

피음 수준에 따른 굴거리나무의 용기 내 성장 및 생리적 반응

송기선¹ · 김종진^{2*}

¹한국임업진흥원 임업지식서비스단, ²건국대학교 산림조경학과

Growth and Physiological Response in Container of *Daphniphyllum macropodum* by Shading Level

Ki Seon Song¹ and Jong Jin Kim^{2*}

¹Forestry Knowledge Service Division, Korea Forestry Promotion Institute, Seoul 07570, Korea

²Department of Forestry and Landscape Architecture, Konkuk University, Seoul 05029, Korea

요약: 본 연구는 내음성이 있는 수종으로 알려진 난대 상록활엽수인 굴거리나무 용기묘를 대상으로, 피음 수준에 따른 성장과 생리적 반응을 알아보고자 실시되었다. 피음은 전광과 전광의 35%, 55%, 75% 수준으로 조절하여 처리하였다. 피음 수준에 따른 1년생 용기묘의 간장과 근원경 성장 조사 결과, 간장은 35% 피음에서 13.2 cm로 가장 컸으며, 근원경은 전광에서 4.99 mm로 가장 굵었다. 잎, 줄기, 뿌리 및 전체 건물생산량은 모두 35% 피음에서 각각 1.38 g, 0.47 g, 0.87 g, 2.72 g으로 높았다. 엽록소 *a*, *b* 및 총 엽록소 함량은 상대적으로 피음 수준이 가장 높은 75% 피음에서 가장 높았으며, 엽록소 *a/b*율은 35% 피음에서 가장 높게 조사되었다. 광합성 속도, 기공전도도 및 수분이용효율은 35% 피음에서 각각 $12.3 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, $0.27 \text{ molH}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, $3.53 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{mmol}^{-1}\text{H}_2\text{O}$ 로 가장 높았다. 이러한 결과를 종합하면, 내음성이 있는 굴거리나무는 35% 피음 수준이 생육에 적합한 것으로 판단된다.

Abstract: This study was carried out in order to closely examine the growth and the physiological response by shading levels of a container seedling of *Daphniphyllum macropodum* which is known as the species of having shade tolerance in a warm temperature evergreen broad-leaved tree. The shading treatment was regulated with the shading level of full sunlight, and 35%, 55%, 75% of full sunlight. As a result of surveying the height and the root collar diameter growth by the shading level, the height was the highest with 13.2 cm under 35% of shading. The root collar diameter was the highest with 4.99 mm under full sunlight. The organ-based (leaves, shoot and root) dry mass production and the whole dry mass production were higher with 1.38 g, 0.47 g, 0.87 g, 2.72 g, respectively, in order of 35% shading. As for chlorophyll *a*, *b*, and the total chlorophyll content, the highest chlorophyll content was shown under 75% of shading with the relatively highest shading level. The ratio of chlorophyll *a* to chlorophyll *b* (*a/b*) was the highest under 35% of shading. The photosynthetic rate, stomatal conductance and water use efficiency were the highest with $12.3 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, $0.27 \text{ molH}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, $3.53 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{mmol}^{-1}\text{H}_2\text{O}$, respectively, under 35% of shading. As a result of surveying the whole experiment, *D. macropodum* grows nicely by maintaining 35% shading.

Key words: chlorophyll contents, container seedling, dry mass production, H/D ratio, photosynthesis rate, T/R ratio

서론

난대 상록활엽수종은 산림기후대 분류에 따른 난대지역(warm temperate zone)에 분포하고 있는 수종을 말하며, 한국의 난대 상록활엽수종은 위도로 보면 내륙에서 북위 35°, 해안에서 35°30'이남지역에 분포하고 있다. 지역적으로는 주로 남해안과 남해 도서지역, 서해안과 동해안 일부

남쪽해안, 그리고 제주도는 해발고도 500 m 이하, 울릉도는 600 m 이하 지역을 포함하고 있다(Lee, 1999).

