

短 報
Note

室内における光触媒用酸化チタン コーティング剤を塗布した観葉植物による トルエンの除去可能性

申 恵京*・水庭千鶴子**・近藤三雄**

(平成 19 年 8 月 23 日受付/平成 19 年 10 月 26 日受理)

要約：室内の空気汚染が深刻な問題になっている中、著者らは、その原因物質である揮発性有機化合物の除去方法として、酸化チタンの光触媒反応を利用した観葉植物によるホルムアルデヒドやトルエンの除去可能性について検討してきた。本研究では葉の向軸面（表面）・背軸面（裏面）または両面に酸化チタンコーティング剤を塗布することによる定着可能性、植物体への影響や被害、トルエンの除去効果について調べた。インドゴムノキ、スパティフィラムを用い、酸化チタンの定着可能性について調べた結果、スパティフィラムの葉へ両面処理した場合、酸化チタンの定着濃度が最も高かった。また、酸化チタンコーティング剤を塗布することによる植物体への影響や被害は見られなかった。なお、葉への酸化チタンの定着濃度が高かったスパティフィラムを用い、トルエンの除去可能性について調べた。その結果、無処理よりも酸化チタン処理によるトルエン濃度の減少が明らかになり、単位葉面積当たりのトルエンの除去量が 2 倍内外、増加した。また、蛍光灯と紫外線（UV-A）との光源の違いによる単位葉面積当たりのトルエンの除去量については有意な差は認められなかった。以上の結果、観葉植物の葉への酸化チタン処理は葉に確実に定着し、植物体へ被害を起こさず、トルエンの除去効率を高める手法として可能であると考えられる。

キーワード：室内空気汚染、光触媒反応、酸化チタン、観葉植物、トルエン

1. 実験目的

ホルムアルデヒドやトルエンなどの揮発性有機化合物による室内の空気汚染が深刻の度を増す中、著者らは鉢物観葉植物による室内の揮発性有機化合物の除去技術確立のための一連の研究^{1,2)}を行ってきた。その一環として、光触媒用酸化チタンを生きている観葉植物の葉に塗布し、除去効率を高めるための可能性を探ってきた。従来、観葉植物による室内の空気汚染物質の除去能については先行研究事例^{3,4)}もあり、また、光触媒によるこれらの物質の除去能についての研究や実践⁵⁻⁷⁾も様々に展開している。

しかしながら本研究のように観葉植物に酸化チタンを塗布してトルエン等の除去効率を高める研究例は皆無である。

本報では、そのことに関連して、基本的に問題となる ① 植物の生葉に酸化チタンが定着するか、② 酸化チタンコーティング剤の塗布によって植物体に影響や被害が生じないのかを明らかにし、③ その上で、改めて酸化チタンの光触媒反応を利用した観葉植物によってトルエンの除去能が高まるかを検証した³⁾通りの実験結果について述べる。

2. 実験方法ならびに結果

(1) 観葉植物への光触媒用酸化チタンコーティング剤の定着可能性について

a) 材料および方法

供試植物としては、葉の形、テクスチャーおよび葉肉の厚さが異なる、インドゴムノキ (*Ficus elastica* Roxb., クワ科) とスパティフィラム (*Spathiphyllum* sp., サトイモ科) を用いた。実際に酸化チタンコーティング剤を塗布（以下、酸化チタン処理）することによる植物体への定着可能性について明らかにするために、酸化チタン処理部位を葉の向軸面（表面）、背軸面（裏面）、両面に設定し、処理部位と供試植物の種類による定着濃度を比較した。実験は 2006 年 9 月から 2007 年 2 月まで、温度 $22.9 \pm 3.4^\circ\text{C}$ 、湿度 $37.4 \pm 21.8\%$ 、光合成有効光子束密度（以下、光子量子量）約 $5 \sim 80 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ （9:00~15:00 の測定値）の東京農業大学（東京都世田谷区）の実験室内で行った。

供試植物は高さ約 0.8 m のところの窓側に置き、約 1 週間間隔で供試植物の位置を変え、窓側からの太陽光と実験室の光源である蛍光灯の光が均等に当たるようにした。

