

실내 환경 개선에 적합한 식물 선발을 위한 온도, 광도, 이산화탄소 농도에 따른 관엽식물들의 생리적 반응

박신애¹ · 김민지¹ · 류명화¹ · 오명민² · 손기철^{1*}

¹건국대 환경과학과, ²충북대 원예과학과

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

Sin-Ae Park¹, Min-Gi Kim¹, Mung-Hwa Yoo¹, Myung-Min Oh², and Ki-Cheol Son^{1*}

¹Department of Environmental Science, Kon-Kuk University, Seoul 143-701, Korea

²Department of Horticultural Science, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

Abstract. This study was conducted to select efficient foliage plants for improving indoor environment conditions through the investigation of physiological responses including photosynthetic rate according to temperature, light intensity, and CO₂ level. Eight popular foliage plants used in this study were *Hedera helix* L., *Cissus rhombifolia* Vahl, *Ficus benjamina* L. 'Hawaii', *Syngonium podophyllum* Schott 'Albo-Virens', *Dieffenbachia* sp. 'Marianne', *Pachira aquatica* Aubl., *Spathiphyllum wallisii* Regel, and *Scindapsus aureus* Engler. Photosynthetic rate and transpiration rate of the plants subjected to various light intensities (0, 25, 50, 75, 100, 150, 300, and 600 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PPFD), CO₂ levels (0, 50, 100, 200, 400, 700, and 1,000 $\mu\text{molCO}_2\cdot\text{mol}^{-1}$), and two different temperatures (16 and 22°C) were measured. In addition, various parameters in relation to photosynthesis were calculated from the measured data. As a result, the patterns of photosynthesis varied among 8 foliage plants according to light intensity, CO₂ level, and temperature. Most foliage plants except *Dieffenbachia* had high levels of apparent quantum yield, which represents the photosynthetic rate under low light intensity (PPFD 0-100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). *Hedera helix*, *Ficus benjamina*, *Pachira aquatica*, and *Spathiphyllum wallisii* exposed to high light intensity (PPFD 200-600 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) showed high levels of photosynthesis. *Cissus rhombifolia* and *Syngonium podophyllum* were low in CO₂ fixation efficiency compared to the other 6 foliage indoor plants. *Hedera helix* and *Spathiphyllum wallisii* showed high photosynthetic rate under high CO₂ level and vigorous photosynthesis was also observed in *Ficus benjamina* and *Pachira aquatica* grown under 22°C. Considering characteristics of indoor environment such as low light, high CO₂ level, and low relative humidity, therefore, *Hedera helix*, *Spathiphyllum wallisii*, *Ficus benjamina*, and *Pachira aquatica* were efficient indoor foliage plants to improve indoor environmental conditions.

Additional key words: apparent quantum yield, CO₂ fixation efficiency, photosynthetic rate, transpiration rate

서 언

최근 산업사회로 전환되면서 생활공간이 실외에서 실내로 이동되었고, 도시화로 인하여 인간은 하루 24시간 중 85%이상을 실내에서 생활하게 되었다(Shiotsu와 Yoshizawa, 1998). 도시 주거환경내의 생활패턴이 변화됨에 따라 실내공간에 실내식물의 이용이 많아지고, 국내에는 많은 실내 식물 생

산단지가 형성되었으며 그 규모도 날로 커지고 있다. 또한 학교, 호텔, 백화점, 병원, 사무실, 일반 가정 등 각종 실내공간에 실내식물을 이용하지 않는 곳이 거의 없을 정도로 광범위하게 이용되고 있다(Son과 Yeam, 1987; Suh 등, 1991).

식물을 실내에서 재배하게 되면 여러 가지 측면에서 유익하다. 우선 쾌적한 공간연출(green amenity)(Bales, 1995)을 통한 심리적 안정과 스트레스 경감 효과(Fjeld 등, 1998; Relf와 Dorn, 1995; Son 등, 1997)를 얻을 수 있다. 식물로부터 발생하는 음이온 또한 심리적 안정감을 도모하며 건강을 증

*Corresponding author: kcson@konkuk.ac.kr

※ Received 16 March 2010; Accepted 27 September 2010.

가시키는 효과가 보고되었다(Kondrashova 등, 2000; Krueger와 Reed, 1976; Park 등, 1998). 최근에는 다양한 실내 오염 물질들에 대한 식물의 공기정화 효과가 입증되면서 실내식물의 이용가치가 더욱 높아지고 있다(Kim 등, 2008; Liu 등, 2007; Son 등, 2000; Woleverton 등, 1989; Yang 등, 2009).

대부분의 관엽식물은 다른 화훼식물에 비해 비교적 강한 내건성과 내음성을 갖고 있어, 실내 조건과 같은 높은 온도와 낮은 광도에서도 양호한 생육으로 인해 실내에서 많이 재배되고 있다(Lee, 1981). 실내에서 재배되는 관엽식물은 생육을 위한 광합성 대사 작용을 위해 이산화탄소를 흡수하고 산소를 방출함으로써 밀폐된 실내 공간내의 공기를 정화한다. 또한 증산작용을 통하여 실내 공간으로 수분을 방출함으로써 건조하기 쉬운 실내 습도를 높여주며, 온도조절 효과도 있다(Synder, 1990). 식물의 광합성을 통한 성장과 증산 작용은 식물의 성장환경 즉, 광, 온도, CO₂ 농도, 상대습도 등에 따라 다르게 나타날 수 있으며(Choi 등, 1998, 1999), 이러한 환경 요소들에 대한 식물체의 반응은 매우 다양하며 복잡하다(Karlsson과 Heins, 1985; Son 등, 1998). 실내에서 관엽식물의 광합성 및 증산량을 예측하기 위한 연구들이 시도되었지만(Son 등, 1998; Son과 Kim, 1998), 여전히 실내 공기 정화를 위한 관엽식물의 환경에 따른 광합성 대사와 증산 작용에 대한 자료는 불충분한 실정이다.

