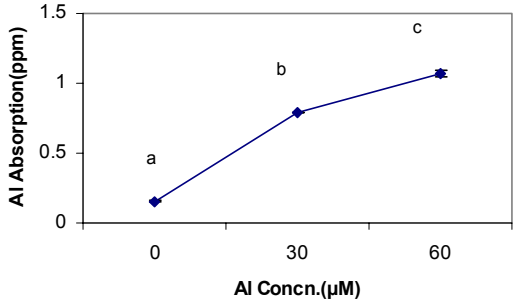
www.SID.ir

b.v.Tilburg) ساخت هلند خشک شد. ازتوده باقیمانده از مرحله قبل (پس از استخراج پکتین)، همی سلولز با استفاده از محلول قلیائی ۱۷/۵٪ NaOH حاوی ۰/۰۲ ٪ $NaBH_4$ استخراج گردید و این عمل ۳ بار تکرار شد. محلول به دست آمده با افزودن نیم حجم استیک اسید گلاسیال خنثی شد. همی سلولز B در بخش خنثای محلول و همی سلولز A به صورت رسوب سفید رنگی به حالت کلوئیدی درآمد. سپس با قرار دادن این محلول در کیسه دیالیز به مدت ۲۴ ساعت و چندین بار تعویض آب آن عمل خالص سازی انجام گرفت. برای جدا کردن همی سلولز A و B از سانتریفوژ به مدت ۲۰ دقیقه با سرعت g ۱۴۰۰۰ در دمای C ۱۰° استفاده شد. پس از سانتریفوژ همی سلولز A به صورت رسوب سفید رنگ و همی سلولز B به صورت محلول شناور جدا گردید. محلول روئی (همی سلولزB) به فالکون های پلاستیکی منتقل و در ازت مایع فریز شد و با استفاده از دستگاه فریزدرایر خشک شد. رسوب زیرین که حاوی همی سلولز A بود درون ظرف های پتری دیش کوچک در زیر هود خشک شده و در درون دسیکاتور نگهداری و سپس توزین شد. توده باقی مانده از مرحله قبل (پس از استخراج همی سلولز) ۲ بار با مخلوط اتانول:اتر (به نسبت حجمی ۱:۱) شستشو شد و بر روی فیلتر شیشه ای صاف گردید. توده کدر حاصل محتوی سلولز می‌باشد (Sakurai & Nevins 1997).

کلیه آزمایشات در سه تکرار انجام شد.از نرم افزار Excel برای رسم نمودار ها ، تجزیه و تحلیل آماری و تعیین معنی دار بودن تفاوت ها بر اساس آنالیز t-Test استفاده گردید.

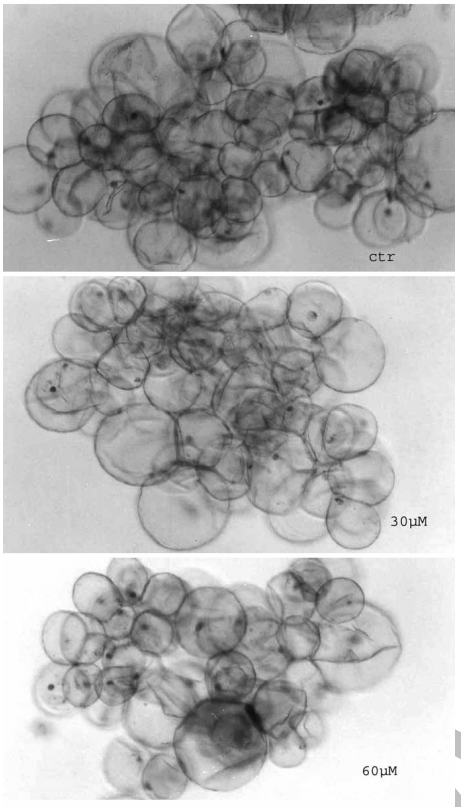
نتایج

با افزایش غلظت آلومینیوم محیط، میزان جذب آن توسط سلول های چای نیز تقریبا به طورخطی افزایش یافت و این افزایش در هر دو تیمار نسبت به شاهد در سطح $p\leq0.001$ معنی دار بود. این نتایج بیانگر این مساله است که با افزایش غلظت آلومینیوم در محیط ، میزان جذب آن نیز افزایش یافته است (شکل ۱).

