

광량에 따른 실내식물 디펜바키아와 스파티필럼의 미세먼지 제거능[†]

권계정 · 박봉주
충북대학교 원예과학과

Particulate Matter Removal of Indoor Plants, *Dieffenbachia amoena* 'Marianne' and *Spathiphyllum* spp. according to Light Intensity

Kwon, Kei-Jung · Park, Bong-Ju

Dept. of Horticultural Science, Chungbuk National University

ABSTRACT

This study investigated the effect of light intensity on the removal of particulate matter by *Dieffenbachia amoena* 'Marianne' and *Spathiphyllum* spp.. An acrylic chamber (600×800×1200mm, L×W×H) modeled as an indoor space and a green bio-filter (495×495×1000mm, L×W×H) as an air purification device were made of acrylic. The removal of particulate matter PM10 and PM1, the photosynthetic rate, stomatal conductance, and number of stomata of *Dieffenbachia amoena* 'Marianne' and *Spathiphyllum* spp. were measured according to three different levels of light intensity (0, 30 and 60 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ PPFD). Regarding the length of time taken for PM10 to reach 1 μg , the *Dieffenbachia amoena* 'Marianne' showed a significant difference according to the presence or absence of light, and there was no significant difference shown between light intensity of 30 and 60 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ PPFD. As for the *Spathiphyllum* spp., there was no significant difference between 0 and 30 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ PPFD, while a significant difference was shown at 60 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ PPFD. After 90 minutes, the PM1, PM10, and CO₂ residuals of the *Spathiphyllum* spp. were lowest at 60 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ PPFD. The remaining amount of PM1 and PM10 was lower with the *Spathiphyllum* spp. than with the *Dieffenbachia amoena* 'Marianne', even at 0 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ PPFD. With both plants, the higher the light intensity, the higher the photosynthetic rate, while the stomatal conductance did not show any significant difference. *Spathiphyllum* spp. showed a higher photosynthetic rate and stomatal conductance and a greater number of stomata than *Dieffenbachia amoena* 'Marianne', and stomata were observed in both the front and back sides of the leaves. The air purification effect of *Spathiphyllum* spp. is considered to be better than *Dieffenbachia amoena* 'Marianne' at the same light intensity due to such plant characteristics. Therefore, in order to select effective indoor plants for the removal of particulate contamination in an indoor space, the characteristics of plants such as the photosynthetic rate and the number and arrangement of stomata according to indoor light intensity should be considered.

Key Words: Air Purification, Photosynthetic Rate, PM1, PM10, Number of Stomata

[†]: 본 논문은 2018년도 충북대학교 박사학위논문의 일부임.

Corresponding author: Bong-Ju Park, Dept. of Horticultural Science, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea, Tel.: +82-43-261-2528, E-mail: bjpak@chungbuk.ac.kr

국문초록

본 연구는 실내공간을 모형화한 아크릴챔버(600×800×1,200mm, L×W×H)와 공기정화 장치인 그린바이오필터(495×495×1,000mm, L×W×H)를 아크릴로 제작하여 광량 0, 30, 60 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ PPFD의 3수준에 따른 디펜바키아와 스파티필럼의 미세먼지(PM10) 및 초미세먼지(PM1) 제거능과 두식물의 광합성율, 기공전도도, 기공수를 비교하였다. PM10이 1 μg 이 될 때까지 걸리는 시간에 있어서 디펜바키아는 광의 유무에 따른 차이가 유의하게 나타났으며, 30과 60 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ PPFD에서는 유의적인 차이가 없었다. 스파티필럼은 0과 30 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ PPFD에서는 유의적인 차이가 없었으나, 60 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ PPFD에서 유의적인 차이를 보였다. 90분 경과 후, 60 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ PPFD에서 스파티필럼의 PM1, PM10 잔존량이 가장 적었으며, 이때 이산화탄소 잔존량도 가장 낮은 것으로 나타났다. 스파티필럼은 0 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ PPFD에서도 PM1, PM10 잔존량이 디펜바키아보다 낮은 것으로 나타났다. 두 식물 모두 광량이 높을수록 광합성율이 높게 나타났으며, 기공전도도는 유의적인 차이가 없었다. 스파티필럼은 디펜바키아보다 광합성율과 기공전도가 높았고, 기공수가 많았으며, 잎의 앞·뒷면 모두에서 기공이 관찰되었다. 이러한 식물적 특성으로 인하여 같은 광량에서 스파티필럼의 공기정화 효과가 디펜바키아보다 더 좋았던 것으로 판단된다. 따라서 효과적인 실내 미세먼지 제거를 위해서는 실내광량에 따른 식물의 광합성율과 기공수, 기공의 배치형태 등 식물 각각의 특성을 고려해야 할 것으로 판단된다.