따라서 본 연구의 목적은 실내에서 많이 이용하는 관엽식물을 대상으로 온도, 광도 그리고 이산화탄소의 변화량에 대한 관엽식물의 생리적 반응들에 대한 기본적인 자료를 조사하고, 그 자료를 바탕으로 실내 환경 개선에 적합한 관엽식물을 선발하는 것이다.

재료 및 방법

식물재료 및 재배환경

본 실험에 사용된 식물은 호텔, 사무실 및 가정에서 가장 많이 이용하는 관엽식물 중에서 8종을 선정하였다(Kang 등, 1990; Park과 Shim, 1989). 일반적으로 실내에서의 기호도 및 이용도가 높은 헤데라(*Hedera helix* L.), 시서스(*Cissus rhombifolia* Vahl), 벤자민 고무나무(*Ficus benjamina* L. 'Hawaii'), 싱고니움(*Syngonium podophyllum* Schott 'Albo-Virens'), 디펜바키아(*Dieffenbachia* sp. 'Marrienne'), 파키라(*Pachira aquatica* Aubl.), 스파티필름(*Spathiphyllum wallisii* Regel), 스킨답서스(*Scindapsus aureus* Engler)를 실험에 사용하였다. 모든 식물들은 경기도에 위치한 재배농가에서 일괄 구입하여, 직경 12 혹은 18cm 화분에 혼합상토(Sunshine mixed # 1, SunGro Inc., USA)를 사용하여 분갈이하였다.

공시재료는 자연광을 약 60% 차광한 $200 \pm 50 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 광도, $25 \pm 5^\circ\text{C}$ 온도와 $40 \pm 10\%$ 상대습도 상태로 건국대학교 유리온실에서 6개월 동안 순화하였다. 관수는 5일에 한번씩 상면관수를 하였으며, 4주마다 액비 Technigro(N:P:K = 24:7:5, SunGro Inc., USA) $0.2 \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 를 시비하였다.

광합성 측정

사용된 식물은 수분스트레스에 대한 영향이 없도록 측정 2일 전에 충분히 관수하였으며, 측정은 오전 8시부터 오후 1시 사이에 수행하였다. 휴대용 광합성 측정기(Li-6400, Li-Cor, USA)를 사용하여, 광도 및 엽육내 CO₂ 농도변화에 따른 광합성 반응(light response curve, *A-Ci* curve)을 조사하였다. 이때 실내공간의 온도를 고려하여 16°C 와 22°C 의 두 수준으로 측정하였다. 광도변화에 대한 광합성반응은 광합성측정기의 leaf chamber에 유입되는 공기의 유량을 $250 \mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$, CO₂ 농도를 $400 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$ 조건에서 측정하였고, 이때의 광도는 PPFD 0, 25, 50, 75, 100, 150, 300, 또는 $600 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 수준으로 조절하였다. 광도별 광합성속도를 측정하여 광-광합성 곡선(light response curve)을 작성하고, 이 곡선에서 광보상점, 광포화점, 호흡률, 광합성능력, 순양자수율(apparent quantum yield)을 산출하였다(Kim 등, 2001; Kim과 Lee, 2001).

엽육내 CO₂ 농도변화에 대한 광합성 반응은 광도 $700 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 측정하였으며, leaf chamber에 유입되는 공기의 유량과 온도는 광도변화에 대한 광합성반응 측정과 동일한 조건으로 하였다. Leaf chamber에 공급되는 CO₂ 농도는 0, 50, 100, 200, 400, 700, 또는 $1000 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$ 수준으로 하였다. 측정한 광합성 속도의 결과를 이용하여 엽육내 CO₂농도(*Ci*)와 광합성(*A*)의 관계를 나타내는 *A-Ci* curve를 작성하고, CO₂ 보상점, 광호흡속도, 최대 광합성속도, 탄소고정효율(CO₂ fixation efficiency)을 산출하였다(Kim 등, 2001; Kim과 Lee, 2001). 모든 측정은 4반복으로 하였다.

결과 및 고찰

광-광합성 곡선(light response curve)

두 수준의 온도조건하에서 광도 변화에 따른 광합성 광화학계의 변화를 알아보고자 앞에 조사되는 광 강도를 달리하면서 측정한 광합성률을 토대로 하여 8종의 실내 관엽식물에 대한 광-광합성 곡선(light response curve)을 작성하였다(Fig. 1). 저광도 영역(PPFD $0-100 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)에서는 광도가 증가함에 따라 모든 종에서 광합성률도 점차 증가하였다. 하지만, 고광도영역(PPFD $200-600 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)에서는

종마다 정도의 차이는 있었지만, 대체로 특정 수치에서 더 이상 광합성률이 증가하지 않았다. 디펜바키아, 싱고니움, 스킨답서스는 다른 관엽식물들에 비해 낮은 광합성률을 보였다. 온도 또한 광합성 속도에 영향을 미쳤다. 저광도 영역에서 헤데라의 경우는 22℃에서, 스킨답서스와 싱고니움의 경

우는 16℃에서 더욱 활발한 광합성을 보였다. 또 고광도영역(PPFD 200-600 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)에서는 벤자민 고무나무, 싱고니움, 스파티필름의 경우는 16℃에서 광합성률이 높게 나타난 반면, 시서스, 디펜바키아, 헤데라의 경우는 22℃에서 높게 나타났으나, 그 외의 다른 종에서는 온도에 의한 차이