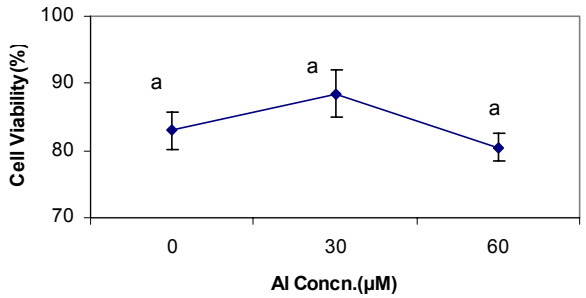


شکل ۱- .مقدار جذب Al به وسیله سلول های چای در محیط های واجد غلظت های مختلف Al. حروف غیر یکسان نشان دهنده تفاوت معنی دار در سطح $p\leq0.001$ می باشد.SD به علت کوچک بودن نشان داده نشده است.

سلول‌های چای و میزان رنگ پذیری آنها با Evans blue در شکل ۲ نمایش داده شده است و شکل ۳ درصد زنده بودن این سلول‌ها را نشان می دهد. در سلول های چای در حضور ۳۰ میکرو مولار از Al افزایش جزئی توان زیستی نسبت به سلول های شاهد مشاهده شد، اما در غلظت ۶۰ میکرو مولار تغییر خاصی مشاهده نشد.



شکل ۲- مقایسه توان زیستی سلول های چای در تیماربا غلظتهای مختلفAl (X20) سلول هایی که کاملا به رنگ آبی درآمده اند سلول های مرده و سلول هایی که فقط دیواره آنها رنگ آبی به خود گرفته است سلول های زنده هستند.

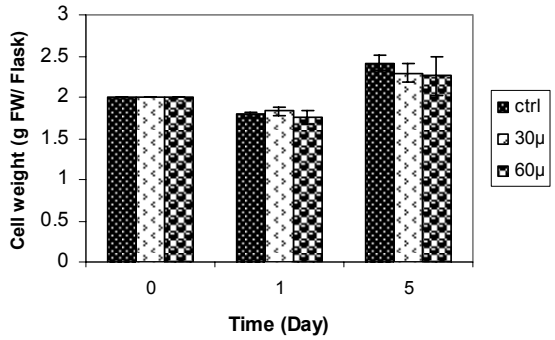


شکل ۳- درصد زنده بودن سلول های چای پس از تیمار ۲۴ساعته با غلظت ها ی مختلف Al .

همانگونه که درشکل ۴ نشان داده شده است رشد سلول های چای پس از ۲۴ساعت در هر سه مورد (شاهد و تیمارها) کاهش یافت ولی پس از طی مرحله تنش افزایش مقدار بیوماس در همه آنها مشاهده شد.

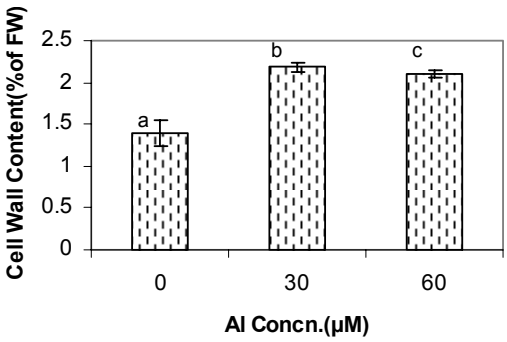
Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۴- نمودار تغییرات بیوماس سلول های چای در تیمار با غلظت های مختلف Al.

