نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۳، ص. ۶۱-۵۴
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

Journal of Horticultural Science
Vol. 28, No. 1, Spring 2014, P. 54-61
ISSN: 2008 - 4730

بررسی اثر غلظت های مختلف آنتیموان بر برخی شاخص‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی گیاه هندوانه (*Citrullus lanatus* Thunb.)

مریم سادات عراقی شهری[1*] – مهرداد لاهوتی[2] – فرشته قاسم زاده[3] – حمید اجتهادی [4]

تاریخ دریافت:۱۳۹۰/۱۱/۱۸
تاریخ پذیرش:۱۳۹۲/۶/۵

چکیده

انتشار وسیع آنتیموان در محیطزیست ناشی از فرایندهای طبیعی و فعالیت‌های انسانی می‌باشد. آنتیموان فلزی سنگین و سمی برای گیاهان، جانوران و انسان می‌باشد. به منظور بررسی تأثیر غلظت های مختلف آنتیموان بر فعالیت های رشد و نمو گیاه هندوانه، آزمایشی در قالب طرح کاملا" تصادفی با سه تکرار انجام شد. گیاهچه های هندوانه در محیط کشت هیدروپونیک حاوی غلظت های مختلف آنتیموان (۰، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵، ۱، ۱/۵، ۲، ۳، ۴، ۶ و ۸ میلی‌گرم در لیتر) قرار گرفتند. بعد از چهار هفته نمونه‌های مورد نظر از بافت های برگ و ریشه گیاهان برداشت شده و جهت سنجش پارامترهای بیوشیمیایی و مورفولوژیکی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان دادند با افزایش غلظت آنتیموان درمحلول غذایی، کاهش غلظت کلروفیل و پارامترهای رشد در نمونه های مورد بررسی معنی دار بود ($p < ۰/۰۵$). همچنین محتوای پرولین ریشه و بخش هوایی، با افزایش غلظت آنتیموان، به طور معنی داری افزایش یافت. افزایش غلظت آنتیموان در محیط کشت، موجب افزایش قابل توجه آنتیموان ریشه و بخش هوایی شد که این انباشت در ریشه ها بسیار بیشتر از بخش هوایی بود.

واژه‌های کلیدی: آنتیموان، پارامترهای رشد، پرولین، کلروفیل، *Citrullus lanatus*

مقدمه

آنتیموان عنصری شبه فلز و کمیاب است که به مقدار کم (در حدود ۰/۳-۰/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم) در پوسته زمین وجود دارد (۳و۲۴). کانی های آن اغلب به صورت سولفیدها و اکسیدها می‌باشند. اگر چه فلز سنگین آنتیموان به صورت طبیعی و به مقدار ناچیز در محیط زیست وجود دارد اما به دلیل استفاده از آن در مصارف صنعتی، دفاعی و پزشکی مصرف آن رو به افزایش است. میزان آنتیموان با رشد اقتصاد جهانی افزایش یافته است، که منجر به افزایش غلظت‌های آنتیموان در خاک و آب شده است، که می تواند روی گیاهان، حیوانات و انسان‌ها تاثیر بگذارد (۲۳). آنتیموان عنصری غیر ضروری برای گیاهان و حیوانات است (۵)، ولی می تواند به آسانی توسط گیاهان جذب شود (۱۸و۲۹). تحقیقات گوناگون نشان داده است که گیاهان مختلف در توانایی انباشت آنتیموان در بافت های خود تفاوت دارند و با افزایش غلظت آنتیموان در محیط، غلظت آن در بافت های گیاهی نیز افزایش می یابد (۲۷). از طرف دیگر، با افزایش غلظت آنتیموان در گیاهان، فرایندهای فیزیولوژیک مختلف تحت تأثیر قرار می گیرند. از جمله آثار منفی غلظت های زیاد آنتیموان در گیاهان و سمیت ناشی از آن اثر روی زیتوده، جوانه زنی و کاهش رشد گیاه است (۱۲). مشخص شده است که در گیاهان این عنصر حتی بیشتر از مقداری که در خاک وجود دارد، تجمع می یابد. مقدار این عنصر در درختان و درختچه هایی که در خاک های دارای آنتیموان زیاد رشد می نمایند به میزان ۱۵-۷ میلی گرم در کیلوگرم هم می‌رسد (۲۷). همچنین غلظت های ۹۰۰-۱۱۰ میلی گرم در کیلوگرم نیز در گیاهانی که در نواحی دارای کارخانه های ذوب و معادن حاوی کانی‌های آنتیموان و سرب رشد می کنند وجود دارد (۲۲). حال آن که حد معمولی آنتیموان در برگ های درختان در محدوده ۲۷-۱۰ میکروگرم در کیلوگرم است (۲۷). همچنین مطالعات انجام شده روی انسان نشان داده است که قرارگیری در معرض ترکیبات مختلف آنتیموان تأثیرات ناگواری بر سلامت انسان می گذارد (۱۲و۲۸). در تحقیق حاضر توانایی گیاه هندوانه، که در یکی از مناطق آلوده به

۱، ۲، ۳ و ۴- به ترتیب کارشناس ارشد، استاد، دانشیار و استاد گروه زیست شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: (Email: m_araghi6704@yahoo.com