주제어 : 공기정화, 광합성율, 초미세먼지, 미세먼지, 기공수

1. 서론

최근 국내에서 빈번히 발생하는 황사와 스모그로 인한 실외 공기 오염은 실내공기질에도 악영향을 미치고 있다. 환기 부족과 인공건축자재 등에서 발생하는 오염물질로 인한 실내공기질 악화는 실내생활을 많이 하는 현대인들에게 심각한 사회문제로 대두되고 있다(BéruBé *et al.*, 2004). 공기 중 오염물질은 입자상 물질과 가스상 물질로 분류되며, 입자상 오염물질인 먼지는 입자의 크기에 따라 총부유분진(Total Suspended Particles), 지름이 10mm 이하인 미세먼지(Particulate Matter, PM10), 지름이 2.5mm 이하인 초미세먼지(PM2.5)로 나뉘지며, 고체상·액체상의 입자상 물질을 총칭한다. 입자상 오염물질은 햇빛을 차단하여 농업 생산물 감소와 구루병 증가와 같은 간접적인 영향을 미치며, 호흡을 통해 인체의 조직, 기관 등에 영향을 미쳐 각종 질환을 유발하는 직접적인 영향을 미치기도 한다(Kim *et al.*, 1994). 가스상 오염물질은 공기 중 확산되며, 입자상 오염물질은 배출장소에 머물러 있거나, 다른 곳으로 이동한다(Farmer, 2002). 특히 미세먼지는 난방, 자동차, 공장 등의 연소과정 등 인간의 모든 활동에서 발생하며, 실·내외 어느 곳이나 존재하는 건강에 유해한 대기오염물질이다.

식물은 오염물질을 지상부에서 흡착 및 흡수하여 제거하고, 식체 기반의 미생물에 의한 정화가 가능한 장점이 있다(Beckett *et al.*, 1998). 도시에서 발생하는 중금속을 포함한 미세먼지를 도로변, 옥상녹화를 비롯한 기타의 환경에서 식물을 이용하여 제거하는 연구가 꾸준히 있어 왔으며(Ottel *et al.*, 2010; Yang *et al.*, 2008), Espinosa and Oliva(2006)은 중금속 오염도가

다른 두 도시에서 *Nerium oleander*와 *Lantana camara*의 잎에서 중금속을 분석한 결과, *Nerium oleander*가 특정 성분을 포함한 PM10 함량 간에 양의 상관관계가 나타나, 거리 미세먼지의 중금속 바이오마커에 적합하다는 연구결과를 보고하였다. Dzierżanowski *et al.*(2011)은 가로수로 사용된 목본, 관목, 덩굴 식물에 대해서, Sæbø *et al.*(2012)은 교통량과 환경오염의 차이가 큰 두 도시의 가로수에서 잎을 채취하여 입자별 중량 측정 분석 및 표면과 왁스 층의 미세먼지를 정량화하였다. Speak *et al.*(2012)은 4종 옥상 녹화 식물을 통한 도시 미세먼지 저감 연구를 통해 영국 맨체스터의 옥상녹화가 가능한 곳에 세덤을 이용하여 저관리형으로 녹화한다면 PM10을 약 2.3% 감소가 가능하다는 경제적 효과도 연구되고 있다.