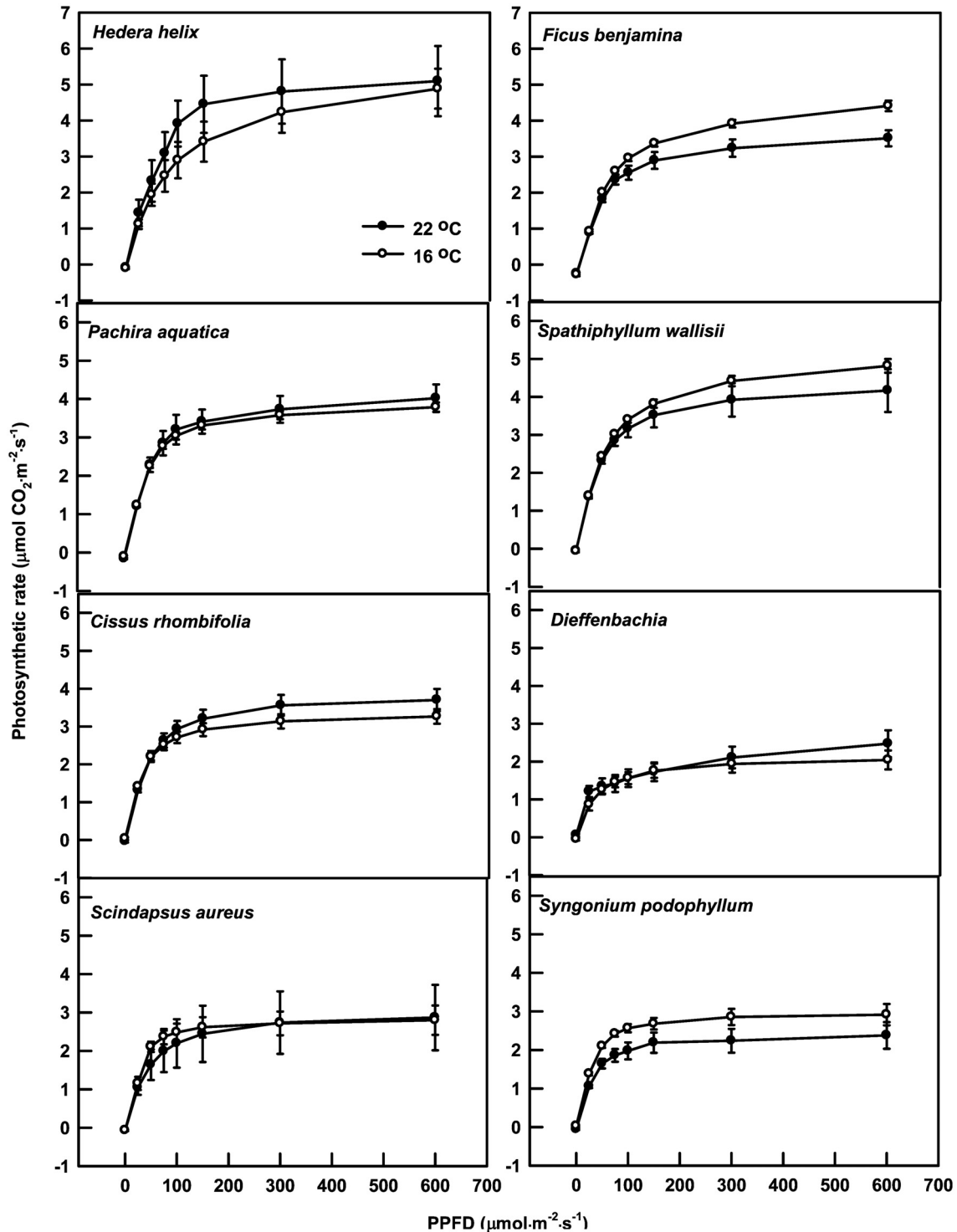


Fig. 1. Photosynthetic rate of 8 foliage plants under 16℃ or 22℃ as affected by various PPFDs. Bars represent mean $\pm$ SE (n = 4).

는 없었다.

증산율 또한 식물의 종과 온도에 따라 큰 차이를 보였다 (Fig. 2). 스파티필름과 고광도에 노출된 헤데라가 높은 증산율을 보인 반면, 디펜바키아, 스킨답서스, 싱고니움, 시서스는 $0.4\mu\text{molH}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 이하의 낮은 증산율을 나타냈다. 상대적으로 높은 온도인 22°C 에서는 16°C 에 비해 시서스가 높은 증산율을 보였고, 벤자민 고무나무, 파키라, 스파티필

름, 싱고니움의 경우에는 16°C 에서 활발한 증산율을 나타냈다. 헤데라는 저광도영역에서는 16°C 에서 증산율이 높지만, 고광도영역에서는 22°C 에서 더 높은 증산율을 나타냈다. 8종의 실내 관엽 식물의 기공전도도 또한 증산율과 거의 흡사한 경향을 나타냈다(자료 미제시).

