



بررسی کارایی گل‌های زینتی در کاهش ترکیبات آلی فرار هوا در محیط‌های سرپوشیده

فتح‌الله غلامی بروجنی^۱، فاطمه نجات زاده باراندوزی^۲، علی کولیوند^۳، حشمت‌الله نورمرادی^۴

تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۲/۲۶

تاریخ ویرایش: ۹۳/۱۲/۲۶

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۷/۲۵

چکیده

زمینه و هدف: استفاده از گیاهان به‌منظور پالایش هوای محیط‌های بسته از دیرباز موردتوجه بسیاری از محققین بوده است. در این مطالعه کارایی استفاده از متداول‌ترین گل‌های زینتی آپارتمانی به‌منظور بررسی قابلیت حذف پنج نوع آلاینده اعم از هیدروکربن‌های آروماتیک (بنزن و تولوئن)، هیدروکربن‌های آلیفاتیک (اکتان)، هیدروکربن‌های هالوژنه (تری‌کلرواتیلن TCE) و تروپین‌ها (آلفا-پینن) در محیط‌های بسته مورد بررسی قرار گرفت.

روش بررسی: ابتدا ۱۰ نوع گل زینتی به‌طور جداگانه در گلدان‌های مختلف کشت داده شد و سپس درون شیشه‌های شفاف دربسته به حجم ۱۰ لیتر قرار داده شدند و هر کدام در معرض غلظت‌های مختلف بنزن، TCE، تولوئن، اکتان و آلفا-پینن (۳۱/۹، ۵۳/۷، ۴۶/۷، ۵۶/۴ و ۵۵/۷) میکروگرم بر مترمکعب قرار گرفتند. نمونه‌های هوا از داخل شیشه‌ها در مدت‌زمان تماس ۳ و ۶ ساعت برای هر گیاه به‌طور جداگانه برداشته شد و در نهایت پس از نمونه‌برداری گاز داخل شیشه توسط دستگاه GC-MS و دتکتور تیوب‌ها به‌منظور بررسی راندمان حذف آلاینده‌ها مورد آنالیز قرار گرفتند. کارایی حذف آلاینده‌های آلی به‌وسیله برگ گیاهان زینتی برای هر ترکیب آلی فرار (VOCs) در هر گیاه برحسب میکروگرم بر مترمکعب بر مترمربع در ساعت بیان شده است.

یافته‌ها: نتایج نشان داد از بین ۱۰ گل زینتی مورد بررسی، آلترناریا، عشقه، برگ بیدی و هوستا بیشترین کارایی حذف کل VOCs را از خود نشان دادند. گل آلترناریا، نقش بیشتری در حذف چهار آلاینده (بنزن، TCE، تولوئن و اکتان) از پنج آلاینده مورد مطالعه داشته است. متوسط حذف کل پنج آلاینده مورد مطالعه توسط گیاهان زینتی بین ۴۴-۸ میکروگرم بر مترمکعب بر مترمربع در ساعت بوده است. گونه عشقه به‌طور مؤثری آلفا-پینن را حذف کرد. تمامی گل‌های مورد مطالعه منجر به حذف VOCs از محیط بسته شدند.

نتیجه‌گیری: تفاوت در کارایی حذف گونه‌های مختلف گل‌های زینتی نشان داد که برای بهبود کارایی استفاده از گل‌های زینتی برای حذف آلاینده‌های آلی فرار از هوای محیط‌های بسته، نیاز است که گونه‌های مختلفی از گیاهان زینتی در محیط‌های بسته کاشته شود. این مطالعه نشان داد استفاده از گل‌های زینتی در محیط‌های بسته می‌تواند راهکار مناسبی برای کاهش آلاینده‌های آلی فرار از محیط‌های بسته باشد.

کلیدواژه‌ها: آلودگی هوا، گیاهان زینتی، ترکیبات آلی فرار، محیط‌های بسته، GC-MS

مقدمه

(Illness) و سندرم بیماری ساختمان (Sick Building Syndrome) بوده که عوارض و علائم زیادی را برای افراد در معرض تماس ایجاد می‌کنند. از آنجائی که زمان تماس با یک آلاینده مشخص نقش زیادی در شدت اثر آن آلاینده دارد می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که تأثیر حضور یک آلاینده با یک‌میزان مشخص در محیط‌های بسته بسیار بیشتر از محیط‌های باز یا هوای آزاد خواهد بود (۲). زیرا زمان تماس افراد در چنین محیط‌هایی چند برابر زمان تماس در هوای آزاد می‌باشد. از طرفی حرکت، جابجایی و تهویه بسیار آرام و کند هوا در داخل