آنتیموان (منطقه ارغش نیشابور) با منشاء طبیعی و به صورت دیم رشد می کند، برای بررسی میزان انباشته سازی عنصر آنتیموان و تأثیر این عنصر بر برخی فرایندهای رشد و نموی از جمله میزان رشد (وزن تر، خشک و طول ریشه و بخش هوایی)، میزان کلروفیل و پرولین مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

بذرهای هندوانه (*Citrullus lanatus*) رقم آجیلی از منطقه آلوده به آنتیموان واقع در منطقه ارغش نیشابور تهیه گردید و بذرهای یکسان از نظر شکل و اندازه انتخاب، با کمک سدیم هیپوکلریت ۲۰٪ ضدعفونی و با آب جاری، سپس با آب مقطر شستشو شدند. سپس بذرها به مدت ۲۴ ساعت در آب خیسانده شده و به خزانه منتقل شدند. بذرها تا زمان جوانه زدن در تاریکی و دمای ۳۰-۲۸ درجه سانتی گراد قرار گرفته و پس از آن به روشنایی منتقل شدند. برای بررسی غلظت‌های مختلف آنتیموان بر گیاه هندوانه از کشت هیدروپونیک (۱۳) استفاده شد. گیاهچه های هندوانه به ظروفی از جنس پلی اتیلن به حجم ۳۰۰۰ میلی لیتر حاوی محلول غذایی هوگلند انتقال داده شد و سپس به فیتوترون منتقل شدند. اکسیژن لازم برای تنفس ریشه از طریق پمپ هوا فراهم گردید. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در محل فیتوترون دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. سه روز پس از انتقال گیاهچه ها به محیط کشت هیدروپونیک، آنتیموان به صورت (Sb-EDTA) در غلظت های صفر، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵، ۱، ۱/۵، ۲، ۳، ۴، ۶ و ۸ میلی گرم در لیتر اضافه شد. PH محلول با هیدروکسید پتاسیم ۰/۱ نرمال در محدوده ۶-۵/۸ تنظیم شد. تعویض محلول ها هر هفته یک بار انجام شد. گیاهان بعد از چهار هفته برداشت شدند. طی دوره رشد دوره نوری شامل ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی و دما ۳۲-۲۸ درجه سانتی گراد بود. پس از برداشت، وزن تر و خشک ریشه و بخش هوایی با ترازوی دارای دقت یک هزارم گرم اندازه گیری شد. طول ریشه و بخش هوایی نیز با استفاده از خط کش با دقت یک میلی متر مورد سنجش قرار گرفت.

استخراج کلروفیل از برگ تازه با استفاده از استن ۸۰ ٪ انجام شد. ساییدن برگ با استن تدریجی و تا حصول یک محلول بی رنگ ادامه یافت. سپس حجم محلول با استن به ۲۵ میلی لیتر رسید. محصول حاصل به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ rpm سانتیریفوژ شده و جذب نوری روشناور در طول موج های ۶۴۵، ۶۵۲ و ۶۶۳ نانومتر به وسیله اسپکتروفتومتر UV/Vis مدلJas.co7800 اندازه گیری شد. مقدار کلروفیل بر حسب میلی گرم کلروفیل در گرم وزن تر طبق فرمول آرنون و مکینی (۲) به ترتیب برای تخمین میزان کلروفیل کل و کلروفیل a و b بدست آمد.

به منظور اندازه گیری پرولین، نمونه های تازه بخش هوایی و ریشه به طور جداگانه توزین گردیده و روش بتس و همکاران (۶) در مورد نمونه ها اجرا شد. جذب نمونه ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر UV/Vis مدل Jas.co7800 در طول موج ۵۲۰ نانومتر اندازه گیری شد. محتوای پرولین هر نمونه با استفاده از رسم منحنی استاندارد بر حسب میکرو مول در گرم وزن تر به دست آمد.

به منظور سنجش غلظت آنتیموان (Sb^{3+}) در ریشه و اندام هوایی، خاکستر تر گیاهی تهیه شد. بدین ترتیب که مقدار ۰/۰۵ گرم بافت خشک ریشه و اندام هوایی به طور جداگانه به ۳ میلی لیتر اسید نیتریک غلیظ اضافه گردید. پس از ۷۲-۴۸ ساعت به منظور تکمیل هضم بافتی به آرامی حرارت داده شد تا در نهایت شفاف و بی رنگ شود. در پایان حجم محلول با آب مقطر به ۲۵ میلی لیتر رسید و از آن برای اندازه گیری جذب آنتیموان به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر جذب اتمی در طول موج ۲۱۷/۵۸ نانومتر استفاده شد.

تحلیل آماری داده ها با استفاده از نرم افزارهای آماری Mstat-c انجام شد. میانگین ها با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن و در طرح بلوک کاملاً تصادفی انجام گردید. نمودارها به وسیله نرم افزار Excel رسم شدند.