쾌적한 실내 공기질을 위해서 다양한 형태의 공기정화기를 복합적으로 사용하고 있으나, 공기정화기의 잦은 필터 교체에 따른 번거로움과 비용을 해결하기 위한 지속 가능한 친환경 소재 필터의 필요성에 따라 식물이나 미생물 등을 이용한 바이오필터가 실내공기 오염 제거 방안으로 주목 받고 있다(Lee, 2003; Soreanu *et al.*, 2013). Lohr and Pearson-Mims(1996)는 실내공간의 20%를 관엽식물로 식재하면 실내 미세먼지 축적을 감소시킬 수 있다고 하였고, Gawrońska and Bakera(2015)는 식물표면보다 왁스 층에 더 많은 먼지를 축적한다고 하였다. 광도 차이에 따른 식물체의 포름알데히드 제거능 연구(Kil *et al.*, 2008)와 같은 실내 가스상 오염물질 제거에 관한 연구가 있었다. 실내공간은 작업 활동 종류에 따라 광도가 달라지며, 이러한 광조건은 식물의 생육을 위한 광합성에 있어 자연환경에서보다 많은 제약을 받는다. 기존의 연구에서 식물을 이용하여

공기정화가 가능하며, 광량에 따른 가스상 오염물질 제거에 관한 연구가 있었으나, 여전히 실내 광환경에 따른 입자상 오염물질 제거에 있어 효율적인 식물종 선택에 관한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 디펜바키아와 스파티필럼의 광량에 따른 입자상 오염물질인 PM1(입경 $< 1\mu\text{m}$)과 PM10(입경 $< 10\mu\text{m}$)의 제거효과를 구명하고자 수행하였다.

II. 재료 및 방법

1. 식물 재료

실내에서의 이용도 및 기호도가 높은 디펜바키아(*Dieffenbachia amoena* 'Marianne')와 스파티필럼(*Spathiphyllum* spp.)을 사용하였다(Park *et al.*, 2010). 디펜바키아는 반입식물로 엽록소의 함량이 적거나 엽록소가 없어 잎에 무늬를 만들어 다양한 색상을 표현할 수 있고, 광 요구도가 낮아 실내식물로 많이 사용되고 있다(Park *et al.*, 2013). 스파티필럼은 벤젠, 포름알데히드 등의 공기 오염 물질의 정화력이 뛰어나다(Wolverton *et al.*, 1989; Yoon, 1989). 따라서 스파티필럼과 광요구도가 낮은 반입식물인 디펜바키아의 광조건에 따른 미세먼지 제거능을 비교하기 위해 두 식물을 선정하였다. 이들 식물은 일반 농원(양촌화훼, 청주시)에서 10cm 포트식물을 일괄 구입하여 원예용 상토(Wonjo Mix, Nongkyung, Korea)로 분갈이하여 이용하였다.

2. 실험방법 및 자료분석

실내 공간을 모형화한 아크릴챔버(600×800×1,200mm, L×W×H)와 공기정화 장치인 그린바이오피터(495×495×1,000mm, L×W×H)를 아크릴로 제작하였다. 챔버와 바이오필터, 송풍기(HRB-101, Hwang Hae Electric, Korea)를 실리콘 호스로 연결하였다. 외부 광에 의한 영향을 차단하기 위해 전체를 차광률 90%의 암막 커튼으로 감쌌다. Kwon and Park(2015)의 연구에서 엽면적이 비교적 넓은 디펜바키아와 스파티필럼은 $15\sim 60\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ PPFD 범위에서 초장, 엽장, 엽폭, 엽면적 등의 생육에 유의적인 차이가 없는 것으로 나타났다. 따라서 실험기간이 길어짐에 따른 생육차이를 최소화 하기 위해, 광량은 바이오필터 바닥면으로부터 50cm 위치에서 백색 광원을 사용하여 0, 30, $60\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ PPFD의 3조건으로 설정하였다. 그린바이오피터 내 식재는 일반화분과 같은 구조인 아크릴 사각화분을 사용하였고, 10cm 포트 식물을 16주씩 식재하였다. 미세먼지 오염원으로는 환경담배연기(Environmental Tobacco Smoke: ETS)를 사용하였는데, 이는 가스상과 입자상의 수천종의 화합물로 존재하며(Baek and Park, 2005), Yoon