현재 한국의 난대수종은 250여종으로 알려져 있으며, 주로 녹나무, 동백나무, 후박나무, 가시나무, 붉가시나무, 종가시나무, 참가시나무, 돈나무, 감탕나무, 구실잣밤나무, 굴거리나무 등의 상록활엽수종이다. 난대 상록활엽수종은 난대림의 복원 및 기후 온난화에 따른 조림영역의 확장과 더불어 남부지방인 부산시, 경상남도, 전라남도, 제주도에 도시주변의 경관식재용, 가로수, 공원수, 정원수 용도 등으로 그 묘목 수요가 늘어나고 있는 상황이다(Kim, 2010).

* Corresponding author
E-mail: jkimm@konkuk.ac.kr

굴거리나무(*Daphniphyllum macropodum*)는 내음성이 있는 상록활엽수종으로 우리나라에서 북으로는 내장산과 백양산까지 분포하며, 다른 난대 상록활엽수종에 비교하여 생육지역이 넓어 향후 분포지역이 더욱 확대될 것으로 예상된다. 우리나라에서는 굴거리나무와 좀굴거리나무가 자라고, 잎은 약용으로 사용한다. 일년 내내 때를 가리지 않고 잎을 채취할 수 있으며, 채취한 잎은 햇볕에 말려 사용하기도 한다(Lee, 1999). 또한, 굴거리나무는 환경정화수로서의 역할도 충분히 수행할 것으로 판단되어 도시경관 및 녹화용으로 활용가치를 인정받아 묘목 수요가 확대되고 있다.

한편, 현재 굴거리나무를 비롯한 난대 상록활엽수종의 묘목 생산은 대부분 일반 포지에서 생산되는 노지묘(bare-root seedlings) 형태로 이루어지고 있는데, 난대 상록활엽수종의 종자파종 및 유묘이식 작업이 이루어지는 우리나라 남부지방의 3~4월은 대기가 매우 건조해서 발아 유묘 및 이식 유묘의 뿌리가 건조에 의한 피해를 입기 쉽다. 또한, 최근 들어 기후변화 등의 영향으로 발생하는 기상재해에 의해 노지묘를 생산하는 양묘산업 현장은 큰 피해를 입고 있는 실정이다(Kim et al., 2010b; 2010c). 이러한 피해를 예방하기 위해 보다 안전한 양묘 형태인 시설양묘에 의한 용기묘(container seedlings) 생산으로의 전환이 필요하다(Kim, 2010; Song et al., 2014).

따라서 본 연구는 묘목 수요가 증가하고 있는 난대 상록활엽수인 굴거리나무를 대상으로 이를 보다 안전한 시설 내에서 묘목을 생산하는데 활용하기 위해 피음 수준에 따른 굴거리나무의 생장 및 생리적 변화를 조사하여 적정 피음 수준을 구명하고자 실시하였다.

재료 및 방법

1. 공시재료

본 실험의 공시 수종은 굴거리나무(*Daphniphyllum macropodum* Miq.)로서 종자는 2010년 10월에 전남 완도 수목원에서 채집된 종자를 이용하였다. 공시 용기는 원뿔형 플라스틱 15구 용기(L 44.0×W 27.0×D 14.0, cm)이며, 구의 용적이 350 mL이고, 생육밀도는 1 m²에 126본이다. 생육상토는 코코피트, 펄라이트, 질석 및 지오라이트가 70 : 15 : 10 : 5 (v/v)의 비율로 혼합된 상토를 주문생산(Soil & Fertilizer Technology, Korea)하여 사용하였다.

2. 피음 시설

본 실험은 경남 함안군 여항면 소재 건국대학교 난대시설양묘연구동 내의 차광 실험시설을 갖춘 연구동에서 실

시되었다. 차광실험을 실시한 연구동은 상부가 개방되어 신선한 공기와 전광(full sunlight)을 직접 받을 수 있도록 되어있고, 측면은 1.7 m 높이까지만 피복재(polyethylene film)로 둘러 측면에서 불어오는 바람이 각 처리구에 미치는 영향을 최소화하였다. 차광은 35%, 55%, 75% 차광망을 이용하여 전광을 포함한 총 4수준으로 처리하였다. 광량은 Spectroradiometer (LI-1800, LI-COR, USA)를 이용하여 2011년 5월 17일 정오에 측정하였으며, 각 피음별 평균 광량은 1671 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (전광), 1097 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (35% 피음), 676 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (55% 피음), 430 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (75% 피음)로 조사되었다.