هر فرد به‌طور متوسط حدود ۹۰ درصد از وقت خود را در محیط‌های بسته می‌گذرانند. به همین دلیل، کیفیت هوای محیط‌های بسته برای سلامتی انسان‌ها از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد (۱). برخی از گزارشات نشان می‌دهد هوای محیط‌های بسته ۵ تا ۷ برابر هوای محیط‌های باز آلوده‌تر می‌باشند. آلودگی هوای داخل ساختمان به آلاینده‌های میکروبی، شیمیایی و فیزیکی به‌عنوان یک مسئله بهداشتی جدی شناخته شده و عامل ایجاد بیماری وابسته به ساختمان (Building Related)

۱- استادیار و عضو هیأت علمی دانشکده علوم پزشکی آبادان، آبادان، ایران

۲- نویسنده مسئول) استادیار گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی خوی، خوی، ایران
fnejatzadeh@yahoo.com

۳- استادیار گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اراک، اراک، ایران

۴- استادیار گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایلام، ایلام، ایران

شواهد زیادی نشان می‌دهد که گیاهان قابلیت حذف ذرات، گازهای معدنی و ترکیبات آلی فرار را دارا می‌باشند (۹-۶). گزارشات متعددی نشان داده است که بسیاری از گونه‌های گیاهان قابلیت حذف بنزن، TCE و تولوئن را دارا می‌باشند (۱۰). بررسی‌ها نشان می‌دهد در ایران هیچ‌گونه مطالعه‌ای در این زمینه انجام نشده است. Liu و همکارانش در سال ۲۰۰۷ به بررسی کارایی گیاهان زینتی در حذف بنزن از هوا پرداختند، نتایج این مطالعه نشان داد که میزان تابش فعال فتوسنتزی و غلظت بنزن به‌عنوان دو فاکتور مهم در حذف بنزن با استفاده از گیاهان زینتی می‌باشد (۳). کارایی حذف آلاینده‌ها توسط هر کدام از گیاهان، با توجه به ویژگی‌های گیاه‌شناسی (سطح برگ، میزان تبخیر و تعرق، میزان فتوسنتز، سن و حساسیت گیاه) متفاوت گزارش شده است (۱۱). هدف از انجام این مطالعه بررسی کارایی ۱۰ گونه گیاه زینتی آپارتمانی که در برخی از مطالعات به‌عنوان گونه‌های مقاوم در برابر آلودگی گزارش شده‌اند در حذف آلاینده‌های VOCs از محیط‌های بسته در مقیاس آزمایشگاهی بوده است و مقایسه کارایی گیاهان مختلف در حذف این آلاینده‌های محیطی مورد مطالعه قرار گرفته است.

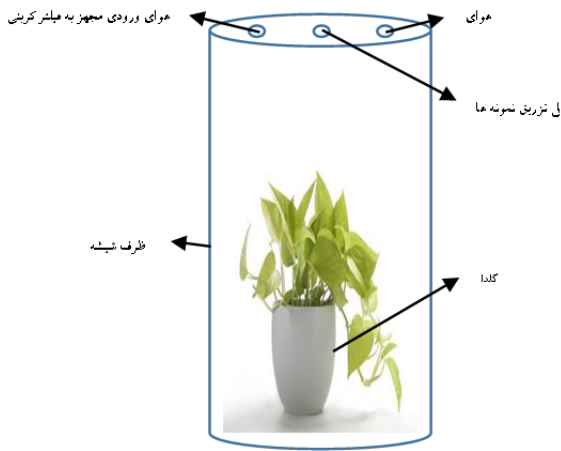
روش کار

گیاهان زینتی مورد مطالعه

۱۰ گونه گیاه زینتی پرمصرف در منازل و ادارات از خانواده‌های مختلف از مراکز تهیه و توزیع گیاهان زینتی (گلخانه‌ها و گل‌فروشی‌های سطح شهر تهران) تهیه و جهت آزمایشات مورد بررسی قرار گرفتند. ویژگی‌های گیاهان مورد مطالعه در جدول (۱) آورده شده است. هر کدام از گیاهان مورد مطالعه، بعد از شستشو دادن ریشه و برگ، در گلدان‌های ۵۰۰ سی سی پلاستیکی تحت شرایط کنترل شده کشت داده شدند و به مدت ۸ هفته به‌منظور آداپته شدن با محیط جدید در شرایط دمایی ۲۲ درجه سانتی گراد، ۵۰٪ رطوبت نسبی نگهداری شدند. در این مدت به‌منظور اطمینان از تابش برابر نور خورشید در تمامی گلدانهای مورد مطالعه در محل قرار گرفتن گلدانها