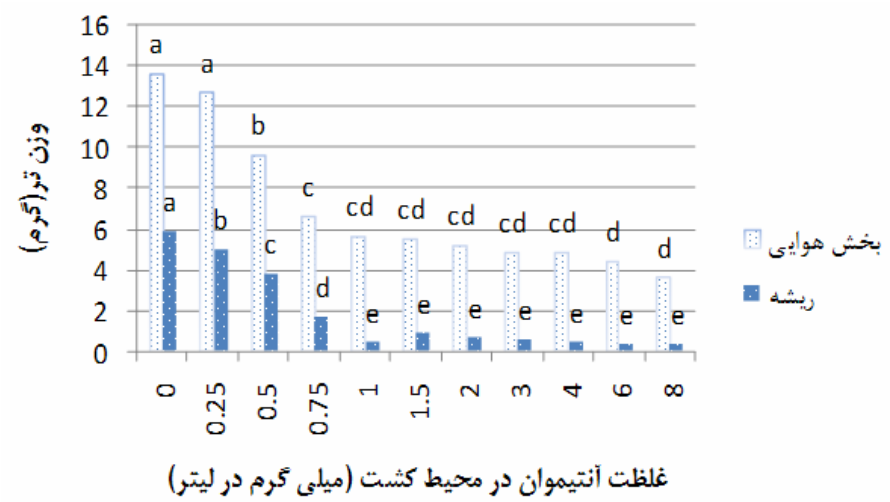
نتایج

نتایج نشان داد که اثر غلظت های مختلف آنتیموان بر وزن تر و خشک ریشه و بخش هوایی و نیز طول آنها در سطح ۵ درصد معنی دار می باشد. با افزایش غلظت Sb^{3+} در محیط کشت، به تدریج از وزن تر ریشه و بخش هوایی کاسته شد که در مورد ریشه از تیمار $0/25 mg/L\ Sb^{3+}$ و در مورد بخش هوایی از تیمار $0/5 mg/L\ Sb^{3+}$ به بالا نسبت به گیاهان شاهد معنی دار بود (شکل۱). افزایش آنتیموان در محیط باعث کاهش وزن خشک ریشه و بخش هوایی شد. کاهش وزن خشک ریشه از تیمار $0/25 mg/L\ Sb^{3+}$ و بخش هوایی از تیمار $0/75 mg/L\ Sb^{3+}$ به بالا، نسبت به گیاهان شاهد معنی دار بود ($p < 0/05$) (شکل های ۱و ۲ و جدول ۱).

شکل۳ نشان می دهد که با افزایش غلظت Sb^{3+}، طول ریشه ها و بخش هوایی در تمام تیمارها نسبت به شاهد کاهش یافته است. مقایسه میانگین ها مشخص می کند که اختلاف بین شاهد با سایر تیمارها در ریشه ها از تیمار $3 mg/L\ Sb^{3+}$ و در بخش هوایی از تیمار $1 mg/L\ Sb^{3+}$ از نظر آماری معنی دار می باشد (جدول ۱).

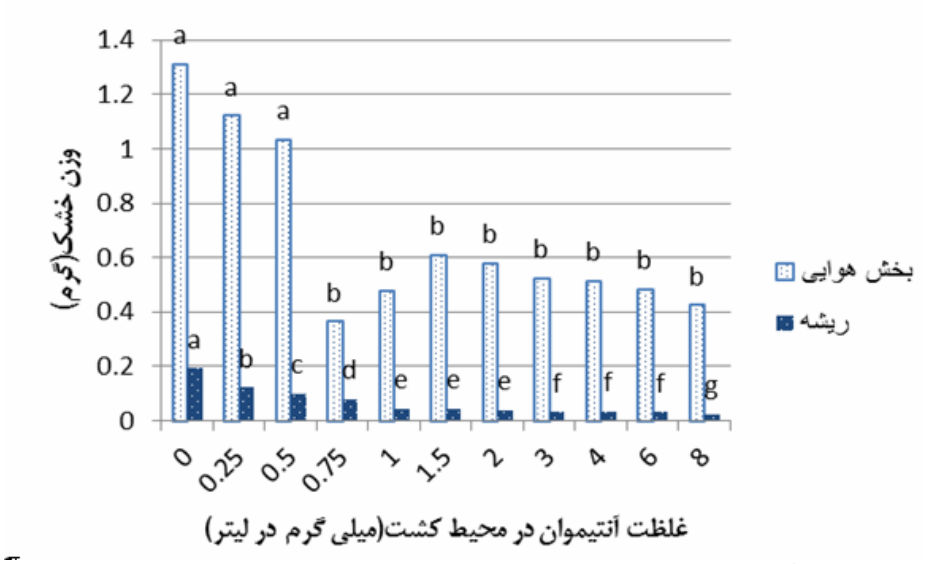
آنالیز واریانس داده های مربوط به غلظت کلروفیل کل و کلروفیل‌های a و b نشان داد که تیمار آنتیموان موجب کاهش معنی‌دار غلظت کلروفیل در گیاه هندوانه می شود ($\alpha=0/05$). با افزایش میزان آنتیموان در محیط، میزان کلروفیل کل کاهش یافت که این کاهش از تیمار $1/5 mg/L\ Sb^{3+}$ آنتیموان به بالا تفاوت معنی

داری را با گیاهان شاهد نشان داد.



شکل ۱- تأثیر غلظت های مختلف Sb^{3+} در محیط کشت بر وزن تر ریشه و بخش هوایی

(ستون های دارای حروف مشابه در سطح ۰/۰۵ آزمون دانکن معنی دار نیستند.)