광-광합성 곡선을 기본으로 하여 광보상점, 광포화점, 호흡률, 광합성능력, 순양자수율(apparent quantum yield)을

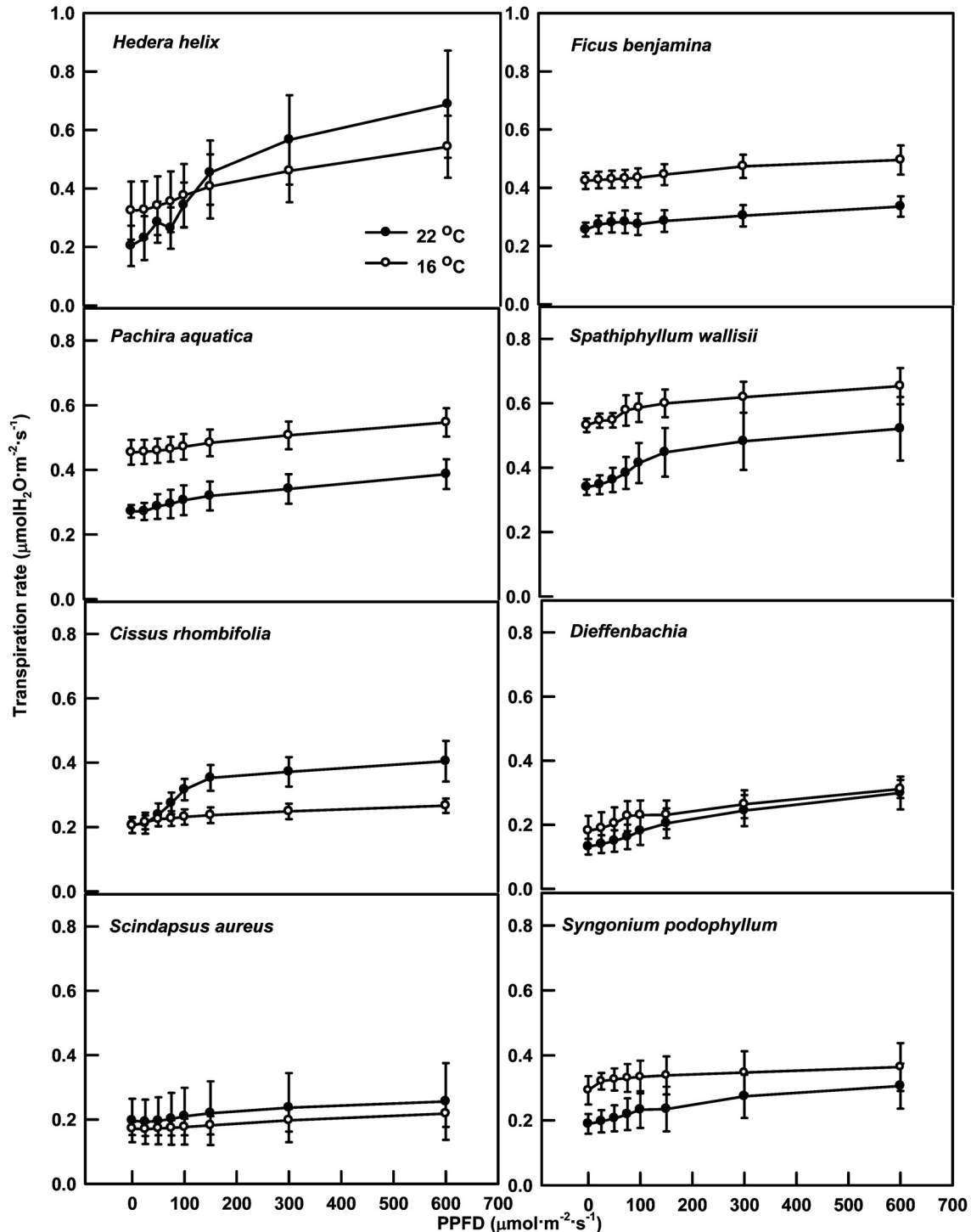


Fig. 2. Transpiration rate of 8 foliage plants under 16°C or 22°C as affected by various PPFDs. Bars represent mean $\pm$ SE ($n = 4$).

산출하였다(Table 1). 모든 항목에서 식물 종에 의한 영향은 뚜렷하였다. 벤자민 고무나무는 가장 높은 광보상점을 기록했고, 헤데라는 가장 높은 광포화점과 광합성률을 보였다. 하지만 순양자수율의 경우 헤데라 뿐만 아니라 스파티필름, 스킨답서스 등에서 비교적 높은 수치를 보였으며, 디펜바키아는 가장 두드러지게 낮은 순양자수율을 기록했다. 순양자수율은 광에너지를 화학에너지로 변환시키는 광화학계의 활성을 나타내며, 광도와 광합성의 관계가 직선적으로 나타나는 PPFD $100\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 이하의 광도, 즉 약광에서의 광합성 능력을 나타낸다고 알려져 있다(Evans, 1987; Kim 등, 2001). 따라서 이는 약광이 대부분인 실내 환경에서 식물의 광합성 능력과 공기 정화능력을 가늠하는 중요한 항목으로 생각된다. 또한 Kim 등(2001)은 약광 조건에 적응한 식물은 광화학계의 활성이 증가한다고 하였는데, 이는 실내식물이 실내의 저광에서도 충분히 광합성을 통한 생육을 유지할 수 있음을 뒷받침 해준다. 광에 의한 광합성률과 증산율에 관

한 결과와 마찬가지로, 온도에 의한 각 항목들의 변화는 식물 종에 따라 달랐다. 벤자민 고무나무, 파키라, 스파티필름은 모든 항목에서 온도에 대해 민감하게 반응하지 않았다. 하지만 시서스는 순양자수율을 제외한 모든 항목에서 두 온도 처리간 유의적 차이를 나타냈다. 또한 헤데라와 디펜바키아는 16°C 과 22°C 에서 각각 유의적으로 높은 순양자수율을 기록하였다.