파종은 2011년 3월 28일 용기에 직접 실시하였으며, 파종 용기는 각 차광 처리구별로 6개씩 배치하였다. 종자는 파종 전 약 3개월 동안 5°C 저온저장고에서 습사 저장하였다. 시비는 파종 후 2011년 5월 30일부터 9월 11일까지 약 15주 동안 수용성 복합비료인 Multifeed 19 (N : P : K, 19 : 19 : 19, Haifa Chemical Co., Israel)를 1000 mg·L⁻¹로 조절하여 매주 1회씩 처리하였다.

3. 실험결과 조사

1) 생장 및 건물생산량

피음 시설에서 생육한 묘목의 간장 및 근원경 생장 조사는 난대 상록활엽수종의 경우 늦게는 10월까지도 생장하기 때문에 본 실험의 굴거리나무 용기묘의 생장이 완전히 끝났다고 판단된 2011년 11월 초에 각 차광 처리구별로 전체 개체를 대상으로 실시되었다.

건물생산량은 각 차광 처리구별로 10개체를 선발하여 Drying Oven(DS-80-1, Dasol Scientific Co. Ltd, Korea)에 넣어 75°C에서 72시간 건조시킨 후 잎, 줄기 및 뿌리를 구분하여 측정하였다. 또한, H/D율과 T/R율은 아래의 식을 이용하여 각각 구하였다.

$$\circ \text{H/D ratio} = \text{Height (cm)} / \text{Root collar diameter (mm)}$$

$$\circ \text{T/R ratio} = \text{Top (leaf+shoot) dry weight} / \text{Root dry weight}$$

2) 엽록소 함량

각 피음에서 생육한 굴거리나무의 엽록소 함량을 조사하기 위해 2011년 10월 3일에 각 처리구별 5개체를 대상으로 선단부에서 2~3번째 잎으로 같은 시기에 완전히 발달한 잎을 선정하여 측정하였다. 엽록소 측정을 위해 0.1 g의 잎을 채취하여 시약병에 넣고, DMSO (dimethylsulfoxide) 용액 7 mL를 넣어 65°C 항온기에서 6시간 동안 추출하였다(Hiscox and Israelstam, 1979). 항온기에서 꺼낸 즉시 전체 추출액이 10 mL가 되도록 약 3 mL를 추가하고, UV/visible spectrophotometer (Optizen POP, Mecasys Co.,

Korea)를 이용하여 optical density를 측정하였다. 엽록소 a, b 및 a+b 함량은 다음의 Arnon (1949) 식을 이용하여 구하였다.

$$\text{Chlorophyll } a \text{ (mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ fresh weight)} = 12.7 \times D_{663} - 2.69 \times D_{645}$$

$$\text{Chlorophyll } b \text{ (mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ fresh weight)} = 22.9 \times D_{645} - 4.68 \times D_{663}$$

$$\text{Chlorophyll } a+b \text{ (mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ fresh weight)} = 20.2 \times D_{645} + 8.02 \times D_{663}$$

3) 광합성 반응

피음 수준을 달리하는 조건에서 자라는 묘목들의 광합성 반응을 조사하기 위하여, 2011년 8월 29일 오전 10시부터 오후 2시 사이에 처리구당 각 개체의 상부에 있으며, 완전히 발달한 건전한 잎을 선정하여 3반복으로 측정하였다. 측정은 휴대용 광합성측정기(Portable Photosynthesis System, LI-COR 6400, LI-COR, USA)를 이용하여 red-blue LED light source Li-6400-02B(LI-COR, USA)로 광량 PPFD 1000 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 실시하였다. 광합성측정기의 leaf chamber에 유입되는 공기의 유량은 500 $\mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$, Chamber 온도는 25°C, CO₂ 농도는 400 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$, 상대 습도는 60~70%로 조절하였다(Kim et al., 2001).