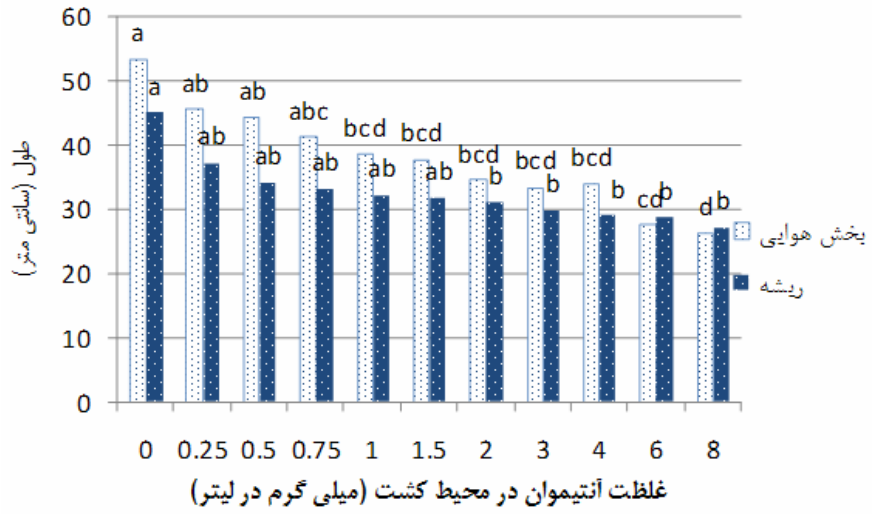
شکل ۲- تأثیر غلظت های مختلف Sb^{3+} در محیط کشت بر وزن خشک ریشه و بخش هوایی

(ستون های دارای حروف مشابه در سطح ۰/۰۵ آزمون دانکن معنی دار نیستند.)

جدول۱- نتایج تجزیه و تحلیل واریانس داده های مربوط به صفات رشد گیاه هندوانه

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		وزن تر بخش هوایی	وزن خشک بخش هوایی	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	طول بخش هوایی	طول ریشه
تکرار	۲	۱/۶۴۹	۰/۰۰۸	۰/۱۳۱	۰/۰۰۰	۳۲۴/۵۷۶	۱۱۴/۳۶۹
تیمار	۱۰	۳۵/۲۲۱*	۰/۳۰۸*	۱۲/۷۷*	۰/۰۰۸*	۱۹۰/۷۳۸*	۷۳/۷۲۵
خطا	۲۰	۱/۲۶۳	۰/۰۵۰	۰/۱۳۱	۰/۰۰۰	۵۳/۷۴۲	۵۳/۴۳۳

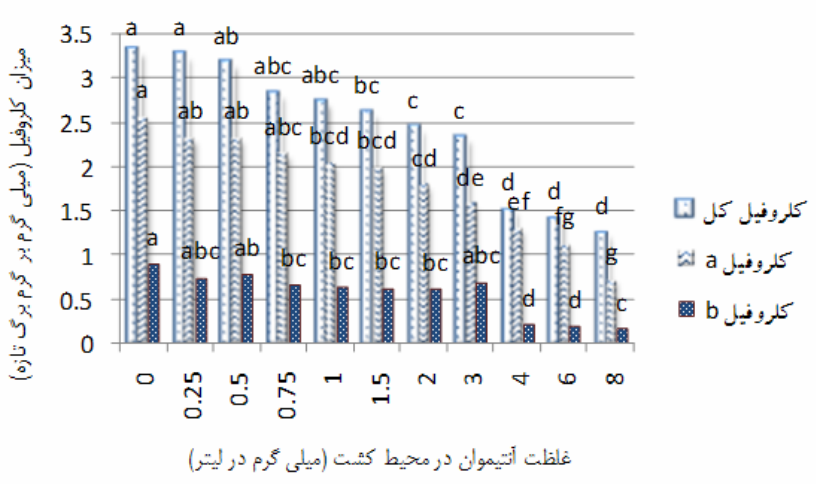
* – در سطح احتمال ۵ در صد معنی دار می باشد.



شکل ۳- تأثیر غلظت های مختلف Sb^{3+} در محیط کشت بر طول ریشه و بخش هوایی

(ستون های دارای حروف مشابه در سطح ۰/۰۵ آزمون دانکن معنی دار نیستند.)

بیشترین مقدار کلروفیل کل مربوط به گیاهان شاهد و کمترین میزان آن در گیاهان مربوط به تیمار Sb^{3+} mg/L ۸ اندازه گیری شد. همچنین بررسی تأثیر تیمارهای مختلف Sb^{3+} بر میزان کلروفیل a و b نشان داد که کاهش مقدار کلروفیل a در برگ گیاه هندوانه از تیمار Sb^{3+} mg/L ۱ به بالا و برای کلروفیل b از تیمار Sb^{3+} mg/L ۰/۷۵ آنتیموان به بالا نسبت به گیاهان شاهد معنی دار بود (شکل۴ و جدول ۲).



شکل ٤- تأثیر غلظت های مختلف Sb^{3+} در محیط کشت بر میزان کلروفیل

(ستون های دارای حروف مشابه در سطح ۰/۰۵ آزمون دانکن معنی دار نیستند.)