ساختمان‌ها به دلیل طراحی نامناسب ساختمان‌ها، عدم تهویه مناسب و حضور منابع دیگر آلاینده نظیر دفع آلاینده‌ها در اثر فعالیت‌های فیزیولوژیک افراد (دی‌اکسید کربن، رطوبت و ...) حضور عوامل مختلف میکروبی نظیر باکتری‌ها، قارچ‌ها و غیره در اغلب موارد باعث می‌گردد که غلظت آلاینده‌های هوای داخل ساختمان‌ها از مقادیر مجاز پذیرفته شده بالاتر باشد که با توجه میزان و نوع آلاینده مخاطرات متعددی را می‌تواند برای افراد داشته باشد (۳). آلاینده‌های هوای محیط‌های بسته ناشی از فعالیت انسان‌هایی که درون ساختمان‌ها زندگی می‌کنند، تبخیر حلال‌ها و نفوذ آلاینده‌های محیط به داخل ساختمان می‌باشد. آلاینده‌های هوای داخل ساختمان شامل: ترکیبات آلی فرار (VOCs^۱)، ذرات، ازن، رادون، سرب و آلاینده‌های بیولوژیکی می‌باشند (۴). تماس با این آلاینده‌ها منجر به ایجاد بیماری‌های حاد تنفسی (مانند آسم) و بیماری‌های مزمن ریوی (مانند: سرطان، بیماری‌های ایمنونولوژیک، نورولوژیک و ...) می‌شود (۵). ترکیبات آلی فرار (VOCs) از رنگ‌ها، چسب‌ها، مبلمان، حلال‌ها، مواد ساختمانی، آب شرب و ... ناشی می‌شوند همچنین برخی از مطالعات نشان دادند که بیش از ۳۰۰ نوع از ترکیبات آلی فرار در هوای داخل ساختمان‌ها شناسایی شده است (۶). این ترکیبات شامل هیدروکربن‌های آروماتیک (مانند بنزن، تولوئن، اتیل بنزن، زایلن)، هیدروکربن‌های آلیفاتیک (مانند: هگزان، هپتان، اکتان و دکان)، هیدروکربن‌های هالوژنه (مانند: تری کلرو اتان TCE، متیل کلراید) و تروپن‌ها (مانند: آلفا پینن) می‌باشند (۴). برخی از گزارشات نشان می‌دهد هوای داخل ساختمان‌ها در برخی از موارد ۵ تا ۷ برابر آلوده‌تر از هوای بیرون می‌باشد (۵). بنزن، تولوئن، اکتان، TCE و آلفا پینن از هر کدام از گروه‌های فوق به دلیل سمیت و میزان خطرات بالای آن‌ها به‌عنوان شاخص هر کدام از گروه‌های فوق می‌باشند (۴). گیاهان ترکیبات آلی خطرناک را از هوای محیط اطراف، بر سطوح برگ و همچنین درون روزنه‌های هوایی خود جذب می‌کنند.

¹ Volatile Organic Compounds



شکل ۱. شماتیک نحوه قرارگیری گلدانها در مخزن شیشه ای

ترتیب برای بنزن، TCE، تولوئن، اکتان و آلفا پینن که همگی از شرکت سیگما و مرک با گرید آزمایشگاهی خریداری شدند و با توجه به غلظت‌های مورد مطالعه در سایر مطالعات قرار گرفتند. این غلظت‌ها بشکل تجربی با اضافه نموده ۲، ۲/۷، ۲/۴، ۴ و ۴ میکرولیتر از بنزن، TCE، تولوئن، اکتان و آلفا پینن به شیشه‌های حاوی گلدان ایجاد شده است. سپس غلظت این ترکیبات آلی فرار از هوای محیط داخلی شیشه‌ها بعد از ۳ و ۶ ساعت در طول روز مورد سنجش قرار می گرفت. به منظور بالابردن میزان دقت، تعداد آزمایشات برای هر نمونه به صورت ۳ بار تکرار انجام می شد و یک نمونه شاهد که بدون گلدان و گیاه بود در کنار هر کدام از شیشه‌ها مورد پایش قرار می گرفت. همچنین به منظور بررسی اثر تداخلی ترکیبات آلی تولیدی احتمالی توسط گیاهان (Biogenic Volatile Organic Compounds) از نمونه‌های کنترلی (گلدان همراه با گیاه مورد مطالعه، بدون اضافه کردن ترکیبات آلاینده) استفاده شده است (۱۲).