엽육내 CO_2 농도에 따른 광합성 곡선($A-C_i$ curve)

CO_2 농도가 광합성계의 암반응에 속하는 탄소고정계의 능력에 미치는 영향을 알아보기로 leaf chamber에 유입되는 공기의 CO_2 농도를 조절하여 측정된 광합성과 엽육내 CO_2 농도를 사용하여 광합성 곡선($A-C_i$ curve)을 작성하였다(Fig. 3). 광에 의한 명반응의 결과와 마찬가지로 식물 종에 따라 광합성의 정도도 다양하였다. 시서스와 싱고니움은 처리된 CO_2 농도 범위 내에서 다른 식물들과는 달리 $6\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

Table 1. Light compensation point, light saturation point, respiration rate, photosynthetic rate, and apparent quantum yield of 8 foliage plants under two different temperature treatments.

Species	Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	Light compensation point ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Light saturation point ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Respiration rate ($\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Photosynthetic rate ($\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Apparent quantum yield ($\mu\text{molCO}_2\cdot\text{mol}^{-1}$)
<i>Hedera helix</i>	22	2.79 a ^z	139.7 a	-0.093 a	4.98 a	0.042 b
	16	2.78 a	108.9 a	-0.109 a	5.27 a	0.052 a
<i>Ficus benjamina</i>	22	6.21 a	86.6 a	-0.246 a	3.70 a	0.042 a
	16	6.31 a	99.7 a	-0.277 a	4.14 a	0.046 a
<i>Pachira aquatica</i>	22	3.35 a	85.7 a	-0.161 a	3.88 a	0.050 a
	16	3.27 a	80.1 a	-0.105 a	3.69 a	0.047 a
<i>Spathiphyllum wallisii</i>	22	2.61 a	92.7 a	-0.052 a	4.58 a	0.053 a
	16	2.17 a	91.9 a	-0.059 a	4.62 a	0.053 a
<i>Cissus rhombifolia</i>	22	4.21 a	85.2 a	-0.097 b	3.74 a	0.047 a
	16	1.12 b	65.4 b	0.039 a	3.20 b	0.049 a
<i>Dieffenbachia</i>	22	1.58 b	81.3 a	0.015 a	3.54 a	0.038 a
	16	5.92 a	65.4 a	-0.032 a	2.23 b	0.028 b
<i>Scindapsus aureus</i>	22	3.70 a	51.8 a	-0.159 b	3.82 a	0.051 a
	16	1.88 a	55.4 a	-0.040 a	2.99 a	0.053 a
<i>Syngonium podophyllum</i>	22	2.96 a	69.2 a	-0.051 b	2.79 a	0.045 a
	16	3.09 a	67.9 a	0.024 a	3.02 a	0.043 a
Species (A)		***	***	***	***	***
Temperature (B)		NS	**	*	*	NS
A × B		**	NS	***	NS	**

^zMean separation within column by Duncan's multiple range test at $p = 0.05$.

NS, *, **, *** Nonsignificant or significant at $P = 0.05$, 0.01 or 0.001 , respectively.

이하의 낮은 광합성률을 기록했다. 온도가 광합성률에 미치는 영향 또한 종마다 각기 달랐다. 특히 흥미로운 사실은 22℃에서 재배된 벤자민 고무나무와 파키라의 경우 CO₂ 농도가 증가하면서 광합성률이 현저하게 증가된 반면, 같은 CO₂ 농도 조건에서 상대적으로 저온인 16℃에서는 광합성 속도가 증가되지 않았다는 점이다. 이는 온도가 광합성률에 미치는

영향력을 보여주는 단적인 예라 할 수 있다.

엽육내 CO₂ 농도에 따른 광합성 곡선(A-Ci curve)을 이용하여 CO₂ 보상점, 광호흡속도, 최대 광합성속도, 탄소고정 효율(CO₂ fixation efficiency)을 산출하였다(Table 2). 모든 항목들에서 식물 종에 의해 유의적 차이가 나타났다. 스킨답서스는 가장 높은 CO₂ 보상점과 광호흡률을 보였다. 최대