4. 통계 처리

각 처리별 용기묘의 생장량 및 묘목품질지수 결과치에 대한 분석은 SPSS version 20을 이용하여 분산분석(ANOVA)을 실시하였다. 통계적으로 차이가 유의한 경우 Duncan's multiple range test를 실시하여 비교하였다.

결과 및 고찰

1. 간장 및 근원경 생장

피음 수준별 굴거리나무의 간장과 근원경 생장을 조사한 결과, 간장은 전광에서 가장 작았으며, 35% 피음에서 13.2 cm로 가장 컸고, 그 다음은 55% 피음에서 12.5 cm로 컸다. 근원경은 전광에서 4.99 mm로 가장 굵었으며, 피음 수준이 높아질수록 가늘어지는 경향을 보였다(Table 2).

굴거리나무(Park et al., 1992)와 금목서, 까마귀쪽나무,

홍가시나무 및 돈나무(Choi et al., 2012)를 각각 전광, 25%, 50%, 75% 피음과 전광, 35%, 55%, 75%, 95% 피음 처리하여 생육한 결과, 수종별로 최적 피음 효과를 보인 수준은 다르게 나타났다. 이들 수종은 모두 본 실험의 결과와 유사하게 전광에 비해 피음 처리구에서 상대적으로 높은 생장을 보이는 것으로 나타나 음수의 성향을 가지고 있음을 알 수 있다. 한편, 상록활엽수인 가시나무는 상대적으로 높은 피음 처리구에서 저조한 간장 생장을 하는 것으로 보고되어(Song et al., 2011), 피음 처리구에서 높은 간장 생장을 보인 본 실험의 굴거리나무와는 다른 경향을 보였다. 이러한 결과는 식물마다 생육에 적절한 광 환경이 다르기 때문에 나타난 결과로 사료되며, 피음 처리는 내음성 수종으로 알려진 굴거리나무의 유묘 생산에 필수 요소로 작용될 것으로 판단된다.

H/D율은 전체가 2.0~2.9로 35% 피음에서 가장 높았으며, 전광을 제외하고는 차광율이 낮아질수록 작아지는 경향을 보였다. 상대적으로 좋은 생장을 보인 35~55% 피음처리구에서는 2.8~2.9의 범위로 나타났으며, 이들 간 유의적 차이는 보이지 않았다(Table 1). 한편, Sung et al.(2011)은 상록활엽수인 가시나무 1년생 용기묘를 피음(전광과 35%, 55%, 75% 피음) 및 시비(0, 1000, 2000, 3000 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 처리하여 생육한 결과, 전광을 제외한 피음(35%, 55%, 75% 피음) 내 시비처리구의 H/D율이 3.63~5.86의 범위로 보고하였는데, 이는 본 실험의 굴거리나무보다 상대적으로 높은 값을 보였다. 이러한 결과는 생육밀도 등과 같이 생육환경 차이 또는 수종별 생장 반응 차이에 기인하는 것으로 사료된다.

Song et al.(2014)은 피음(0%, 35%, 55%, 75%)과 시비(0, 1000, 2000, 3000 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)를 달리하여 굴거리나무 1년생을 생육한 결과, 본 실험과 동일한 시비처리구에서 피음별 간장, 근원경 및 H/D율이 본 실험 결과보다 모두 낮게 나타났다. 이는 본 실험의 굴거리나무가 7일 이른 파종 시기와 1주일 늘어난 시비처리 기간의 영향으로 생장이 좋아져서 나타난 결과로 사료되는데 보다 정확한 원인 분석을 위해서는 파종시기와 시비처리 기간을 세밀하게 조절한 추가실험이 실시되어야 할 것으로 판단된다.

Table 1. Effects of shading rates on height and root collar diameter growth of *D. macropodum* 1-year-old container seedlings.

Shading (%)	Height (cm)	Root collar diameter (mm)	H/D ratio ($\text{cm} \cdot \text{mm}^{-1}$)
0	10.2±2.2 ^b	4.99±0.47a	2.0±0.4b
35	13.2±1.2a	4.55±0.33b	2.9±0.3a
55	12.5±2.2a	4.43±0.32b	2.8±0.4a
75	11.8±1.5ab	4.31±0.39b	2.7±0.3a

^z Mean±SD are represented and were measured on Nov. 7, 2011. Different letters in each column indicate significant differences according to Duncan's multiple range test ($p=0.05$).