光触媒用酸化チタンとして酸化チタンコーティング剤

* 東京農業大学大学院農学研究科造園学専攻

** 東京農業大学造園科学科

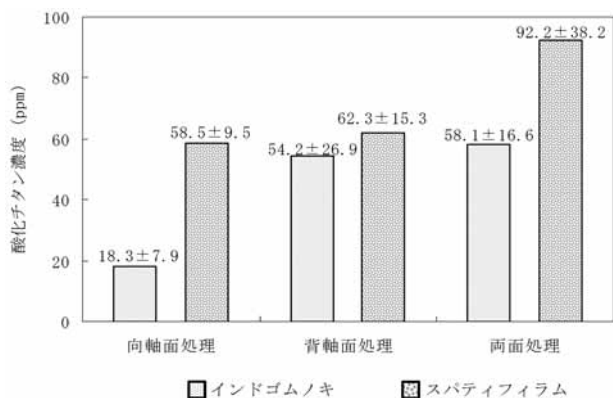


図 1 供試植物への処理部位による酸化チタンの定着濃度 (3 反復の平均値)

(TKC304, 固形分濃度 9.0 wt.%, 紫外線応答型, テイカ社製) と展着剤 (ダイン, 0.05~0.3 ml/L, 住化武田農薬社製) を用いた。本実験に用いた酸化チタンコーティング剤の基準値は 0.3 g/m^2 であり, 酸化チタン処理するにあたっては, 固形分濃度が 0.1 wt.% になるように超純水で希釈して用いた。まず, 供試植物の葉面積を測り, 対応する酸化チタンコーティング剤量を求め, その後, 超純水で希釈し, 展着剤を添加してから, 酸化チタン処理を行った。

展着剤の濃度は 1 ml/L とした。酸化チタン処理方法としては低圧スプレーを用いて吹き付けた。植物との距離を約 30 cm とし, 連続スプレーによって液が垂れるのを防ぐため, スプレー時間を 2, 3 秒として行い, 自然乾燥させた。2006 年 9 月, 酸化チタンコーティング剤を葉へ塗布し, 2007 年 2 月の約 6 ヶ月後に葉を採取した。採取した葉をオーブンで乾燥させ, 粉砕機で粉末状にした後, 蛍光 X 線分光装置 (SEA2001, セイコー電子工業社製) を利用し, 酸化チタンの濃度を調べた。

b) 結果および考察

図 1 に示したように全実験区でスパティフィラムの方がインドゴムノキより酸化チタンの定着濃度が高かった。

これは両種の植物の葉の向軸面と背軸面, つまり表裏のテクスチャーの違いによるものと考えられる。特に, インドゴムノキの向軸面 (表面) 処理では酸化チタンの定着濃度が著しく低い。つまり, インドゴムノキの葉の向軸面は著しく滑沢であり, 噴霧した溶液が流れ易く定着しにくかったものと思われる。背軸面 (裏面) は向軸面ほど滑沢ではなく, ざらつきもあり, 溶液が定着し易かったものと思われる。

一方, スパティフィラムは葉の向軸面と背軸面の滑沢度がそれほど異ならず, しかもインドゴムノキの向軸面ほど滑沢でなかったこともあり, 向軸面処理, 背軸面処理もほぼ同様な定着濃度を示した。したがって, インドゴムノキ, スパティフィラム共に葉の背軸面の両面処理を行った区では向軸面処理と背軸面処理の濃度をそのまま足した値のような結果となった。

以上の結果, 観葉植物の葉への酸化チタンの定着濃度は葉への酸化チタンの処理部位や植物の種類によって多少異



写真 1 酸化チタン処理による植物への影響被害についての供試植物 (a: インドゴムノキ, b: スパティフィラム)

なるが, 6 ヶ月後も葉に確実に定着していることが解った。

(2) 光触媒用酸化チタンコーティング剤の塗布による植物への影響や被害について

a) 材料および方法

2006 年 9 月から 11 月の約 2 ヶ月間, 温度 $24.3 \pm 3.1^\circ\text{C}$, 湿度 $44.8 \pm 22.8\%$ の実験室で行った。また, 供試植物の種類, 光量子量, 供試植物を置いた環境は実験 (1) と同様である。目視による生育状態の観察を行いながら酸化チタン処理した供試植物の生理活性や被害の程度の違いを明らかにするために, 葉緑素量, 光合成速度, 電解質溶出率の変化を調べ, 無処理供試植物と比較した (写真 1)。