آنالیز آلاینده‌های آلی فرار

به منظور آنالیز هر کدام از آلاینده‌های VOCs، یک میلی لیتر از هوای آلوده با استفاده از ظروف نمونه برداری شیشه ای مخصوص (در دوره های تماس ۳ و ۶ ساعته)

در پشت پنجره های آزمایشگاه و ایجاد شرایط یکسان در آن‌ها از شاخص PAR^۲ (تابش فعال فتوسنتزی: به ناحیه ی نور مرئی طیف خورشیدی، تابش فعال فتوسنتزی گویند) که با استفاده از تابش سنج لوله ای اندازه گیری شد استفاده شده است.

مطالعه حذف VOCs با استفاده از گیاهان زینتی در مقیاس آزمایشگاهی

گیاهان مورد مطالعه بعد از آماده سازی و سازگاری با محیط درون ظروف شیشه ای ۱۰ لیتری شفاف (مطابق شکل ۱) قرار داده شدند (یک گیاه در هر شیشه) و برای هر کدام از این شیشه‌ها دو منفذ ورودی و خروجی در درب آن به منظور افزودن دوز های آلاینده‌های VOCs مورد مطالعه و هوای ورودی تمیز و نمونه برداری از هوای محیط داخلی شیشه‌ها ایجاد شد (۷). منفذ ورودی به یک فیلتر که حاوی لوله پیرکس در اندازه ۱۰×۱ سانتی متر که حاوی ۲/۵ گرم کربن فعال بود و به گونه ای ساخته شده بود که هوای ورودی تازه عاری از VOCs باشد و در غلظت‌های ساخته شده بصورت سنتزی نیز اختلالی ایجاد نکند تعبیه شده بود. میزان جریان هوای مورد نیاز ورودی به منظور نگهداری گلها در زمانهایی که اضافه کردن آلاینده انجام نمیشد ۱۵۰ میلی لیتر در دقیقه بود توسط یک پمپ تامین می شد. نمونه برداری از هوای داخل هر کدام از شیشه‌ها بصورت فعال با استفاده از سرنگ نمونه برداری برای هر کدام از گیاهان مورد مطالعه در شرایط مختلف آزمایشگاهی انجام می شد و غلظت VOCs با استفاده روش سازمان حفاظت محیط زیست امریکا (U.S. EPA Method) با استفاده از GC-MS مدل (6890N/5973; Agilent, Palo Alto, CA) مورد آنالیز قرار می گرفت (۸ و ۹).

گیاهان مورد مطالعه در معرض غلظت‌های مختلف از هر کدام از آلاینده‌ها به ترتیب ۳۱/۹، ۵۳/۷، ۴۶/۷، ۵۶/۴ و ۵۵/۷ میکروگرم بر مترمکعب با توجه به تزریق حجم های مختلف آلاینده‌ها و اندازه گیری غلظت اولیه به

² Photosynthetically Active Radiation

جدول ۱: خصوصیات عمومی گیاهان زینتی مورد استفاده در این مطالعه [۳]

شماره	خانواده	نام لاتین	نام عمومی	سطح برگ (ساتی مترمربع به ازای هر گیاه)
۱	آکانتاسه	<i>Fittonia argyroneura</i> Coem.	Silver-net leaf	۶۶۰ ± ۴۵
۲	آکانتاسه	<i>Hemigraphis alternata</i> (Burm.f.) T. Anders 'Exotica'	Purple waffle	۳۵۲ ± ۳۷
۳	آگاواسه	<i>Dracaena fragrans</i> (L.) Ker-Gawl.	Corn plant	۷۱۲ ± ۳۹
۴	شیپوری	<i>Anthurium andreaeanum</i> Linden	Flamingo flower	۶۱۶ ± ۷۶
۵	آرالیاسه	<i>Schefflera arboricola</i> (Hayata) Merr. 'Variegata'	Variegated schefflera	۵۷۸ ± ۵۶
۶	آرالیاسه	<i>Polyscias fruticosa</i> (L.) Harms	Ming aralia	۴۷۷ ± ۲۶
۷	لیلیاسه	<i>Aspidistra elatior</i> Blume 'Milky Way'	Cast iron plant	۱۰۷۹ ± ۱۹
۸	مارانتاسه	<i>Calathea roseopicta</i> (Linden) Regal	Peacock plant	۵۶۰ ± ۷۸
۹	موراسه	<i>Ficus benjamina</i> L.	Weeping fig	۴۸۲ ± ۳۶
۱۰	پیپراسه	<i>Peperomia clusiifolia</i> (Jacq.) Hook. 'Variegata'	Variegated red-edged peperomia	۹۳۵ ± ۲۲