et al.(2000)과 Kwon and Park(2014)의 식물을 이용한 미세먼지 제거효과 연구에서 사용되고 있기 때문이다. 스모킹테스터(Smoking Tester, Three Shine, Korea)를 이용하여 담배(THIS, KT&G, Korea) 연기를 주입하였다. PM1과 PM10은 미세먼지측정기(GT-531, MET One Instruments, Inc. USA)를 이용하여 질량농도법($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)으로 측정하였고, 이산화탄소는 실내 종합 환경측정기(IQ-610Xtra, Gray Wolf, USA)를 이용하여 측정하였다. 온도는 $28.7\pm 0.9^\circ\text{C}$, 토양수분은 $22.0\pm 4.9\%$, 풍속은 약 $1\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 챔버 환경에서 실시하였다. 4가지 관엽식물을 이용한 바이오필터의 미세먼지 제거효과(Kwon and Park, 2014) 연구에서 미세먼지의 제거효과는 단순히 엽면적에 비례하지 않으며, 식물의 기공수 등 관련이 있다고 보고하여 기공수를 Paek and Jun(1995)의 방법으로 측정하였다. 휴대용 광합성 측정기(LI-6400, Li-COR Inc., USA)를 이용하여 잘 전개된 상위 제3엽을 사용하여 광합성률, 기공전도도를 오전 10시부터 오후 3시 사이에 측정하였다. 이때 Leaf 챔버 내 유입되는 공기의 유량은 $250\mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$, 온도는 25°C , 광량은 $400\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 이산화탄소 농도는 $400\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$ 조건으로 설정한 후 측정하였다.

미세먼지 제거 및 공기정화 실험은 각 광량별로 3반복하여 실시하였고, 데이터는 컴퓨터를 이용하여 자동기록하였다. 통계분석은 SAS 9.3 프로그램(SAS Institute Inc., USA)을 이용하였고, 처리 평균간 차이는 Duncan's multiple range test (DMRT)로 5% 유의수준에서 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

챔버 내 초기 ETS의 PM10 주입량은 $323.5\pm 18.9\mu\text{g}$ 이었으며, $1\mu\text{g}$ 이 될 때까지의 시간을 측정하였다(Table 1 참조). 디펜바키아는 $0\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서는 약 180분간 미세먼지가 잔류한 반면에, 30과 $60\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서는 약 130분 정도 미세먼지가 잔류하는 것으로 나타났다. 스파티필럼은 0과 $30\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 약 140분간 미세먼지가 잔류하였으나, $60\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서는 약 115분간 미세먼지가 잔류하는 것으로 나타났다.

두 식물의 광합성율은 $60\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 이 $30\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

Table 1. Time (minute) for PM10 to reach 1 μg at three different level of light intensity (n=3)

Light intensity ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	<i>Dieffenbachia amoena</i>	<i>Spathiphyllum</i> spp.
0	181.3a ^z	139.7a
30	132.0b	141.3a
60	132.3b	114.0b

^z Means separation within columns by Duncan's multiple range test, $p<0.05$.

s^{-1} 에서 보다 모두 유의적으로 높게 나타났고, 스파티필럼이 디펜바키아보다 약 3배 높게 나타났다(Table 2 참조). 기공전도율은 같은 식물에서는 광량에 따른 유의적 차이가 없었으나, 스파티필럼이 디펜바키아보다 약 5~13배 높게 나타났다. 기공수는 디펜바키아는 광량이 높을수록 그 수가 적었으며, 스파티필럼은 광량이 높을수록 많게 나타났다. 또한 디펜바키아는 잎의 앞면에서는 기공이 관찰되지 않았으나, 스파티필럼은 잎의 앞면에서도 나타났다. Kim(2003)은 광합성률이 우수한 식물이 분진 제거에 효과적인 것으로 보고하였으며, 본 연구에서도 식물의 광합성률이 높으면 미세먼지 제거 효과가 높아지는 것으로 나타났다. 디펜바키아는 $30\sim 60\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 정도의 광량이 효과적이며, 스파티필럼은 $60\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 광량에서 효과적인 것으로 나타났다. 실내 환경 개선을 위한 관엽식물들의 생리적 반응에 의한 연구에서 스파티필럼의 광보상점이 디

펜바키아보다 높다는 연구가 보고되어(Park *et al.*, 2010), 향후 스파티필럼의 경우, $60\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 이상의 광량에서 미세먼지 제거에 대한 추가적인 실험이 이루어져야 할 것으로 판단된다. $0\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 스파티필럼의 미세먼지 잔류시간이 디펜바키아보다 짧게 나타났다.