葉緑素量は各供試植物の全葉について, それぞれ葉の中央部の 1 ケ所を 3 回連続して, SPAD 計 (SPAD-502, Minolta 社製) を用いて測定した。光合成速度は携帯式光合成蒸散速度測定装置 (LI-6400, LI-COR 社製) を用いた。測定は 8:30 から 13:00 の間に, 各実験区の供試植物の葉一枚を選び, LI-6400 に付属光源と二酸化炭素ポンペを用い, 光量子量 $2000 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$, 二酸化炭素 370 ppm に設定し, ある程度, 値が安定したのを確認してから測定した。

また, 細胞レベルでの被害の様相を探るため, 電解質溶出量を測定し, 電解質溶出率を算出した。供試植物の 6 ケ所について無作為にサンプル葉を採集し, 30 ml の超純水と共に蓋付バイアル瓶に入れ, 暗室 10°C 下で 24 時間静置後, 25°C 下で 30 分間振盪し, EC メーター (CM-60G, TOA・DKK 社製) で電解質溶出量 (T1) を測定した。その後, 15 分間煮沸し, 再度電解質溶出量 (T2) を測定し, T1/T2 の値を求め, 電解質溶出率とした。この値が大きいほど供試植物の細胞が被害を受けていることを示す。酸化チタンコーティング剤, 塗布の仕方は前述の実験と同様の方法で行った。

b) 結果および考察

目視による生育状態の観察では無処理区と酸化チタン処理区との生育状態の違いや酸化チタン処理区での被害症状は観察されなかった。葉緑素量の変化を調べるため, SPAD 値を求め, その結果を図 2 に示した。インドゴムノキ, スパティフィラムの実験区では葉の異なる部位への酸

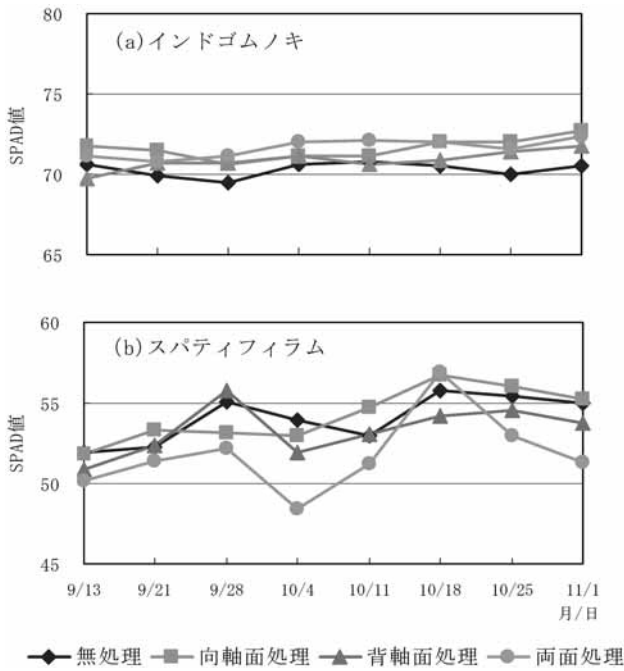


図 2 葉の異なる部位への酸化チタン処理による葉緑素量の変化 (3 反復の平均値)

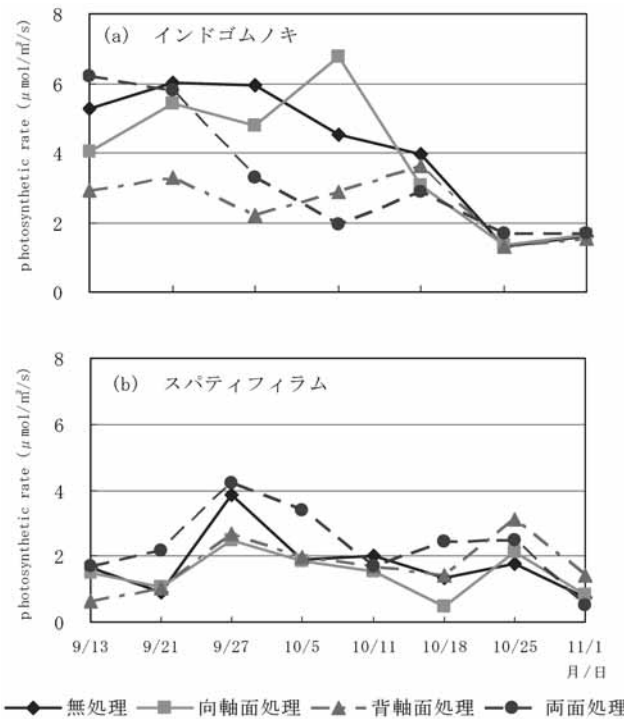


図 3 葉の異なる部位への酸化チタン処理による光合成速度の変化 (3 反復の平均値)