T: زمان تماس گیاهان با VOCs برحسب hr

به منظور آنالیز داده ها از آنالیز واریانس و آزمون دانکن با استفاده از نرم افزار SAS استفاده شده است. تعداد تکرار در هر آزمون سه بار بوده است.

نتایج

غلظت اولیه بنزن، تولوئن، اکتان، TCE و آلفا پینن درون شیشه ها به ترتیب برابر ۳۰/۹، ۵۹/۱، ۳۶/۴، ۴۴/۳ و ۵۴/۷ میکروگرم بر مترمکعب بوده است. نتایج جذب هر کدام از آلاینده ها توسط گلدان ها و خاک به عنوان نمونه های کنترل در جدول ۲ آورده شده است. نتایج جذب آلاینده ها برای دو گونه از گیاهان مورد مطالعه که بیشترین جذب را داشته اند در نمودار ۱ آورده شده است. بدلیل اینکه گیاهان مورد مطالعه از لحاظ اندازه، شکل و سطح برگ متفاوت بوده اند به منظور مقایسه نتایج میزان جذب هر کدام از آلاینده ها بر اساس $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{-m}^2$ از لحاظ سطح برگ گیاه بیان شده است. نتایج این مطالعه نشان می دهد راندمان حذف آلاینده ها توسط گیاهان مورد مطالعه به ترتیب برای بنزن ۵/۵۴-۰/۳، تولوئن ۹/۶۳-۱/۵۴، اکتان ۵/۵۸-۰، TCE ۱۱/۰۸-۱/۴۸، آلفا پینن ۱۲/۱-۲/۳۳ و کل VOCs بین ۴۴/۰۶-۵/۵۵

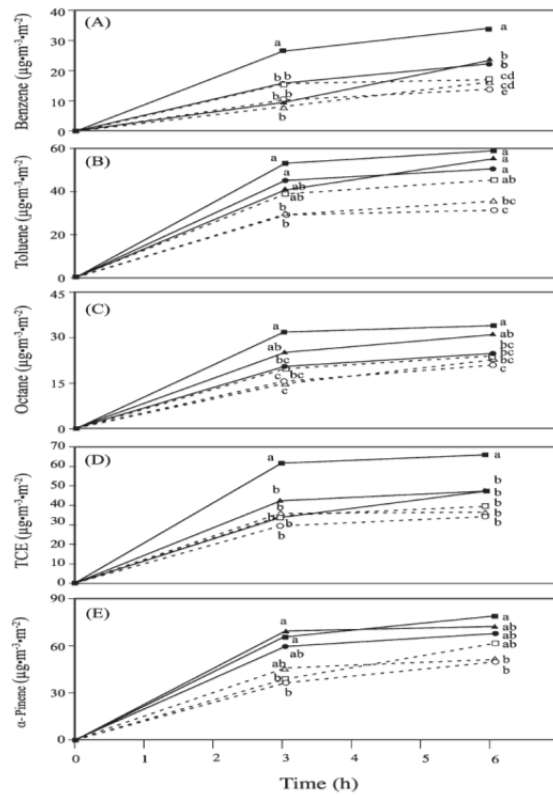
برداشته شده و با استفاده از GC-MS در دمای تزریق ۲۲۵ درجه سانتی گراد و از گاز هلیوم به عنوان گاز حامل با جریان ۱/۸ میلی لیتر در دقیقه استفاده شده است به منظور تهیه منحنی استاندارد محلولهای ۰/۵، ۱، ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ میکرولیتر بر لیتر در حلال هگزان برای هر کدام از ترکیبات استفاده شده است، مورد آنالیز قرار گرفت (۱۱ و ۸). منحنی استاندارد هر کدام از آلاینده ها با استفاده از استانداردهای آنالیز دستگاهی که از شرکت مرک خریداری شده ترسیم گردید (۱۲). برای محاسبه میزان VOCs حذف شده و غلظت جمعی حذف VOCs با استفاده از گیاهان زینتی به ترتیب از فرمول های (۱) و (۲) استفاده شده است: (۱۲).