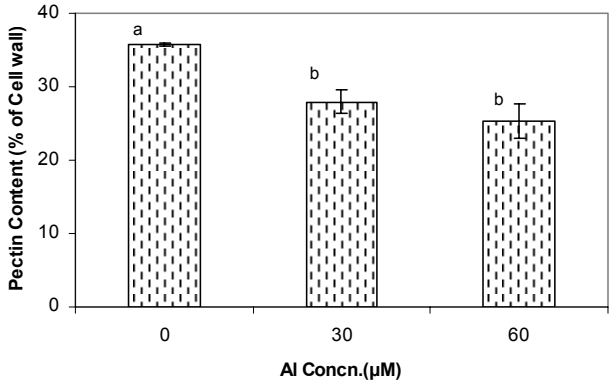
شکل ۵ میزان وزن دیواره در تیمار با Al را نشان می دهد. همانطور که دیده می شود در سلول های چای درتیمار با Al در وزن دیواره افزایش مشاهده شد که این افزایش نسبت به شاهد در هر دو تیمار در سطح ($P\leq0.05$) معنی دار بود. اگر چه وزن دیواره سلول‌های تیمار شده با ۶۰µmAl کمتر از وزن دیواره سلولهای تیمار شده با Al ۳۰µm بود.



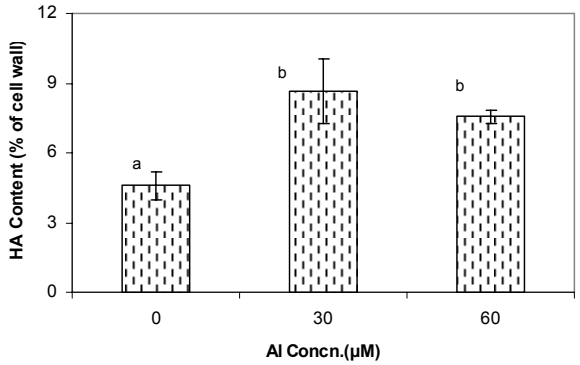
شکل ۵- مقدار وزن دیواره در سلول های چای در تیمار با غلظت های مختلفAl. حروف غیر یکسان در هر ستون نماینده تفاوت معنی دار در سطح $p\leq0.05$ می‌باشد.

شکل ۶ میزان پکتین سلول های چای را نشان می دهد. مقدار پکتین در سلول های چای با افزایش غلظت Al کاهش یافت و این کاهش در هر دو تیمار نسبت به شاهد معنی دار بود.

میزان همی سلولز A موجود در دیواره سلول های چای در تیمار با آلومینیوم درشکل ۷ نشان داده شده است. چنانچه از شکل پیداست مقدار همی سلولز A در هر دو تیمار به طور معنی داری ($P\leq0.001$) افزایش یافت هر چند در تیمار ۶۰µm نسبت به ۳۰µm کاهش مشاهده شد.



شکل ۶- میزان پکتین دیواره سلول های چای در تیمار با غلظت های مختلف Al. حروف غیر یکسان در هر ستون نماینده تفاوت معنی دار در سطح $p\leq0.05$ می باشد.



شکل ۷- میزان همی سلولزA دیواره سلول های چای در تیمار با غلظت های مختلف Al. حروف غیر یکسان در هر ستون نماینده تفاوت معنی دار در سطح $p\leq0.001$ می باشد.

شکل ۸ میزان همی سلولز B دیواره سلول های چای را در تیمار با Al نشان می دهد. در غلظت ۳۰ و ۶۰میکرو مولار از Al افزایش میزان همی سلولز B مشاهده شد اما این مقدار در تیمار با ۶۰µm معنی دار نبود ولی در تیمار۳۰µm این افزایش در سطح $P\leq0.001$ معنی دار بود.

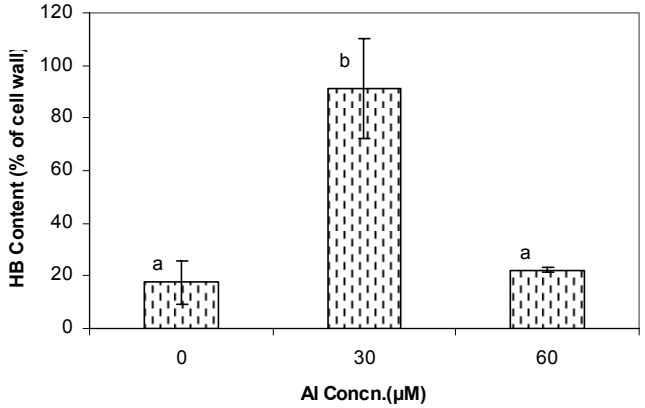
تیمار با آلومینیوم سبب تغییر قابل ملاحظه ای درمقدارسلولزدیواره سلولهای چای نشد (شکل۹).