초기 주입한 PM10량을 100%로 하여 광량에 따른 식물별 미세먼지 감소를 10분 간격으로 나타낸 결과는 Table 3과 같다. ETS 주입 후 시간이 경과함에 따라 유의적인 차이가 나타나기 시작하였다. 두 식물 모두 광이 있을 때가 미세먼지 제거에 더 효과적이었으며, 스파티필럼이 디펜바키아보다 PM10 제거에 더 효과적이었다. 디펜바키아는 ETS 주입 초반부터 90분이 경과할 때까지 광의 유무에 따른 PM10제거 차이가 뚜렷하게 보였다. 광량 0은 광량 30, $60\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 과 10분 간격으로 비교하였을 때 유의적인 차이를 나타냈으며, 90분 동안 가

Table 2. Photosynthetic rate, stomatal conductance and number of stomata according to light intensity(n=9)

	Light intensity($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	<i>Dieffenbachia amoena</i>	<i>Spathiphyllum</i> spp.
Photosynthetic rate ($\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	30	1.112b ^z	3.748b
	60	1.425a	4.404a
	Significance	***	**
Stomatal conductance ($\mu\text{molH}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	30	0.007a	0.036a
	60	0.005a	0.065a
	Significance	ns	ns
Number of stomata	30	29.2(29.2 ^y +0 ^x)a	40.2(32.4+7.8)b
	60	19.9(19.9+0)b	57.8(48.3+9.5)a
	Significance	**	***

^z Means separation within columns by Duncan's multiple range test, $p < 0.05$.

^y Means number of stomata on back of leaf.

^x Means number of stomata on front of leaf.

ns, *, **, *** Nonsignificant or significant at $p=0.05$, 0.01, or 0.001, respectively.

Table 3. PM10 concentration at three different levels of light intensity for 90 minutes

Time (Min.)	<i>Dieffenbachia amoena</i>			<i>Spathiphyllum</i> spp.			Significance
	Light intensity($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)			Light intensity($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)			
	0	30	60	0	30	60	
0	100.0a ^z	100.0a	100.0a	100.0a	100.0a	100.0a	ns
10	70.7a	62.4ab	58.6ab	64.2a	56.0b	56.1b	ns
20	50.7a	41.7bc	36.3bc	42.7ab	37.5bc	33.4c	**
30	36.6a	27.5bc	24.9bc	28.7b	25.5bc	21.6c	**
40	27.8a	18.9b	17.3bc	19.9b	18.0bc	14.2c	***
50	21.0a	13.3b	12.6b	14.2b	12.8b	9.3c	***
60	16.0a	9.1b	8.9b	10.1b	9.2b	6.1c	***
70	12.3a	6.2bc	6.4bc	7.0b	6.6b	4.0c	***
80	9.4a	4.2bc	4.3bc	4.9b	4.6b	2.3c	***
90	7.3a	2.8bc	2.8bc	3.3b	3.3b	1.4c	***

^z Means separation within rows by Duncan's multiple range test, $p < 0.05$.

ns, *, **, *** Nonsignificant or significant at $p=0.05$, 0.01, or 0.001, respectively.