$$\text{VOCs Removal (\%)} = \frac{[C - (S - M)]}{(L \times T)} \quad (1)$$

$$\text{VOCs} = \frac{[C - (S - M)]}{L} \quad (2)$$

که در این فرمولها:

C: غلظت VOCs در ظرف کنترل برحسب ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
 S: غلظت VOCs در نمونه های برداشته شده بعد از ۳ و ۶ ساعت تماس برحسب ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
 M: غلظت VOCs در نمونه های کنترل برحسب ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
 L: کل سطح برگ برحسب m^2



نمودار ۱: حذف تجمعی (A) بنزن، (B) تولوئن، (C) اکتان، (D) تری کلرو اتیلن (TCE)، (E) آلفا پینن توسط گیاهان بعد از ۶ ساعت تماس برای گیاهان: (a) آلترناریا (b) عشقه (c) برگ بیدی (d) هوستا

جدول ۲: میزان تجمعی VOCs روی گلدانهای پلاستیکی و بستر کشت بعد از ۳ و ۶ ساعت تماس در نمونه های شاهد

میزان تجمعی VOCs روی گلدانهای پلاستیکی و بستر کشت ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
میزان تجمعی VOCs	۳ ساعت ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	۶ ساعت ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
بنزن	0.35 ± 0.06	0.38 ± 0.05
تولوئن	1.13 ± 0.06	1.21 ± 0.04
اکتان	0.35 ± 0.08	0.47 ± 0.07
TCE (تری کلرو اتیلن)	1.00 ± 0.17	1.10 ± 0.08
آلفا پینن	1.03 ± 0.17	1.13 ± 0.07

* میانگین \pm SEM تعداد تکرار برابر ۳ ($n=3$)

می تواند منجر به ایجاد سندرم ساختمان بیمار (SBS) گردد؛ بنابراین نیاز به بررسی روشهای مناسب برای تصفیه و پاکسازی هوای داخل ساختمان ها وجود دارد. یکی از روشهای حذف آلاینده های آلی فرار (VOC)، استفاده از روش گیاه پالایی گزارش شده است. نتایج این مطالعه نشان داد از بین ۱۰ گونه گیاه زینتی مورد مطالعه،

درصد متفاوت بوده است. این نتایج در جدول ۳ برای هر کدام از گیاهان مورد مطالعه آورده شده است.

بحث و نتیجه گیری

گزارشات متعددی نشان می دهد آلودگی هوای داخل ساختمان ها می تواند ۵ تا ۷ برابر هوای بیرون باشد که

جدول ۳: میزان جذب VOCs توسط گیاهان زینتی مورد مطالعه به ترتیب بیشترین میزان جذب بر واحد سطح برگ با استفاده از فرمول ۱ و ۲.

گیاه مورد مطالعه	راندانمان حذف VOCs توسط گیاهان بر حسب ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{-m}^2\text{-h}$)					
	کل VOC ها	آلفا پینن	TCE	اکتان	تولون	بنزن
آلترناریا	۴۴/۰۴±۲/۸۹	۱۲/۲۱±۰/۶۱	۱۱/۰۸±۰/۹۹	۵/۵۸±۰/۶۸	۹/۶۳±۰/۹۴	۵/۵۴±۰/۲۹
عشقه	۳۸/۳۳±۳/۱۷	۱۳/۲۸±۰/۹۵	۸/۰۷±۰/۷۰	۵/۱۰±۰/۴۹	۸/۲۵±۰/۶۴	۳/۶۳±۰/۳۳
برگ بیدی	۳۴/۱۲±۵/۵۲	۱۰/۴۵±۱/۷۸	۷/۹۵±۱/۲۰	۳/۸۰±۱/۰۸	۹/۱۰±۱/۱۷	۳/۸۶±۰/۵۸
هوستا	۲۶/۰۸±۳/۴۰	۸/۴۸±۱/۱۷	۵/۷۹±۰/۷۵	۳/۸۰±۰/۶۲	۵/۸۱±۰/۶۷	۲/۲۱±۰/۲۱
فیکوس بنجامین	۲۴/۱۳±۰/۸۶	۸/۶۸±۰/۴۰	۴/۷۴±۰/۱۵	۳/۹۸±۰/۱۹	۵/۰۶±۰/۱۹	۱/۳۶±۰/۰۷
فیتونیا	۲۰/۰۵±۱/۴۶	۴/۳۰±۰/۳۹	۶/۱۵±۰/۳۶	۱/۷۷±۰/۲۵	۵/۰۹±۰/۲۳	۲/۸۴±۰/۲۸
پیرومیا	۱۲/۹۸±۰/۳۹	۴/۶۱±۰/۱۴	۲/۴۰±۰/۱۳	۲/۰۳±۰/۰۱	۲/۱۷±۰/۱۱	۱/۲۰±۰/۰۱
شفلرا	۱۰/۴۰±۰/۸۴	۴/۱۸±۰/۳۴	۱/۷۸±۰/۱۷	۱/۷۵±۰/۱۳	۲/۲۵±۰/۲۳	۰/۴۴±۰/۰۷
فیکوس برگ پهن	۸/۲۸±۰/۵۶	۲/۶۶±۰/۱۲	۱/۷۵±۰/۱۹	۱/۲۰±۰/۱۳	۲/۲۹±۰/۱۱	۰/۳۸±۰/۰۷
دیفن باخیا	۸/۰۵±۰/۳۹	۲/۹۹±۰/۲۰	۱/۸۳±۰/۰۷	۱/۰۱±۰/۱۰	۲/۰۳±۰/۱۰	۰/۱۸±۰/۰۴