بحث

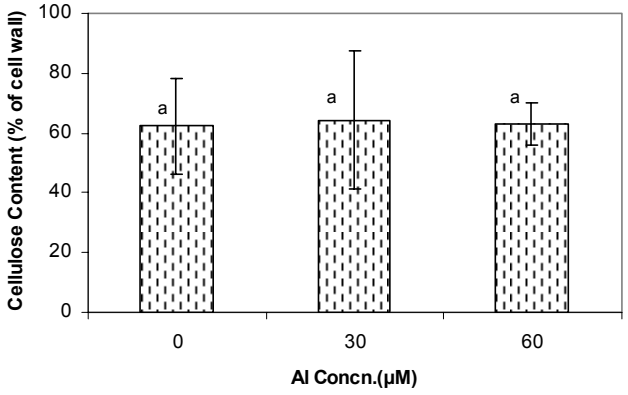
بر مبنای تحقیقاتی که در سال ۱۹۹۱ انجام شد محققین علت سمیت Al را برای گیاهان تشکیل کمپلکس DNA-Al بیان کردند (Matsumoto 1991). طبق گزارشهای دیگر مهار رشد ریشه به وسیله Al قبل از مهار سنتز DNA مشاهده می‌شود (Wallace & Anderson 1984). همچنین تحقیقات دیگری که در این زمینه انجام شده است نشان داد که در بسیاری از موارد مهار رشد ریشه در طی ۲-۱ ساعت اولیه تیمار رخ می دهد(Rengel 1992). با توجه به تاثیرAl در کوتاه مدت و آزمایشهای متعددی که در این زمینه انجام شده به نظر می‌رسد که Al در ابتدا وارد راس ریشه می گردد و غالبا در آپوپلاست

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۸- میزان همی سلولز B دیواره سلول های چای در تیمار با غلظت های مختلف Al. حروف غیر یکسان در هر ستون نماینده تفاوت معنی دار در سطح$p\leq0.001$ می‌باشد.



شکل۹- .مقدار سلولز دیواره سلول های چای در تیمار با غلظت های مختلف Al.