化チタン処理による葉緑素量の大きな差はなかった。

インドゴムノキでは実験期間中、葉緑素量の大きな変化がなく、ほぼ同じ値を示した。なお、スパティフィラムでは実験開始から若干、葉緑素量は増えたが、各実験区による葉緑素量の差は見られなかった。

図 3 に示した光合成速度では、8 回の測定日の測定結果

表 1 葉の異なる部位への酸化チタン処理による電解質溶出率の変化 (3 反復の平均値)

		電解質溶出率 (%)		
		9/21	10/10	11/1
インドゴムノキ	無処理	22.7a	18.8a	23.9a
	酸化チタン処理 向軸面	22.0a	18.0a	23.4a
	酸化チタン処理 背軸面	21.1a	18.2a	23.7a
	酸化チタン処理 両面	22.0a	17.4a	24.6a
スパティフィラム	無処理	12.8a	14.4a	13.7a
	酸化チタン処理 向軸面	15.1a	13.9a	14.9a
	酸化チタン処理 背軸面	14.2a	14.3a	15.4a
	酸化チタン処理 両面	14.0a	14.0a	15.5a

*異なるアルファベット間には5%水準で有意 (Tukey)

において、実験区ごとの一定の傾向は認められず、無処理区に比べて、葉の異なる部位への酸化チタン処理した各区の光合成速度が低下するという現象も認められなかった。

また、電解質溶出率を調べ、表 1 に示した。無処理、酸化チタン処理による電解質溶出率の値に有意差がなく、その値も低かったため、細胞レベルの被害も認められず、肉眼による供試植物への被害も見られなかったこともあり、酸化チタン処理が植物体へ及ぼす被害はないと考えられた。

(3) 光触媒用酸化チタンコーティング剤を塗布した観葉植物によるトルエンの除去可能性について

a) 材料および方法

前述した実験で酸化チタンの定着濃度が高かったスパティフィラムを用い、実際に光触媒用酸化チタンコーティング剤を塗布することによるトルエンの除去可能性について調べた。つまり、酸化チタン処理の有無、蛍光灯と紫外線 (UV-A) の光源の違い等によるトルエン除去能を検証するために 4 実験区を設定した (表 2)。

実験は 2007 年 5 月から 6 月にかけて、温度 $25.5 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 、湿度 $46.7 \pm 3.6\%$ の実験室で行った。透明なアクリル製のチャンパー (500×500×700 mm, 175l) 内に供試植物を置き、17 μl のトルエン溶液 (99.5%) をマイクロピペット (PIPETMAN, GILSON 社製) で採取し、キムワイブに滴下し、トルエンが充満するようにした。トルエン濃度は気体採取器 (GV-100SD, ガステック社製) を用い、チャンパー内の濃度の変化を 1 時間毎に 5 時間連続で、検知管 (No. 122L) を使用し、色の変化によって読み取った。光源としてチャンパー内に蛍光灯 (TOSHIBA, 15 W, 白色 FL15 W, 紫外線 UV-A の強度 $3.2 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, 光量子量 $14.81 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)、または紫外線ランプ (UV-A : SANKYO BLACKLIGHT, ピーク波長 352 nm, 強度 $0.32 \text{ mW}/\text{cm}^2$, 光量子量 $4.1 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) を取り付けられるようにした。紫外線照射し、チャンパーの外側を黒い布で覆い、外部からの光を遮断した (写真 2)。全ての実験は 3 反復とした。

トルエンの除去能を検証するために、チャンパーの中に何も入れてない空チャンパーの濃度を基準にして、供試植物を入れた場合に測定したトルエン濃度の経時的な変化と比べた。さらに、単位葉面積当たりのトルエンの除去量を求め、酸化チタン処理することによるスパティフィラムの