*میانگین \pm SEM تعداد تکرار برابر ۳ (n=۳)

پهن و دیفن باخیا) قرار داد. بر اساس این مطالعه و سایر مطالعات، گیاهان زینتی منجر به حذف آلاینده‌های آلی درون ساختمان می‌شود و می‌توانند منجر به بهبود کیفیت هوای داخل ساختمان‌ها گردد. پیشنهاد می‌شود مطالعات بیشتری در زمینه حذف سایر آلاینده‌ها توسط گونه‌های مختلف گیاهان زینتی انجام شود

منابع

1. Beattie GA, Seibel JR. Uptake and localization of gaseous phenol and p-cresol in plant leaves. *Chemosphere* 2007; 68(3):528–536.
2. Cape JN. Effects of airborne volatile organic compounds on plants. *Environ. Pollut* 2003;122(1):145–157.
3. Liu YJ, Mu YJ, Zhu YG, Ding H, Arens NC. Which ornamental plant species effectively remove benzene from indoor air? *Atmos Environ* 2007; 41:650–654.
4. Darlington A, Chan M, Malloch D, Pilger C, Dixon MA. The biofiltration of indoor air: Implications for air quality. *Indoor Air*. 2000; 10(1):39–46.
5. Wood RA, Orwell RL, Tarran J, Torpy F, Burchett MD. 'Potted plant-growth media: interactions and capacities in removal of volatiles from indoor air', *J Environ Hort Biotechnol*. 2002. 77 (1), 120–129.

آلترناریا، عشقه، برگ بیدی و هوستا بیشترین کارایی حذف کل VOCs را از خود نشان دادند. گل آلترناریا، نقش بیشتری در حذف چهار آلاینده (بنزن، TCE، تولون و اکتان) از پنج آلاینده مورد مطالعه داشته است. متوسط حذف کل پنج آلاینده مورد مطالعه توسط گیاهان زینتی بین ۴۴–۸ میکروگرم بر مترمکعب بر مترمربع در ساعت بوده است. گونه عشقه به طور مؤثری آلفا-پینن را حذف کرد. تمامی گل‌های مورد مطالعه منجر به حذف VOCs از محیط بسته شدند. نتایج کلی این مطالعه نشان می‌دهد حضور گیاهان زینتی در محل‌های زینتی و کار و محیط زیست می‌تواند منجر به کاهش ترکیبات آلی فرار شود. Liu و همکارانش در سال ۲۰۰۷ نشان دادند که آلترناریا و عشقه در غلظت کمتر از ۱۰۰ میکروگرم در مترمکعب از TVOCs (کل ترکیبات آلی فرار) در مدت ۲۴ ساعت قابلیت حذف ۵۰–۷۵ درصد از این آلاینده‌ها را دارا می‌باشند (۳). همچنین برخی از گزارشات نشان دادند که میکروارگانیزم‌های موجود در ریشه گیاهان و خاک نیز بر راندانمان حذف آلاینده‌ها توسط گیاهان تاثیر زیادی دارد (۵). بر اساس نتایج این مطالعه می‌توان گیاهان مورد مطالعه را در سه دسته عالی (آلترناریا، عشقه، برگ بیدی، هوستا و فیکوس بنجامین)، متوسط (فیتونیا، پیرومیا و شفلرا) و ضعیف (فیکوس برگ