جدول ۲- نتایج تجزیه و تحلیل واریانس داده های مربوط به میزان رنگیزه های فتوسنتزی در برگ گیاه هندوانه

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		میزان کلروفیل کل	میزان کلروفیل a (میلی گرم بر گرم برگ تازه)	میزان کلروفیل b
تکرار	۲	۰/۱۰۵	۰/۱۰۲	۰/۰۸۸
تیمار	۱۰	۱/۶۸۳*	۰/۹۷۶*	۰/۱۴۷*
خطا	۲۰	۰/۱۰۵	۰/۰۶۳	۰/۰۱۵

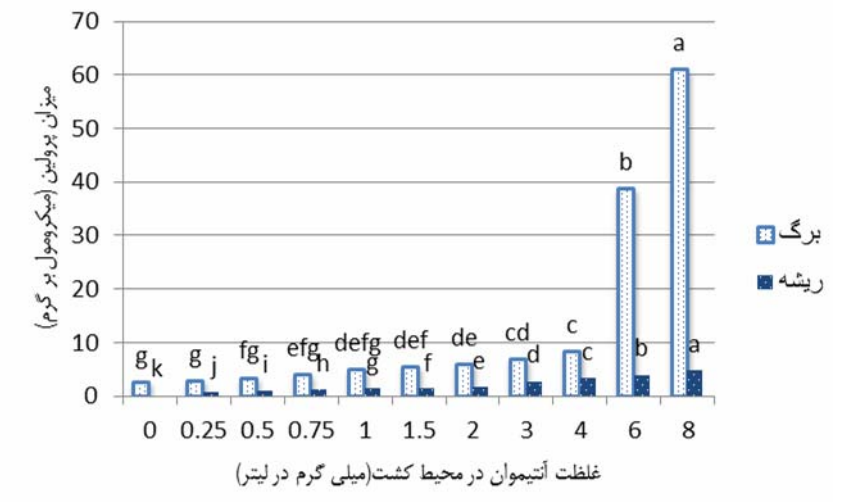
* – در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار می‌باشد.

شکل ۵ و جدول ۳ نشان می دهد که مقدار پرولین ریشه در همه تیمارها نسبت به شاهد افزایش معنی دار داشته و ریشه های رشد کرده در تیمار Sb^{3+} mg/L ۸ حداکثر مقدار پرولین را دارا بوده که مقدار آن برابر ۴/۷۴۳ میکرومول بر گرم وزن تر ریشه (تقریباً ۳۸ برابر شاهد) اندازه گیری شد. مقدار پرولین بخش هوایی از تیمار Sb^{3+} ۱/۵mg/L به بعد نسبت به گیاهان شاهد معنی دار (α=۰/۰۵) بود. بیشترین مقدار پرولین در تیمار Sb^{3+} mg/L ۸ برابر ۶۰/۹۰۳ میکرومول بر گرم وزن تر برگ (تقریباً ۲۴ برابر شاهد) اندازه گیری شد.

با افزایش غلظت آنتیموان در محیط کشت، غلظت آن هم در ریشه و هم در بخش هوایی افزایش یافت، که این افزایش در ریشه معنی دار بود (شکل۶ و جدول ۴). به طور کلی در حضور غلظت های مختلف آنتیموان در محیط، میزان تجمع و انباشت آنتیموان در ریشه‌ها تقریبا بین ۴۹ تا ۱۹۸ برابر بخش هوایی است. بنابراین افزایش آنتیموان در بخش هوایی چندان محسوس نیست در حالی که مقدار آن در ریشه بسیار قابل توجه است.

بحث

بر اساس نتایج به دست آمده، با افزایش غلظت آنتیموان وزن تر و خشک ریشه و بخش هوایی و نیز طول این اندام ها کاهش یافت. در بسیاری از این موارد تأثیر منفی آنتیموان بر صفات فوق معنی دار بود. این نتایج با گزارش سایر محققان در این زمینه مطابقت دارد. برای مثال، هی و یانگ (۱۲) اعلام کردند که آنتیموان روی جوانه زنی، زیتوده و رشد ریشه و بخش هوایی برنج موثر است و باعث کاهش آنها می شود. رشد مناسب ریشه ها و وظیفه آنها به عنوان سطوح جذب کننده آب و مواد غذایی به عوامل زیادی در محیط بستگی دارد. تنش فلزات سنگین از جمله عوامل محدود کننده رشد ریشه است و از آنجا که تعیین مقدار آب و مواد غذایی معدنی قابل دسترس برای گیاه از روی حجم خاک یا محلول در تماس با ریشه ها صورت می گیرد، کاهش رشد ریشه، سایر فعالیت های رشدی گیاه را نیز تحت تأثیر قرار می دهد (۱). از علل دیگر بازدارندگی بیشتر رشد ریشه، حساسیت زیاد مریستم رأس ریشه نسبت به فلزات سنگین است (۹).