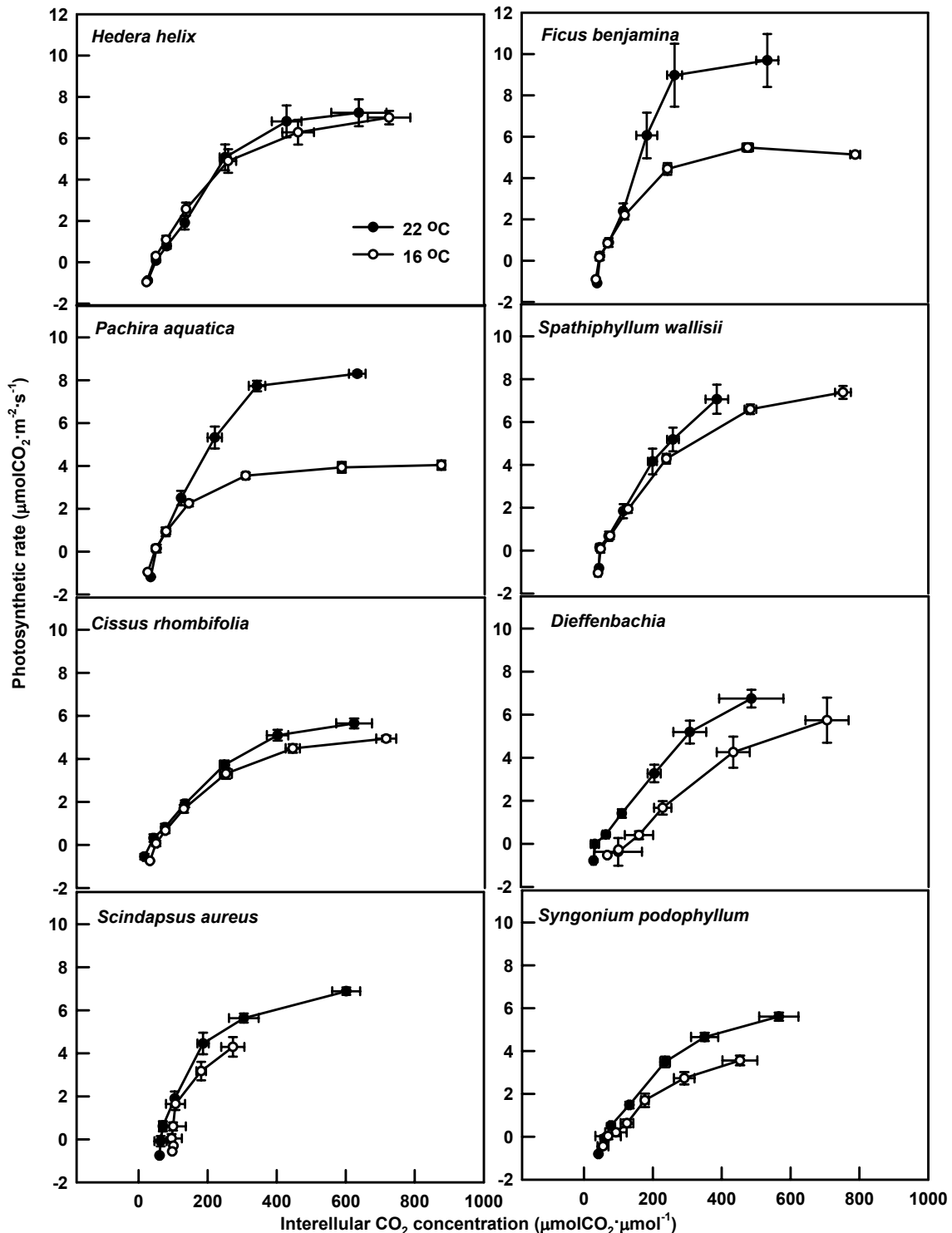


Fig. 3. A-Ci curves of 8 foliage plants under 16℃ and 22℃. Bars represent mean $\pm$ SE (n = 4).

광합성 속도에서 헤데라와 스파티필름이 온도와 상관없이 디펜바키아에 비해 그 값이 월등히 높았다. 시서스와 싱고니움이 가장 낮은 탄소고정효율을 기록했다. 온도 관련해서 헤데라, 스파티필름, 디펜바키아는 모든 항목에 대해서 유의적 차이를 보이지 않은 반면, 싱고니움은 탄소고정효율 항목을 제외한 모든 항목들에서 온도에 민감한 반응을 보였다. 벤자민 고무나무, 파키라, 시서스, 스킨답서스는 최대 광합성률에서만 높은 온도(22℃)에서 유의적으로 높은 수치를 보였다. 탄소고정효율은 중간에는 유의차가 인정되었으나, 온도 간에는 유의차가 나타나지 않았다는 점이다. 광합성 작용에 의하여 CO₂가 고정되기 위해서는 우선 기공을 통해 CO₂가 엽내에 확산되어야 하고, 확산된 CO₂는 rubisco에 의해 고정된다(Hopkins, 1999). 따라서 탄소고정효율은 광합성에서 CO₂ 고정계 효소인 rubisco의 활성 또는 그 함량을 반영하고(Farquhar 등, 1980), *A-Ci* curve에서 엽육내 CO₂ 농도가 낮은 영역에서의 광합성은 엽육내의 CO₂ 확산 전도와 rubisco 효소의 CO₂ 고정 능력에 의하여 결정된다

(Kim 등, 2001). 결국 종마다 탄소고정효율에 영향을 미치는 요소들간의 차이가 있지만, 두 온도처리에는 이러한 요소들에 영향을 주지 못한 것으로 해석될 수 있다.

인간이 거주하는 실내 환경은 식물이 재배되는 환경과는 달리 습도와 광도가 상대적으로 낮고, 밀폐된 공간에서 인간의 호흡은 이산화탄소의 농도를 실제 대기 이산화탄소의 농도보다 훨씬 높게 증가시킨다. 따라서 이러한 특성을 띠고 실내 환경에 잘 적응하며 활발한 광합성 활동을 통한 공기정화 및 습도 조절 효과를 최대화 할 수 있는 관엽 식물들이 선발되어야 한다. 위의 결과들을 종합하여 보았을 때, 우선 디펜바키아, 스킨답서스, 싱고니움은 광합성률이나 증산율이 다른 관엽식물에 비해 저조했으며, 특히 디펜바키아의 경우 저광도 영역에서 광합성률이 가장 낮게 나타나 실내 환경 개선을 위한 관엽식물로는 그 효율이 떨어지는 것으로 판단되었다. 시서스의 경우 또한 낮은 증산율과 저조한 탄소 고정률로 인해 비효율적으로 판단되었다. 반면 헤데라와 스파티필름은 광합성률, 증산율, 순양자수율, 탄소 고정 능

Table 2. CO₂ compensation point, photorespiration rate, maximum photosynthetic rate, and CO₂ fixation efficiency of 8 foliage plants under two different temperature treatments.