10. Son KC. Indoor plants help people stay healthy. Joongang Life Pub. Co, Seoul, Korea. 2004.
11. Sandhu A, Halverson LJ, Beattie GA. Bacterial degradation of airborne phenol in the phyllosphere. *Environ Microbiol.*2007;9(2):383–392.
12. Zabiegala B. Organic compounds in indoor environments. *Polish J Environ Stud.* 2006; 15 (3):383– 393.
13. Bringslimark T, Hartig T, Patil GG. Psychological benefits of indoor plants in workplaces: Putting experimental results into context. *Hort Sci.*2007; 42(3):581–587.
6. Schmitz H, Hilgers U, Weidner M. Assimilation and metabolism of formaldehyde by leaves appear unlikely to be of value for indoor air purification. *New Phytol.* 2000. 147 (6):307–315.
7. Orwell RL, Wood RA, Burchett MD, Tarran J, Torpy F. The potted-plant microcosm substantially reduces indoor air VOC. *Water, Air Soil Pollut.* 2006.175;(4):163-180.
8. Labora Won D, Luszyk E, Shaw CY. Target VOC list. Final Rept, National Research Council Canada. 2005.
9. Yoo MH, Kwon YJ, Son KC, Kays SJ. Efficacy of indoor plants for the removal of single and mixed volatile organic pollutants and physiological effects of the volatiles on the plants. *J Am Soc Horticult Sci.*2006;131:452–458.

Survey the effect of ornamental flowers in reduction of volatile organic compounds from indoor ambients

Fathollah Gholami-Borujeni¹, Fatemeh Nejat-zadeh-Barandozi², Ali Koolivand³, Heshmatollah Nourmoradi⁴

Received: 2015/04/16

Revised: 2015/10/07

Accepted: 2015/10/23

Abstract

Background and aims: Using plants to purify indoor air has long been of interest to many researchers. In this study the effectiveness application of conventional apartment ornamental flowers to survey removal capability of five kind of pollutant: aromatic hydrocarbons (Benzene and Toluene), aliphatic hydrocarbons (Octane), halogenated hydrocarbons (Trichloroethylene (TCE)) and terpenes (Alpha-Pinene) in indoor ambients was studied.

Methods: At first, 10 species of ornamental flowers were cultured separately in pots and then were placed in 10L gas-tight glass jars and exposed to different concentrations of benzene, TCE, toluene, octane, and α -pinene, (31.9, 53.7, 46.7, 56.4, 55.7), respectively. Air samples within the glass containers were analyzed by gas chromatography–mass spectroscopy and detector tubes 3 and 6 h exposure to the test pollutants to determine removal efficiency. The removal efficiency, expressed as $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{-m}^2\text{-h}$ basis for each volatile organic compound (VOC), varied with plant species.

Results: Results show that of the 10 ornamental flower tested, *Alternaria*, *Hedera helix*, *Tradescantia* and *Hoya carnosa* had the highest removal efficiencies for total VOCs. *Alternaria* displayed superior removal efficiency for four of the five VOCs (i.e., benzene, TCE, toluene and octane). The average removal of five pollutants with ornamental flower tested were 8-44 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{-m}^2\text{-h}$ of the total VOCs. *Hedera helix* efficiently removed Alpha-Pinene. All of flower tested caused removal of VOCs from indoor ambients.

Conclusion: Different in efficacy of removal with different species ornamental flowers show that, for improvement efficiency of application ornamental flowers for removal of VOCs from indoor ambients, is needed that different species of flowers be planted. This study showed that the use of indoor ornamental flowers is suitable solution for reducing volatile organic contaminants from the indoor ambients.

Keywords: Air pollution, Ornamental flowers, VOCs, Indoor ambient, GC-MS

¹. Assistant professor of Environmental Health Engineering, Abadan School of Medical Sciences, Abadan, Iran.

². (**Corresponding author**) Assistant professor of Agricultural Sciences, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Khoy Branch, Khoy, Iran. fnejatzadeh@yahoo.com

³. Assistant professor of Environmental Health Engineering, School of Health, Arak University of Medical Sciences, Arak, Iran

⁴. Assistant professor of Environmental Health Engineering, Ilam University of Medical Sciences, Ilam, Iran.