장 높은 PM10 잔존율을 나타냈다. 광량 30과 $60\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 PM10 잔존 비율은 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 스파티필럼은 ETS 주입 후 PM10의 경우, 10분 경과 시에 광의 유무에 의한 차이가 나타났으며, 20분 후부터는 광량이 높을수록 PM10 잔존율이 유의적으로 낮게 나타났다. 광합성과 기공전도도가 높은 정(+)의 상관관계가 있으며(Bunce, 1996), 이는 스파티필럼의 광합성율과 기공전도도가 디펜바키아보다 높게 나타났기 때문으로 판단된다. 기공의 흡수로 인한 미세먼지 제거는 광합성율과 상관이 있으며, 엽면의 흡착에 의한 미세먼지 제거는 엽면적에 클수록 그 효과는 클 것으로 판단된다. 하지만 엽면 흡착에 의한 미세먼지 제거는 공기유동에 따른 미세먼지 재부유를 방지하기 위한 식물의 엽형태와 관련된 추가적인 실험을 통해 적정 식물 선정이 구명되어야 할 것이다.

초기 주입한 PM1량을 100%로 하여 식물별, 광량별 미세먼지 감소를 10분 간격으로 나타낸 결과는 Table 4와 같다. 90분 경과 후 PM10은 1.4~7.3% 잔존하였으나, PM1은 5.2~26.2% 잔존하여 전체적인 감소는 PM10과 같은 형태를 나타내고 있고, 감소폭이 PM10에 비해 낮은 것으로 나타났다. 실내 벽면 녹화를 이용한 미세먼지 제거 실험에서도 PM2.5의 제거효율이 PM10의 제거 효율보다 약 5% 낮은 것으로 보고되고 있어(Irga *et al.*, 2017), 입경이 작을수록 제거가 어려운 것으로 나타났다. 이는 직경이 큰 먼지들이 더 작은 먼지들로 분절되고, ETS 특성상 중력침강, 관성충돌에 의해 오래 부유하는 초미세먼지가 많기 때문인 것으로 판단된다(Baek and Park, 2005). Table 5는 ETS를 주입하여 PM1과 PM10을 측정하였을 때의 이산화탄소량을 100%로 하여 식물별, 광량별 이산화탄소

Table 4. PM1 concentration at three different levels of light intensity for 90 minutes

Time (Min.)	<i>Dieffenbachia amoena</i>			<i>Spathiphyllum</i> spp.			Significance
	Light intensity($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)			Light intensity($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)			
	0	30	60	0	30	60	
0	100.0a ^z	100.0a	100.0a	100.0a	100.0a	100.0a	ns
10	98.2a	95.8b	96.9ab	98.7a	97.8ab	96.0b	ns
20	91.4a	86.1bc	84.8c	89.9ab	87.0abc	81.9c	*
30	82.5a	71.8bc	71.1bc	76.7ab	74.0bc	65.1c	***
40	71.8a	57.6bc	56.3bc	61.8b	61.0b	48.2c	***
50	60.2a	43.3bc	43.0bc	48.2b	47.1b	34.1c	***
60	50.0a	31.8b	32.0b	36.8b	36.3b	22.5c	***
70	41.2a	23.0bc	23.0bc	26.3b	26.4b	14.8c	***
80	32.8a	15.7bc	15.3bc	18.8b	18.8b	8.8c	***
90	26.2a	10.6bc	10.5bc	13.2b	13.5b	5.2c	***

^z Means separation within rows by Duncan's multiple range test, $p < 0.05$.

ns, *, **, *** Nonsignificant or significant at $p = 0.05$, 0.01, or 0.001, respectively.

Table 5. CO₂ concentration at three different levels of light intensity for 90 minutes

Time (Min.)	<i>Dieffenbachia amoena</i>			<i>Spathiphyllum</i> spp.			Significance
	Light intensity($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)			Light intensity($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)			
	0	30	60	0	30	60	
0	100.0a ^z	100.0a	100.0a	100.0a	100.0a	100.0a	ns
10	100.8a	100.0ab	100.5a	100.9a	99.9ab	99.1b	ns
20	101.3a	100.0ab	100.6a	101.6a	99.6ab	98.0b	*
30	101.7a	100.0a	100.0a	102.1a	99.3ab	97.0b	*
40	102.0ab	100.1ab	99.8ab	102.6a	98.8bc	96.1c	*
50	102.3ab	100.1ab	99.5ab	103.0a	98.7b	94.8c	**
60	102.6ab	100.2ab	99.1ab	103.5a	98.3b	93.6c	**
70	102.8ab	100.2ab	98.8b	104.0a	98.1b	92.6c	**
80	103.0ab	100.3ab	98.5b	104.5a	97.7b	91.6c	**
90	103.2ab	100.3abc	98.0bc	104.9a	97.3c	90.5d	**

^z Means separation within rows by Duncan's multiple range test, $p < 0.05$.

ns, *, **, *** Nonsignificant or significant at $p = 0.05$, 0.01, or 0.001, respectively.