جای می گیرد. در واقع آپوپلاست با داشتن ماتریکس پکتینی دارای بارمنفی می تواند مهمترین محل برای اتصال Alباشد (Blamey *et al.* 1990). بار منفی سطح سلولهای ریشه نه تنها در ایجاد سمیت Al بلکه برای سمیت کاتیون ها و آنیون های دیگر نظیر La^{3+}،H^{+}،Na^{+} SeO_4^{2-} نیزاز اهمیت خاصی برخوردار است(Kinraid 1994). از آنجا که یون های Al ترجیح می دهند با لیگاند های الکترون دهنده نظیر عوامل کربوکسیل یا گروه های فسفات و سولفات پیوندهای الکتروستاتیک برقرار کنند به نظر می رسد که پکتین دیواره سلولی و سطح خارجی غشاء سلولی هدف های اصلی سمیت Al هستند (Horst 1995, Renge l1996; Blamey *et al.* 1993). با توجه به اینکه اثر سمیت Al در هر بخش از گیاه متفاوت است در تحقیق حاضر از کشت تعلیقی سلولی استفاده شد. با توجه به همگن بودن کشت و هم ارزی سنی سلول ها، جذب آلومینیوم توسط سلول ها تصادفی بود و شرایط یکسان برای جذب Al به وسیله سلول ها وجود داشت. در چنین شرایطی نتایج نشان داد که در این سلول ها با افزایش غلظت آلومینیوم در محیط میزان جذب آن توسط سلول ها افزایش یافت. در آزمایشات دیگری که در مورد سلول های توتون (حساس به Al) انجام شد نتایج نشان داد که سلول های توتون مقدار Al بیشتری نسبت به سلول های چای جذب کردند(شکوهی و قناتی ۱۳۸۶). این مساله بیانگر تفاوت سینتیک جذب Al درسلول های توتون و چای می باشد. در گیاهان حساس به Al، جذب بیشترآلومینیوم سبب سمیت آن و در نتیجه مرگ سریع سلولها می گردد. حال آنکه درگیاهی نظیر چای تیمار ملایم با Al حتی می تواند به نفع گیاه بوده و درافزایش توان زیستی سلولها موثر باشد (Ghanati *et al.* 2005). در تحقیق حاضرافزایش درصد زنده بودن سلول ها در تیمار با ۳۰میکرومولار از Al اگر چه معنی دار نبوده ولی این نظر را تایید می کند.کاهش اولیه وزن تر سلول های چای در هر دو گروه کنترل و تیمار شده با Al پس از ۲۴ ساعت را می توان مربوط به شستشوی سلولها، تغییر محیط کشت و شرایط جدید دانست. دراین سلول ها پس از گذشت ۶ روز و رشد در محیط کنترل افزایش وزن مشاهده شد و افزایش وزن به صورت صعودی هم در تیمار ها و هم در شاهد مشاهده گردید. درصورتیکه در تحقیقات قبلی که روی سلول های توتون (حساس به Al) انجام شد، کاهش وزن سلول ها پس از ۶ روز مشاهده گردید (شکوهی و قناتی ۱۳۸۶). این افزایش وزن در سلول های چای که بیانگر رشد می باشد، در ریشه گیاه کامل چای قبلا هم مشاهده شده است (Ghanati *et al.* 2005). این افزایش وزن در تیمار با Al ممکن است به علت کاهش مقدار لیگنین و یا به علت فعال شدن سیستم آنتی اکسیدان در آنها باشد (Ghanati *et al.* 2005, Sreenivasulu 2000). نتایج حاصل از سنجش وزن دیواره نشان داد که در حضور Al در سلول های چای میزان وزن دیواره افزایش یافت. به نظر می رسد این تغییرات در مقدار دیواره در نتیجهٔ تغییر در میزان پلی ساکارید های دیواره باشد. تغییرات پلی ساکارید های دیواره در درک مکانیسم سمیت و مقاومت به Al از اهمیت خاصی برخوردار است. آنالیز دیواره و ترکیبات آن درسلول های چای نشان داد که علیرغم افزایش وزن دیواره ی سلولهای تیمار شده با Al، میزان پکتین در آنها کاهش معنی داری یافت. این کاهش میزان پکتین در دیواره سلول های راس ریشه ی گونه ای از اکالیپتوس نیز مشاهده شده است (Nguyen Tran *et al.* 2005). در نتایج به دست آمده میزان همی سلولزA و B (به ویژه در تیمارها ۳۰میکرومولار که تیمار موثری در رشد بود) افزایش یافت. چنین افزایشی در مقدار همی سلولز، در نتایج Nguyen و همکارانش

Archive of SID

www.SID.ir

(۲۰۰۰) نیز مشاهده شده است. گرچه افزایش مقدار همی سلولزB از طریق تاثیر زایلوگلوکانها بر اکسین نیز می تواند در طویل شدن سلولها و افزایش رشد آنها موثر باشد (Fry 1989) ؛ اما نتایج تحقیق حاضر پیشنهاد می کند که احتمالاجایگاههای پذیرنده Al در پکتین و همی سلولز متفاوت بوده و در هدایت Al از دیواره به درون سلول و بروز سمیت آن نیز نقش متفاوتی ایفا می کنند. گرچه این فرضیه به خوبی علت کاهش میزان پکتین و افزایش همی سلولزدردیواره سلولهای تیمار شده با Al و تاثیرآن بر کاهش سمیت Al در غلظتهای بالا بر چای را توضیح می دهد، تعیین دقیق جایگاههای پذیرنده Al در پکتین و همی سلولز و تفاوت عملکرد بیوشیمیایی آنها در اتصال به Al و انتقال آن به درون سلول مستلزم تحقیقات بیشتری است که در حال حاضر ادامه دارد.

منابع:

شکوهی خ.، قناتی ف. ۱۳۸۶: تاثیر آلومینیوم بر کاهش رشد و تغییر در ترکیبات دیواره سلول های توتون؛ نشریه علوم دانشگاه تربیت معلم،۷: ۸۵۵-۸۶۴.