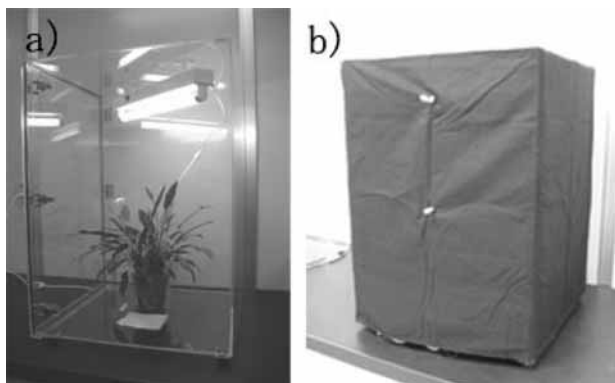


写真 2 実験装置 (a: 蛍光灯照射, b: 紫外線 (UV-A) 照射)

表 2 各実験区・供試植物の株当たりの葉面積の平均値 (m²)

実験区		株当たりの葉面積の平均値 (m ²)
無処理 スパティフィラム	蛍光灯	0.31 ± 0.01
	紫外線ランプ (UV-A)	0.32 ± 0.04
酸化チタン処理 スパティフィラム	蛍光灯	0.31 ± 0.06
	紫外線ランプ (UV-A)	0.29 ± 0.04

トルエンの除去可能性について調べた。なお、本実験では通常の室内環境では見られない、つまり厚生労働省の指針値 (260 μg/m³) よりもかなり高い濃度を設定した。この理由としては供試植物による除去可能性を簡易かつ迅速に明らかにするため、低濃度に設定して実験を行った場合、供試植物や実験装置等への吸着だけでガス濃度が 0 ppm まで下がってしまうためである⁸⁾。

供試植物への酸化チタンコーティング剤の塗布方法は前述した実験と同様であり、酸化チタンコーティング剤を植物体全面に (葉の背軸面も含む) スプレーしたため、葉面積を 2 倍に算定した (表 2)。供試植物は光量子量が約 5~75 μmol/m²/s (9:00~17:00 の測定値) の日の当たる実験室内の窓側に置き、室温 23.0 ± 2.0°C、湿度 58.01 ± 9.8% の室内環境で養生し、実験に供するようにした。実験中の土壌によるトルエンの吸収を避けるため、気体が土壌に接触しない様にポリエチレンフィルムで鉢の部分のみ包み実験に用いた。

b) 結果および考察

実験結果については図 4, 5 に示した。空チャンバー内のトルエン濃度は、実験開始から 1 時間後に 82.3 mg/m³ の値を示し、測定終了まで濃度の経時的変化は見られなかった。チャンバー内に供試植物を入れ、トルエン濃度の変化を調べたところ、徐々に濃度が下り、無処理区では実験開始から 5 時間後に、蛍光灯 73.4 mg/m³、UV-A 75.8 mg/m³ の値を示し、当初の濃度 (82.3 mg/m³) と比べるとそれぞれ、約 11%、7.9% の除去効果が認められた。

一方、酸化チタン処理区では、時間の経過に従い、トルエン濃度の低下はより顕著となり、5 時間後には蛍光灯 68.3 mg/m³、UV-A 66.8 mg/m³ の値を示し、いずれも約 17~18% の除去効果が認められた。つまり、酸化チタン処理しないスパティフィラムではトルエンの植物体への吸着、吸

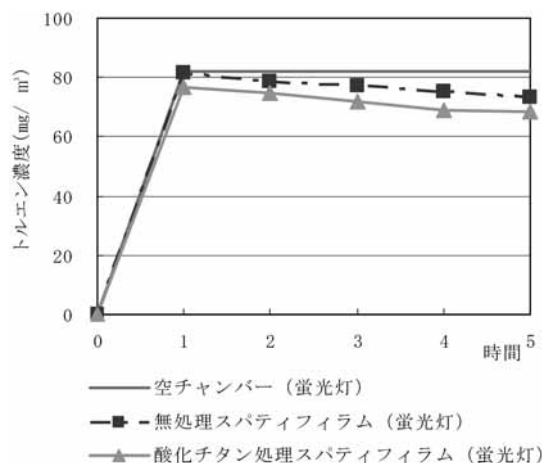


図 4 蛍光灯区によるトルエン濃度の変化 (3 反復の平均値)