Species	Temperature (°C)	CO ₂ compensation point (μmolCO ₂ ·mol ⁻¹)	Photorespiration rate (μmolCO ₂ ·m ⁻² ·s ⁻¹)	Maximum photosynthetic rate (μmolCO ₂ ·m ⁻² ·s ⁻¹)	CO ₂ fixation efficiency (μmolCO ₂ ·mol ⁻¹)
<i>Hedera helix</i>	22	53.5 a ^z	1.54 a	7.01 a	0.030 a
	16	49.4 a	1.66 a	7.02 a	0.031 a
<i>Ficus benjamina</i>	22	60.1 a	2.48 a	9.75 a	0.037 a
	16	58.0 a	1.80 a	5.56 b	0.032 a
<i>Pachira aquatica</i>	22	62.0 a	2.17 a	8.35 a	0.033 a
	16	52.7 a	1.65 a	4.15 b	0.034 a
<i>Spathiphyllum wallisii</i>	22	68.1 a	1.87 a	7.07 a	0.029 a
	16	63.6 a	2.07 a	7.39 a	0.028 a
<i>Cissus rhombifolia</i>	22	65.4 a	1.33 a	5.68 a	0.018 a
	16	61.6 a	1.45 a	4.94 b	0.022 a
<i>Dieffenbachia</i>	22	64.4 a	1.97 a	4.65 a	0.034 a
	16	74.5 a	1.53 a	4.93 a	0.020 a
<i>Scindapsus aureus</i>	22	86.3 a	3.45 a	5.30 a	0.037 a
	16	82.1 a	2.51 a	4.30 b	0.030 a
<i>Syngonium podophyllum</i>	22	85.6 a	1.71 a	5.59 a	0.019 a
	16	54.6 b	0.83 b	3.57 b	0.014 a
Species (A)		*	***	***	***
Temperature (B)		NS	NS	***	NS
A × B		NS	NS	***	NS

^zMean separation within column by Duncan's multiple range test at $p = 0.05$.

NS, *, **, *** Nonsignificant or significant at $P = 0.05$, 0.01 or 0.001, respectively.

력 등 대부분 측정 항목에서 양호한 수치를 기록하였다. 벤자민 고무나무와 파키라의 경우도 탄소고정효율은 온도에 다소 영향을 받았지만 대체로 다른 영역에서 높은 수치를 보였다. 이 결과는 실내온도에서 파키라의 광합성률과 증산율이 높다고 알려진 보고와 일치하였다(Park과 Lee, 1997; Son 등, 1998). 또한 이 4종의 관엽식물들은 저광조건에서 광합성률과 고농도 이산화탄소에서 광합성률이 다른 관엽식물들에 비해 높게 나타났다.

이산화탄소뿐 만 아니라 인체에 해로운 공기중의 오염원들(이산화황, 이산화질소, 휘발성 유기화합물 등) 또한 광합성 동안 이산화탄소가 흡수되면서 동시에 식물의 기공을 통해 체내에 흡수되고 분해된다. 따라서 이산화탄소 제거능과 공기중의 오염물질 제거로 인한 공기정화 정도에는 양의 상관관계가 형성될 수 있다(Lee, 2003).

결론적으로 실내 환경 개선 가능성이 큰 관엽 식물들은 광합성률, 증산율, 탄소고정능력 등이 다른 관엽 식물들에 비해 상대적으로 높게 나타난 헤데라, 벤자민 고무나무, 파키라, 스파티필름이었다. 이 실험에서 8종의 관엽식물의 광합성 패턴은 종마다 달랐으며, 광, 온도, 이산화탄소의 농도의 변화에 의해서도 광합성 효율은 큰 영향을 받았다.

초 록

본 연구는 관엽식물 8종을 선정하여 온도, 광도, 이산화탄소 농도에 따른 식물의 광합성률을 포함한 생리반응을 살펴보고, 그에 따른 실내 환경 개선에 효과적인 식물을 구명하고자 실시하였다. 식물재료로는 헤데라, 벤자민 고무나무, 파키라, 스파티필름, 시서스, 디펜바키아, 스킨답서스, 싱고니움을 사용하였으며, 16℃와 22℃ 온도조건하에서 광도는 PPFD 0, 25, 50, 75, 100, 150, 300, 또는 600 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 수준으로, 이산화탄소 농도는 0, 50, 100, 200, 400, 700, 또는 1000 $\mu\text{molCO}_2\cdot\text{mol}^{-1}$ 의 수준으로 조절하여 휴대용 광합성 측정기(Li-6400, Li Cor, USA)로 관엽식물들의 광합성 효율과 증산율을 측정하였다. 광도, 엽육내 이산화탄소 농도 변화, 그리고 온도에 따른 관엽식물들의 광합성 반응은 매우 다양했다. 약광(PPFD 0-100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)에서의 광합성 능력을 나타내는 순양자수율은 디펜바키아를 제외한 대부분의 종에서 높게 나타났으며, 고광(PPFD 200-600 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)에서는 헤데라, 벤자민 고무나무, 파키라, 스파티필름이 높은 광합성능력을 나타내었다. 이산화탄소를 고정하는 암반응과 관련된 탄소고정효율은 시서스와 싱고니움을 제외한 6종의 관엽식물들에서 비교적 높게 나타났다. 고농도의 이산화탄소에서 광합성률이 높은 식물은 헤데라와 스파티필름이

었으며, 22℃에서 자란 벤자민 고무나무와 파키라도 높은 광합성률을 보였다. 한편, 헤데라, 스파티필름은 증산율도 높게 나타났다. 따라서 저광, 고농도의 이산화탄소, 낮은 상대습도가 특징인 일반 가정이나 사무실 같은 실내 환경을 고려했을 때 헤데라, 벤자민 고무나무, 파키라, 스파티필름 등을 이용하는 것이 실내 환경 개선에 효과적이라고 판단되었다.