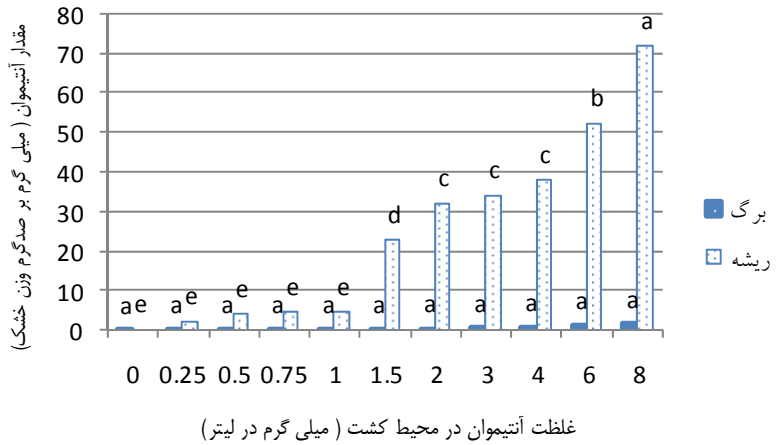
شکل ۵- تأثیر غلظت های مختلف Sb^{3+} در محیط کشت بر میزان پرولین

(ستون های دارای حروف مشابه در سطح ۰/۰۵ آزمون دانکن معنی دار نیستند.)

جدول۳- نتایج تجزیه و تحلیل واریانس داده های مربوط به میزان پرولین در گیاه هندوانه

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		میزان	
		پرولین برگ	پرولین ریشه
		(میکرو مول بر گرم)	
تکرار	۲	۱/۲۶۲	۰/۴۹۲
تیمار	۱۰	۱۰۷۳/۹۱۱*	۶/۲۵۸*
خطا	۲۰	۱/۶۸۱	۰/۳۰۲

* – در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد.



شکل ٦- تأثیر غلظت های مختلف Sb^{3+} در محیط کشت بر میزان آنتیموان

(ستون های دارای حروف مشابه در سطح ۰/۰۵ آزمون دانکن معنی دار نیستند.)

جدول٤- نتایج تجزیه و تحلیل واریانس داده های مربوط به میزان آنتیموان در گیاه هندوانه

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		میزان آنتیموان برگ	میزان آنتیموان ریشه
		(میلی گرم بر صد گرم وزن خشک)	
تکرار	۲	۳/۲۷۷	۲۶۹/۲۴۲
تیمار	۱۰	۰/۶۷۰	۱۶۹۲/۱۷۹*
خطا	۲۰	۰/۷۲۰	۲۱/۰۶۵

* – در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد.

کاهش وزن خشک ریشه، بخش هوایی و زیتوده کل گیاه می‌تواند به علت کاهش میزان سنتز کلروفیل و در نتیجه کاهش فتوسنتز باشد (۷و۳۰). کاهش ارتفاع گیاه ممکن است عمدتاً به دلیل کاهش رشد ریشه و به دنبال آن انتقال کمتر آب و عناصر غذایی به بخش‌های بالایی گیاه باشد (۲۶). از سوی دیگر گزارش شده است که آنتیموان در غلظت های بالا شوره سازی را تحت تأثیر قرار داده و آن را کاهش می دهد (۱۰). از آنجا که نیتروژن عنصری ضروری در ساختار بسیاری از مولکول های زیستی است، هر گونه تغییر در میزان آن می تواند به شدت مانع از رشد گیاه شود (۳۰).

میزان کلروفیل کل، کلروفیل a و کلروفیل b در پاسخ به تیمارهای آنتیموان کاهش معنی داری نشان داد (α=۰/۰۵). کاهش میزان کلروفیل و ترکیبات فتوسنتزی در برابر تنش فلزات سنگین به اثبات رسیده است (۱ و ۱۹). علت کاهش غلظت کلروفیل، بازدارندگی بیوسنتز کلروفیل تحت تأثیر فلزات سنگین می باشد (۱۵). فلزات سنگین با تأثیر بر غشاهای زیستی و ممانعت از فعالیت آنزیم ها، بیوسنتز رنگیزه های فتوسنتزی از جمله کلروفیل را مختل می کند. همچنین فلزات سنگین از عملکرد فتوسیستم های I و II ممانعت می‌کنند. مشخص شده است که حساسیت فتوسیستم II به فلزات سنگین بیشتر از فتوسیستم I می باشد. در حضور فلزات سنگین، پروتئین های کلروپلاست که گیرنده پروتون در فتوسیستم I هستند تجزیه شده، کاهش می یابد. بنابراین با تخریب سیستم غشایی کلروپلاست، ظرفیت گرفتن پروتون کاهش یافته، عملکرد فتوسنتز تحت تأثیر قرار می گیرد (۷ و ۳۰). عناصر سنگین از طریق مهار دو آنزیم دلتا آمینولوولینیک اسید دهیدراتاز[1] و پروتوکلروفیلید ردوکتاز[2]، باعث کاهش بیوسنتز کلروفیل و تجزیه زیستی آن می شوند (۴ و ۲۱).

بسته شدن روزنه ها تحت تنش فلزات سنگین، به طور غیر مستقیم در کاهش تثبیت دی اکسید کربن دخالت دارد. بعضی آنزیم‌های چرخه کلوین از جمله فسفوریبولوکیناز[3]، گلیسرآلدئید ۳- فسفات کیناز[4] و ریبولوز ۵- فسفات کیناز[5] به طور مستقیم تحت تأثیر فلزات سنگین قرار می گیرند. عمده ترین اثر فلزات بر آنزیم های

1- Aminolevulinic acid dehydratase (ALAD)
2- Protochlorophyllide reductase
3- Phosphoribulose kinase
4- Glyceraldehye-3-phosphate kinase
5- Ribulose-5-phosphate kinase

چرخه کالوین، اثر بر آنزیم کلیدی ریبولوز ۱-۵ بیس فسفات کربوکسیلاز اکسیژناز[1] می باشد (۱۶ و ۳۰).