량의 감소를 10분 간격으로 나타낸 것이다. $0\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 두 식물 모두 호흡으로 인해 이산화탄소가 증가하였으며, $60\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 스파티필럼의 이산화탄소감소가 가장 활발하였다. $60\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서의 디펜바키아의 이산화탄소 감소량은 $30\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 스파티필럼과 유사하게 나타나, 입자성물질 제거가 광합성에 의한 효과임이 확인되었다.

IV. 결론

광량 차이에 따른 디펜바키아와 스파티필럼의 두 실내식물의 PM10 및 PM1 제거 효과에서, 디펜바키아는 광의 유무에 따른 차이가 유의하게 나타났으며, 30과 $60\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ PPFD 처리 간에는 유의차가 없었다. 스파티필럼은 0과 $30\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ PPFD에서는 유의적인 차이가 없었으나, $60\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ PPFD에서 유의적인 차이를 보였다. 스파티필럼은 디펜바키아보다 광합성율과 기공전도가 높았고, 기공수가 많았으며, 잎의 앞·뒷면 모두에서 기공이 관찰되었다. 이러한 식물적 특성으로 인하여 같은 광량에서 디펜바키아보다 스파티필럼의 공기정화 효과가 더 좋게 나타난 것으로 판단된다. 고정된 실내 공간의 광환경에서 효과적인 실내 공기정화를 위해서 각 식물의 광포화점, 광합성률과 기공수, 기공의 배치형태 등 식물 각각의 특성을 충분히 고려해서 선택할 필요가 있으며, 더 많은 식물에 대한 데이터가 필요하며, 미세먼지 제거를 위한 자생식물의 개발에 대한 연구도 이루어져야 할 것이다. 또한 실내 공기질오염도가 높을 경우, 식물에 의한 공기정화 효과를 높이기 위해서 국부조명을 사용하여 광량 조절을 통해 광합성률을 높이는 방법도 고려해 볼 수 있을 것으로 판단된다.