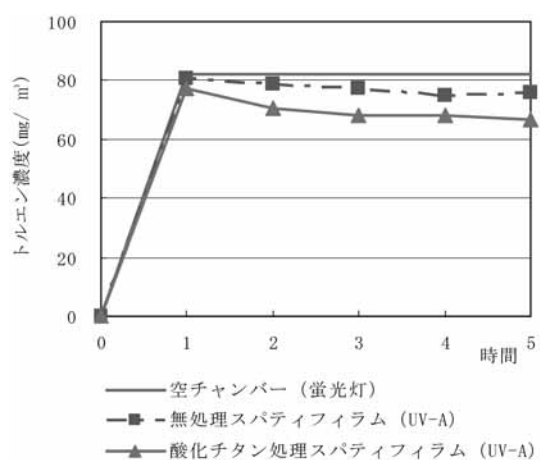


図 5 空チャンバー (蛍光灯)、紫外線 (UV-A) 区によるトルエン濃度の変化 (3 反復の平均値)

収によって 10% 内外除去されるが、さらに酸化チタン処理すると光触媒反応によってその倍近く除去されることが示唆された。

また、単位葉面積当たりのトルエンの除去量を算定し、図 6 に示した。単位葉面積当たりのトルエンの除去量は酸化チタン処理区では無処理区に比べ、蛍光灯下で約 1.6 倍程度、UV-A 下で約 2.6 倍程度増加した。さらに、Yoo ら⁴⁾ がトルエンとベンゼンの複合ガスでスパティフィラムを用い、行った実験よりは、本実験の酸化チタン処理区による単位葉面積当たりのトルエンの除去量が大きかった。

なお、蛍光灯と紫外線 (UV-A) との光源の違いによる単位葉面積当たりのトルエンの除去量については、紫外線 (UV-A) を照射した酸化チタン処理区で蛍光灯区より若干、数値的に高かったものの、検定の結果、有意な差は認められなかった。つまり、この結果から言えば、通常の室内の蛍光灯条件下でも観葉植物に酸化チタン処理を施すことで、紫外線 (UV-A) を照射するのと大差のない光触媒反応によるトルエンの除去効果が期待できるものと推察された。

なお、筆者らのこれまでの研究²⁾ においてもほぼ同様の傾向の結果が示唆されていたが、その実験とは酸化チタン

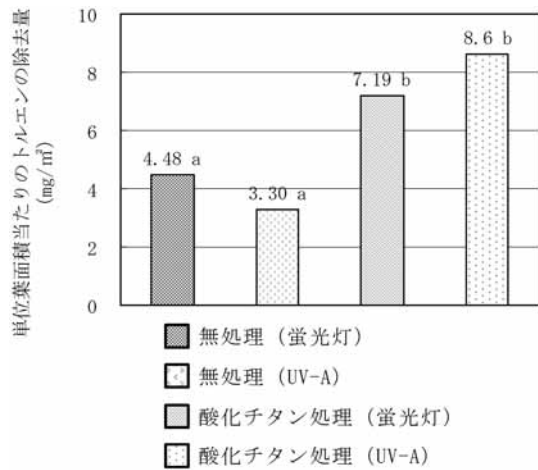


図 6 スパティフィラムによる単位葉面積当たりのトルエンの除去量 (3 反復の平均値)

*異なるアルファベット間は 5% 水準で有意 (Tukey)

コーティング剤の種類や塗布の仕方等を変えて実施した今回の実験に関しても植物体へ酸化チタンが確実に定着しており、それによって植物体上でも光触媒反応が引き起こされ、トルエンの除去がある程度可能であることが改めて確認された。

3. ま と め

本研究では、室内の汚染空気の原因物質の 1 つであるトルエンの除去効果を高める方法として、以上のような実験を行い、観葉植物によるトルエンの除去可能性について調べた。まず、観葉植物の葉への酸化チタン定着可能性について明らかにした結果、インドゴムノキよりスパティフィラムの葉面で酸化チタンの定着濃度が高かった。異なる観葉植物の種類、葉のテクスチャーの違い等によって酸化チタンの定着濃度に差はあったが、6ヶ月が経過しても酸化チタンは葉面に確実に定着していることが解った。また、植物体へ被害を与えることはなかった。なお、実際にスパティフィラムに酸化チタン処理し、トルエンの除去可能性について調べたところ、トルエン濃度は無処理区に比べて明らかに低下し、5時間後の単位葉面積当たりのトルエンの除去量も 2 倍内外増加した。また、照射した蛍光灯と紫

外線 (UV-A) の光源の違いによるトルエンの葉面積当たりの除去量に有意な差は認められなかった。

以上の結果、観葉植物へ酸化チタン処理を行うことは植物の生育を阻害することもなく、トルエンの除去に効果があったため、植物を使った、より効率的な室内の空気浄化方法として提案できると考えられた。