از علل دیگر کاهش کلروفیل در شرایط تنش فلزات سنگین، تغییر مسیر متابولیسمی به سمت تولید پرولین است، زیرا گلوتامات که پیش ساز سنتز کلروفیل و پرولین است، به سمت تولید پرولین می‌رود (۲۳). کاهش میزان کلروفیل a و b و ممانعت از فتوسنتز در گیاه حرا[2] تحت تنش فلزات سنگین گزارش شده است. همچنین تغییرات تراوایی غشا و فراساختار کلروپلاست به علت پراکسیداسیون لیپیدها، که در واکنش به فلزات سنگین القا می شود نیز می تواند در کاهش میزان رنگدانه های فتوسنتزی دخیل باشد (۱۷).

نتایج این تحقیق بیانگر افزایش پرولین در ریشه و بخش هوایی گیاهان هندوانه تیمار یافته نسبت به گیاهان شاهد است. که این از سازوکارهای دفاعی گیاهان در برابر تنش فلزات سنگین می باشد. همچنین قابل ذکر است که در تیمار فوق، میزان پرولین برگ گیاه هندوانه بسیار بیشتر از ریشه آن بود به طوری که میزان پرولین ریشه در بالاترین غلظت در ریشه ۴/۸ میکرومول بر گرم و در برگ ۶۰/۹ میکرومول بر گرم بافت تر برگ اندازه گیری شد. پرولین به عنوان یک تنظیم کننده‌ی اسمزی مهم در تعدیل فشار اسمزی سلول تحت تنش هایی مانند سرما، کمبود مواد غذایی، قرار گرفتن در معرض فلزات سنگین و اسیدیته بالا نقش اساسی دارد (۲۵و۲۸). همان طور که قبلاً اشاره شد میزان پرولین برگ گیاهان تحت تیمار بیشتر از ریشه بود. که احتمالاً به این علت است که محل سنتز پرولین در برگ هاست. از طرفی احتمالاً تجمع پرولین در گیاهان تحت تیمار آنتیموان ارتباطی با سازوکار مقاومت در برابر تغییرات اسمزی داشته و یا با کاهش فعالیت سیستم انتقال الکترون در گیاهان و یا قسمت‌هایی از گیاه ارتباط داشته باشد. کاهش فعالیت های متابولیسمی باعث تجمع نیکوتین آمید آدنین دی نوکلئوتید به فرم احیا شده (NADH) می گردد. از آنجا که برای سنتز یک مولکول پرولین از گلوتامیک اسید دو مولکول NADH نیاز است بنابراین سنتز پرولین ممکن است سازوکاری برای کاهش اسیدیته و کاهش تجمع NADH باشد (۲۵). به علاوه پرولین می تواند به عنوان یک آنتی اکسیدان عمل کرده و با ممانعت از پراکسیداسیون لیپید خطر رادیکال های آزاد را کاهش داده باعث حفظ انسجام زیستی غشاها گردد (۲۰).

مطالعه بر روی جذب آنتیموان به وسیله دانه رست های گیاه هندوانه و گیاهان دیگر نشان دهنده‌ی تفاوت در جذب و جابجایی آنتیموان توسط گیاهان مختلف است (۱۱و۱۴). در گیاه هندوانه، با افزایش غلظت آنتیموان در محیط، غلظت آن در بافت ها نیز افزایش یافت و میزان تجمع این یون ها در ریشه بیشتر از بخش هوایی بود. این نتایج با نتایج گزارش شده در مورد گیاهان برنج، اسفرزه و سرخس پتریس مطابقت دارد (۸، ۱۲ و ۲۲). نتایج این بررسی نشان می دهد که آنتیموان اثرات برگشت ناپذیر نا مطلوبی بر رشد دانه رست های گیاه هندوانه دارد و لازم است که استراتژی هایی برای حذف این فلز از خاک های آلوده به کار برده شود. با توجه به این امر، استفاده از گیاهانی که قادر به گیاه پالایی و انباشت آنتیموان از خاک‌های آلوده می باشند، می تواند راهکار مناسبی برای حذف آلودگی باشد. در این روش، انتخاب گیاه مناسب از اهمیت ویژه ای برخودار است که به شرایط اقلیمی منطقه، نوع و میزان آلودگی خاک بستگی دارد.

منابع

۱- علیزاده ا. ۱۳۸۱. رابطه آب و خاک و گیاه. انتشارات آستان قدس رضوی. مشهد.

۲- هاریون اف. ۱۳۵۸. روش های نوین تجزیه شیمیایی گیاهان. ترجمه: آیینه چی، ی. انتشارات مرکز دانشگاهی تهران.

3- Anderson C.G. 2112. The metallurgy of antimony. Chemie der Erde ,72: 3–8.

4-Backor M., Fahselt D., Wu C.T. 2004. Free proline content is positively correlated with copper tolerance of the lichen photobiont *Trebouxia erici* (Chlorophyta). Plant Science ,167:151–157.

5-Baroni F., Boscagli A., Protano G., Riccobono F. 2000. Antimony accumulation in Achillea ageratum, Plantago lanceolata and Silene vulgaris growing in an old Sb-mining area. Environmental Pollution ,109:347-352.