References

1. Baek, S. O. and S. Y. Park(2005) Chemical characteristics and indicators of environmental tobacco smoke. Korean Journal of Odor Research and Engineering 4: 168-176.
2. Beckett, K. P., P. H. Freer-Smith and G. Taylor(1998) Urban woodlands: their role in reducing the effects of particulate pollution. Environmental Pollution 99: 347-360.
3. Bérubé, K. A., K. J. Sexton, T. P. Jone, T. Moreno, S. Anderson, and R. J. Richards(2004) The spatial and temporal variations in PM10 mass from six UK home. Science of the Total Environment 324: 41-53.
4. Bunce, J. A.(1996) Does transpiration control stomatal responses to water vapor pressure deficit?. Plant, Cell and Environment 19: 131-135.
5. Dzierżanowski, K., R. Popek, H. Gawrońska, A. Sæbø and S. W. Gawronski(2011) Deposition of particulate matter of different size fractions on leaf surfaces and in waxes of urban forest species. International Journal of Phytoremediation 13: 1037-1046.
6. Espinosa, A. J. F. and S. R. Oliva(2006) The composition and relationships between trace element levels in inhalable atmospheric particles (PM10) and in leaves of *Nerium oleander* L. and *Lantana camara* L. Chemosphere 62: 1665-1672.
7. Farmer, A.(2002) Effects of particulates. In: Bell JNB, Treshow M. editors. Air Pollution and Plant Life. Hoboken (NJ): John Wiley & Sons, Inc., pp. 187-199.
8. Gawrońska, H. and B. Bakera(2015) Phytoremediation of particulate matter from indoor air by *Chlorophytum comosum* L. plants. Air Quality, Atmosphere & Health 8: 265-272.
9. Irga, P. J., N. J. Paull, P. Abdo and F. R. Torpy(2017) An assessment of the atmospheric particle removal efficiency of an in room botanical biofilter system. Building and Environment 115: 281-290.
10. Kil, M. J., K. J. Kim, J. K. Cho and C. H. Park(2008) Formaldehyde gas removal effects and physiological responses of *Fatsia japonica* and *Epipremnum aureum* according to various light intensity. Korean Journal of Horticultural Science & Technology 26: 189-196.
11. Kim, Y. J.(2003) Effect of Foliage Plants on Removal of Indoor Fine Particulate. Master's Thesis, Konkuk University. Seoul, Korea.
12. Kim, Y. S., E. B. Shin, S. D. Kim, D. S. Kim, and J. M. Jeon.(1994) Measurements of carcinogenic air pollutants in Seoul metropolitan subway station. Journal of Environmental Health Sciences 20: 19-27.
13. Kwon, K. J. and B. J. Park(2014) Removal of particulate matters of four foliage plant. Journal of Agriculture Science Research 30: 157-160.
14. Kwon, K. J. and B. J. Park(2015) Effect of light intensity on growth and leaf color of indoor foliage plants. Folwer Research Journal 23: 92-97.
15. Lee, J. H.(2003) A study on the rate of indoor air purification by plants and gauging compared with air clean instrument. Journal of The Korean Institute of Interior Landscape Architecture 5: 1-12.
16. Lohr, V. I. and C. H. Pearson-Mims(1996) Particulate matter accumulation on horizontal surfaces in interiors: Influence of foliage plants. Atmospheric Environment 30: 2565-2568.
17. Ottelé, M., H. Bohemen and A. Fraaij(2010) Quantifying the deposition of particulate matter on climber vegetation on living walls. Ecological Engineering 36: 154-162.
18. Paek, K. Y. and E. S. Jun(1995) Stomatal density, size and morphological characteristics in orchids. Korean Journal of Horticultural Science & Technology 36: 851-862.
19. Park, I. S., Y. G. Shin, W. Oh and K. W. Kim(2013) Comparisons in pattern characteristics and chlorophyll contents of major foliages with variegated leaves. Korean Journal of Horticultural Science & Technology 31: 447-456.
20. Park, S. A., M. G. Kim, M. H. Yoo, M. M. Oh and K. C. Son(2010) Plant physiological responses in relation to temperature, light intensity, and CO₂ concentration for the selection of efficient foliage plants on the improvement of indoor environment. Korean Journal of Horticultural Science & Technology 28: 928-936.
21. Sæbø, A., R. Popek, B. Nawrot, H. M. Hanslin, H. Gawronski and S. W. Gawronski(2012) Plant species differences in particulate matter accumulation on leaf surfaces. Science of the Total Environment 427-428: 347-354.
22. Soreanu, G., M. Dixon and A. Darlington(2013) Botanical biofiltration of indoor gaseous pollutants. Chemical Engineering Journal 229: 585-594.
23. Speak, A. F., J. J. Rothwell, S. J. Lindley and C. L. Smith(2012) Urban particulate pollution reduction by four species of green roof vegetation in a UK city. Atmospheric Environment 61: 283-293.
24. Wolverton, B. C., A. Johnson and K. Bounds(1989) Inter Landscape Plants for Indoor air Pollution Abatement. NASA Report. pp. 1-21.
25. Yang, J., Y. Qian and G. Peng(2008) Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. Atmospheric Environment 42: 7266-7273.

26. Yoon, J. W., K. C. Son, D. S. Yang and S. J. Kays(2009) Removal of indoor tobacco smoke under light and dark conditions as affected by foliage plants. Korean Journal of Horticultural Science & Technology 27: 312-318.
27. Yoon, P. S.(1989) Flora of Horticultural ad Crop Plants in Korean. Jisik, Korean. pp. 944.

Received : 24 January, 2018

Revised : 12 February, 2018 (1st)
02 April, 2018 (2nd)

Accepted : 02 April, 2018

3인익명 심사필