謝辞：最後に本研究を行うにあたって、蛍光 X 線分光装置による酸化チタン濃度の測定のご指導を頂いた東京農業大学森林科学科の飯島倫明教授ならびに実験の一部を手伝って頂いた鱒淵美紀氏に深甚の謝意を表します。

引用・参考文献

- 1) 申 恵京・水庭千鶴子・近藤三雄, 2007. 酸化チタンの光触媒反応を利用した観葉植物によるホルムアルデヒドの除去可能性. 環境の管理, No. 63, pp17-22.
- 2) 申 恵京・飯干絵里・水庭千鶴子・近藤三雄, 2007. 鉢物観葉植物による室内の揮発性有機化合物 (トルエン) の除去技術確立のための研究. 造園技術報告集, No. 4, pp110-115.
- 3) 山口真史・松本 博・大倉智子・佐藤弘康, 2005. 室内における観葉植物の VOC 除去に関する実験的研究. その 1 実験の概要と植物の違いによる VOC 除去効果. 日本建築学会学術講演梗概集 D-2 環境工学 2, Vol. 2005, pp957-958.
- 4) Mung Hwa Yoo, Youn Jung KWON, Ki-Cheol SON, Stanley J. KAYS, 2006. Efficacy of Indoor Plants for the Removal of Single and Mixed Volatile Organic Pollutants and Physiological Effects of the Volatiles on the Plants, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 131 (4) 452-458.
- 5) Tetsu TATSUMA, Shin-ichiro TACHIBANA and Akira FUJISHIMA, 2001. Remote Oxidation of Organic Compounds by UV-Irradiated TiO₂ via the Gas Phase, *J. Phys. Chem. B*, 105, 6987-6992.
- 6) 真子正史・武下晃慎・伊藤真悟・小泉明嗣・田中 淳・馬場 正, 2006. 酸化チタンの光触媒作用を利用した空気浄化循環式貯蔵庫の開発. 小型貯蔵装置の試作. 園芸学会雑誌別冊, Vol. 75, No. 1, pp414.
- 7) 橋本和仁・藤島 昭 (監修), 2004. 図解光触媒のすべて, 工業調査会
- 8) 高機能光触媒創製と応用技術研究会 (編), 安保重一 (監修), 2004. 高機能な酸化チタン光触媒～環境浄化・材料開発から規格化・標準化まで～, エヌ・ティー・エス, pp275

The Removal Effect of the Toluene by TiO₂-coated Foliage Plant

By

Hyekyoung SHIN*, Chizuko MIZUNIWA** and Mitsuo KONDO**

(Received August 23, 2007/Accepted October 26, 2007)

Summary : Recently, there has been increasing attention paid to indoor air pollution caused by various chemicals such as formaldehyde and VOCs. We have been researching the possibility of removal of toluene and formaldehyde by TiO₂-coated foliage plants. In this paper, foliage plants of *Ficus elastica* Roxb. and *Spathiphyllum* sp. were evaluated for fixed concentration of TiO₂ and physiological influence by TiO₂-coating. We coated TiO₂ on the surface, back side, and both side of leaves of *Ficus elastica* and *Spathiphyllum*. Moreover, chlorophyll amount, photosynthetic rate, and electrolytic elution percent were assessed for TiO₂-coated *Ficus elastica* and *Spathiphyllum*. In addition, removal effect of toluene was investigated by using non-coated or TiO₂-coated *Spathiphyllum* that was exposed to toluene gas in a closed chamber over 5-hour periods.

The results showed that *Spathiphyllum* displayed higher concentration of TiO₂ fixed than *Ficus elastica*. And we found no injury or deleterious effect of the TiO₂-coated each side of leaf. Also, the removal effect of toluene was higher when TiO₂-coated *Spathiphyllum* was exposed to toluene more than non-coated. However, when fluorescence light or black light were irradiated to *spathiphyllum*, it was not different from amount of toluene removed per unit leaf area(m²).

Key words : Indoor air pollution, Photocatalytic reaction, Foliage plant, Toluene

* Department of Landscape Architecture, Graduate School of Agriculture, Tokyo University of Agriculture

** Department of Landscape Architecture Science, Faculty of Regional Environment Science, Tokyo University of Agriculture