추가 주요어 : 순양자수율, 탄소고정능력, 광합성률, 증산율

인용문헌

- Bales, S.F. 1995. The kitchen garden: Raised beds and electric chairs. *Horticulture* 73:34-39.
- Choi, J.I., E.J. Hahn, and K.Y. Paek. 1999. Photosynthetic characteristics and chlorophyll content of *Hedera canariensis*, *Pachira aquatica*, and *Ficus benjamina* in response to photosynthetic photon fluxes and CO₂ concentrations. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 40:627-630.
- Choi, J.I., J.H. Seon, K.Y. Paek, and T.J. Kim. 1998. Photosynthesis and stomatal conductance of eight foliage plant species as affected by photosynthetic photon flux density and temperature. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 39:197-202.
- Evans, J.R. 1987. The dependence of quantum yield on wavelength and growth irradiance. *Aust. J. Plant Physiol.* 14:69-79.
- Farquhar, G.D., S. von Caemmerer, and J.A. Berry. 1980. A biochemical model of photosynthetic CO₂ assimilation in leaves of C3 species. *Planta* 149:78-90.
- Fjeld, T., B. Veiersted, L. Sandvik, G. Riise, and F. Levy. 1998. The Effect of indoor foliage plants on health and discomfort symptoms among office workers. *Indoor Built Environ.* 7:204-209.
- Hopkins, W.G. 1999. Introduction to plant physiology. John Wiley & Sons, Inc. New York, NY, USA.
- Karlsson, M.G. and R.D. Heins. 1985. Modeling light and temperature effects on *Chrysanthemum morifolium*. *Acta Horticulturae* 174:235-240.
- Kim, K.J., M.J. Kil, J.S. Song, E.H. Yoo, K.C. Son, and S.J. Kays. 2008. Efficiency of volatile formaldehyde removal by indoor plants: Contribution of aerial plant parts versus the root zone. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 133:521-526.
- Kim, P.G. and E.J. Lee. 2001. Ecophysiology of photosynthesis 1: Effects of light intensity and intercellular CO₂ pressure on photosynthesis. *Kor. J. Agric. For. Meteorol.* 3:126-133.
- Kim, P.G., Y.S. Yi, D.J. Chung, and S.Y. Woo. 2001. Effects of light intensity on photosynthetic activity of shade tolerant and intolerant tree species. *J. Kor. For. Soc.* 90:476-487.
- Kondrashova, M.N., E.V. Grigorenko, A.N. Tikhonov, T.V. Sirota, A.V. Teplov, I.G. Stavrovskaya, N.I. Kosyakova, and V.P. Tikhonov. 2000. The Primary physico-chemical mechanism for the beneficial biological/medical effects of negative air ions. *IEEE Trans. Plasma Sci.* 28:230-237.
- Krueger, A.P. and E.J. Reed. 1976. Biological impact of small air ions. *Science* 193:1209-1213.

- Lee, J.E. 2003. A study on the rate of indoor air purification by plants and gauging compared with air clean instrument. J. Kor. Soc. Interior Landscape 5(2):1-12.
- Liu, Y.J., Y.J. Mu, Y.G. Zhu, H. Ding, and N.C. Arens. 2007. Which ornamental plant species effectively remove benzene from indoor air? Atmos. Environ. 41:650-654.
- Park, S.H. and K.K. Shim. 1989. A Study on the utilization status of the interior landscape plants in large buildings in Seoul. J. Kor. Ins. Land. Arch. 17:43-54.
- Park, S.H. and Y.B. Lee. 1997. Indoor CO₂ and NO₂ fixation in light-acclimatized foliage plants. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 38:551-555.
- Park, S.H., Y.B. Lee, G.Y. Bea, and M. Kondo. 1998. Anion evolution in plants and its involved factors. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 39:115-118.
- Relf, D. and S. Dorn. 1995. Horticulture: Meeting the needs of special population. HortTechnol. 5:94-103.
- Shiotsu, M. and I.K. Yoshizawa. 1998. Survey on human activity patterns according to time and place: Basic research on the exposure dose to indoor air pollutants Part 1. Transactions of AIJ. 511:45-52.
- Snyder, S.D. 1990. Building interiors, plants and automation, p. 5-29. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, USA.
- Son, K.C., D.K. Min, M.K. Kim, and H.J. Park. 1998. Modeling for estimation of transpiration and photosynthesis rates of *Pachira* according to environmental changes using neural network. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 39:854-857.
- Son, K.C. and M.K. Kim. 1998. Influences of indoor light, temperature, absolute humidity, and CO₂ concentration on the changes of transpiration and photosynthesis rate of *Pachira aquatica* and their statistical modeling. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 39:605-609.
- Son, K.C., S.H. Lee, S.G. Seo, and J.E. Song. 2000. Effects of foliage plants and potting soil on the absorption and adsorption of indoor air pollutants. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 41:305-310.
- Son, K.C., S.K. Park, H.O. Boo, G.Y. Bea, K.Y. Beak, S.H. Lee, and B.G. Heo. 1997. Horticultural therapy. 1st ed., p. 35-95. Seowon Press, Seoul, Korea.
- Son, K.H. and D.Y. Yeam. 1987. Effects of light intensities and temperatures in various indoor sites on growth of certain foliage plants. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 28:173-184.
- Suh, Y.N., J.S. Lee, C.K. Sang, and I.Z. Chi. 1991. Studies on the present status of cultivation and utilization of foliage plants. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 32:533-544.
- Woleverton, B.C., A. Johnson, and K. Bounds. 1989. Interior landscape plant for indoor air pollution abatement. p.1-2. NASA Report.
- Yang, D.S., S.V. Pennisi, K.C. Son, and S.J. Kay. 2009. Screening indoor plants for volatile organic pollutant removal efficiency. HortScience 44:1-5.