Blamey F.P.C., Asher C.J., Edwards D.C, Kerven G.L. 1993: *In vitro* evidence of aluminum effects on solution movment through root cell walls. *Journal of Plant Nutrition*. **16:** 555-562

Blamey F.O.C., Edmeades D.C., Wheeler D.M. 1990: Role of cation-exchange capacity in differential aluminum tolerance of Lotus species. *Journal of Plant Nutrition.* **13:** 29-744.

Foy C. D., Chaney R.L., White M.C. 1987: The physiology of metal toxicity in plants. Annu. Rev. *Plant Physiol*. **29:** 511-566.

Fry S.C., 1989: Cellulose ,Hemicellulose and auxin-stimulated growth a possible relationship: Physiol Plant. 75: 532-536.

Ghanati F., Morita, Yokota H. 2005: The beneficial effects of Aluminum on the growth of tea plant and activation of antioxidant system. *Plant and soil*. **276:** 133-141.

Ghanati F. 2002: Studies on boron tolerance mechanism of suspension-cultured tobacco cells; Shizouka University; Ph.D thesis.

Harvey P.J., Campanella B.F., Castro P.M.L. 2002: Phytoremediation:PAHs,Anilines, Phenols; Environ . *Sci & Pollut Res* .**9:** 29-47.

Horst W.J. 1995: The role of the apoplast in aluminum toxicity and resistance of higher plants: a Review. Zeitschrift fur P flanzenernahrung und Bodenkunde. **158:** 419-428

Kinraid T.B. 1994: Use of a Gouy-Chapman-Stern Model for Membrane-Surface Electrical Potential to Interpret Some Features of Mineral Rhizotoxicity. *Plant Physiol*. **106:** 1583-1592.

Kochian L.V. 1995: Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plants .Annu Rev *Plant Physiol Plant Mol Biol*. **46:** 237-260.

Konishi S.1992: Promotive effect of aluminum on tea plant growth. *JARQ*. **26:** 26-33.

Matsumoto H. 1991: Biochemichal mechanism of the toxicity of aluminum and the sequestration of aluminum in plant cells. In Plant-soil interaction at low PH (R.J.Wright, V.C.Baligar and R.P.Murrmann, eds); pp 825-838. Kluwer Academic Publishers.

Morita A., Yanagisawa O., Takatsu S., Maeda S., Hiradate S. 2008: Mechanism for the detoxification of aluminum in root of tea plant *(Camellia sinensis (L) Kuntze)*. Phytochemistry **69:**147-153.

Nguyen N.T., Dudzinski M.J., Mohapatra P.K., Fujita K. 2005: Distribution of accumulated aluminum and changes in cell wall polysaccharides in Eucalyptus camaldulensis and Melaleuca cajuputi under aluminum stress. *Soil sci. Plant Nutr***. 51:** 737-740.

Rengel Z. 1996: Uptake of aluminum by plant cells .*New Phytologist.* **134:** 389-406

Rengel Z. 1992: Role of calcium in aluminum toxicity. *New Phytol*. **121:** 499-513

Sakurai N., Nevins DJ. 1997: Relationship between fruit softening and cell wall polysaccharides in avocado *(persa americana Mill)* mesocarp tissues. *Plant Cell Physiol*. **38:** 603-610.

Schomhl N., Horst W.J. 2000: Cell wall pectin content modulates aluminum sensitivity in zea mayz (L.) cells grown in suspension culture. *Plant Cell and environment*. **23:** 735-742

Sreenivasulu N.,Grimm B., Wobus U., Weschke W. 2000:Differential response of antioxidant compounds to salinity stress in salt-tolerant and salt-sensetive seedlings of foxtail millet (Setaria italica). *Physiol Plant*. **109:** 435-442.

Wallace S.U., Anderson I.C., 1984: Aluminum toxicity and DNA synthesis in wheat roots. *Agron.j*. **76:** 5-215.

Yamamoto Y., Rikiish S., Chang y., Ono K. 1994: Quantitative estimation of aluminum toxicity in cultured tobacco cells: Correlation between aluminum uptake and growth inhibition. *Plant Cell Physiol***. 35:** 575-583.

Archive of SID

www.SID.ir