6-Bates L.S., Waldren R.P., and Teare I.D. 1973. Rapid determination of free praline for water-stress studies. Plant Soil ,39:205-207.

7-Cheng S. 2003. Effect of heavy metal on plants and resistance mechanism. Environmental and Pollution. Res, 10:256-264.

8-Feng R., Wei C., Tu S., Wu F., and Yang L. 2008. Antimony accumulation and antioxidative responses in four fern plants. Plant Soil ,pp:9.

9- Fiskesjo G. 1997. Allium test for screening chemical: Evaluation of cytological parameters. In: Wang W. Gorsuch J. W. Hughes J. S(eds) plants for environmental studies, Lewis, Boca Raton ,pp:307-333.

10- Fjallborg B., and Dave G. 2004. Toxicity of Sb and Cu in sewage sludge to terrestrial plants (Lettuce, Oat, Radish), and of sludge elutrate to aquatic organisms (Daphnia and Lemna) and its interaction. Water, Air, and Soil

1- Ribulose bisphosphate carboxy/ase/oxygenase

2- *Avicennia marina*

Pollution ,155:3-20.
11- Hammel W., Ddbus R., and Steubing L. 2000. Mobility of antimony in soil and its availability to plants. Chemosphere ,41:1791-1798.
12- He M., and Yang J. 1999. Effects of different forms of antimony on rice during the period of germination and growth and antimony concentration in rice tissue. The Science of the Total Environment ,243:149-155.
13- Hoagland D.R., and Arnon D.I. 1957. California agriculture experiment station. Circular 347.
14- Hozhina E.I., Khramov A.A., Gerasimov P.A. ,and Kumarkov A.A. 2001. Uptake of heavy metals, arsenic and antimony by aquatic plants in the vicinity of ore mining and processing industries. Geochemical Exploration ,74:153-162.
15-Krantev A., Yordanova R., Popova L. 2006. Salicylic acid decreases Cd toxicity in Maize plants. Plant Physiology ,Special Issue ,45-52.
16-Kupper H., Kupper F., and Spiller M. 1996. Environmental relevance of heavy- metal- substituted chlorophylls using the example of water plants. Exprimental Botany ,47:259-266.
17-Macfarlane G.R., and Burchett M.D. 2001. Photosynthetic pigments and peroxidase activity as indicators of heavy metal stress in the grey mangrove,)Avicennia marina(Forck. Vierh.). Marine Pollution Bulletin ,42:233-240.
18- Maciaszczyk-Dziubinska E., Wawrzycka D., and Wysocki R. 2012. Arsenic and Antimony Transporters in Eukaryotes. Molecular Sciences ,13:3527-3548.
19-Manios T., Stentiford E.I., and Millner P.A. 2003. The effect of heavy metal accumulation on the chlorophyll concentration of Typha latofolia plants, growing in a substrate containing sewage sloudge compost and watered with metaliferus water. Ecological Engineering ,20:65- 74.
20-Mehta S.K., and Gaur J.P. 1999. Heavy- metal-induced proline accumulation and its role in ameliorating metal toxicity in Collorella vulgaris. New Phytology ,143:253-259.
21-Moustakas M., Eleftheriou E.P., and Ouzounidou G. 1997. Short-term effects of aluminium at alkaline pH on the structure and function of the photosynthetic apparatus. Photosyntheticaly ,34:169-177.
22-Murciego A.M., Sanchez A.G., Gonzalez M.A.R., Gil E.P., Gordillo C.T., Fernandez J.C., and Triguero T.B. 2007. Antimony distribution and mobility in topsoils and plants (Cytisus striatus, Cistus ladanifer and Dittrichia viscose) from polluted Sb-mining areas in Extermadura (Spain). Environmental Pollution ,145 :15-21.
23-Prasad M.N.V. 1995. The inhibition of maize leaf chlorophyll, carotenoids and gas exchange functions by cadmium. Photosyntheticaly ,31:635-640.
24-Rish M.A. 2004. Antimony. In: E. Merian, M. Anke, M. Ihnat, and M. Stoeppler (Eds.), Element and their compounds in the environment 2nd ed., 2:659-670, Weinheim: Wiley-VHC.
25-Shah K., and Nongkynrih J.M. 2007. Metal hyperaccumulation and bioremediation. Biologia plantarum ,51:618-634.
26-Shanker A.K., Cervantes C., Loza-Tavera H., and Avudainayagam S. 2005. Chromium toxicity in plants. Environment International ,31:739-753.
27-Tschan M., Robinson B.H., and Schulin R. 2008. Antimony uptake by Zea mays (L.) and Helianthus annuus (L.) from nutrient solution. Environmental Geochemistry Health ,30:187-191.
28-Tschan M., Robinson B.H., and Schulin R. 2009. Antimony in the soil–plant system. Environmental. Chemistry ,6:106-115.
29- Tschan M., Robinson B.H., Nodaric M., and Schulin R. 2009. Antimony uptake by different plant species from nutrient solution, agar and soil. Environmental. Chemistry ,6:144-152.
30-Vangronsveld J., and Clijsters H. 1994. Toxic effects of metals. In: Plants and the Chemical Elements: Biochemistry, Uptake, Tolerance and Toxicity. Edited by M. E. Farago, Weinheim.