Table 2. Effects of shading rates on dry mass production of *D. macropodum* 1-year-old container seedlings.

Shading (%)	Dry mass production (g)				T/R ratio
	Leaves	Shoot	Root	Total	
0	1.01±0.28 ^b	0.35±0.13a	0.73±0.16ab	2.09±0.54b	1.9±0.3c
35	1.38±0.25a	0.47±0.08a	0.87±0.15a	2.72±0.26a	2.2±0.6bc
55	1.25±0.28ab	0.42±0.13a	0.66±0.14b	2.32±0.51ab	2.5±0.3ab
75	1.17±0.27ab	0.40±0.08a	0.58±0.13b	2.15±0.43b	2.7±0.2a

^z Mean±SD (n=10) are represented and were measured on Nov. 7, 2011. Different letters in each column indicate significant differences according to Duncan's multiple range test ($p=0.05$).

Table 3. Chlorophyll contents of *D. macropodum* 1-year-old container seedlings grown in different shading rates.

Shading (%)	Chlorophyll <i>a</i> (mg · g ⁻¹)	Chlorophyll <i>b</i> (mg · g ⁻¹)	Chlorophyll <i>a/b</i> ratio	Total chlorophyll (mg · g ⁻¹)
0	0.46±0.04 ^z c	0.13±0.02c	3.67±0.43a	0.58±0.06c
35	0.65±0.02b	0.17±0.01b	3.88±0.06a	0.81±0.03b
55	0.67±0.12b	0.19±0.02b	3.58±0.21a	0.85±0.15b
75	0.88±0.05a	0.24±0.01a	3.66±0.07a	1.11±0.06a

^z Mean±SD (n=5) are represented and were measured on Oct. 3, 2011.

2. 건물생산량

피음 수준에 따른 부위별(잎, 줄기, 뿌리) 및 전체 건물생산량은 모두 35% 피음에서 각각 1.38 g, 0.47 g, 0.87 g, 2.72 g 으로 가장 높았다. 지상부(잎, 줄기)의 경우에는 전광에서 가장 낮았으며, 지하부인 뿌리의 경우에는 높은 차광(55~75% 피음)에서 상대적으로 낮게 나타났다(Table 2).

T/R율은 차광율이 높아질수록 커지며 모든 피음에서 전광보다 높게 나타났는데, 이는 피음 처리에서 차광율이 높아질수록 근원경이 가늘어지고 뿌리의 건물생산량이 작아지는 것과 부합되는 결과로 사료된다. 한편, 우리나라 대표 난대 상록활엽수 중 하나인 가시나무를 대상으로 연구한 Sung et al.(2011)은 건전한 가시나무 1년생 용기묘의 성장 조건으로 조사된 35%와 55% 피음에서 T/R율이 시비처리 시 1.87~2.59 범위로 보고하였으며, 내음성 수종의 경우에는 중간 정도의 피음(50~55%)에서 지상부 물질생산의 증가에 의해 상대적으로 높은 T/R율이 나타난 것으로 보고되었다(Hong et al., 2000). Haase (2007)는 건전한 묘목의 경우 노지묘는 3.0 또는 약간 낮은 값, 용기묘는 2.0 또는 그 보다 약간 낮은 값이 적정하다고 보고하였다. 이러한 T/R율을 본 실험에서 상대적으로 뛰어난 간장과 근원경 성장 그리고 높은 건물생산량을 보인 35%~55% 피음의 T/R율과 비교해 보면, 내음성이 있는 굴거리나무의 유묘 생육 시 어느 정도의 피음 처리는 용기묘의 성장을 보다 좋게 하는 것으로 판단된다.

3. 엽록소 함량

피음 처리에 따른 굴거리나무의 엽록소 *a*, 엽록소 *b* 및

총 엽록소(*a+b*) 함량은 피음 수준이 높아질수록 증가하여 피음 수준이 가장 높은 75% 피음에서 각각 0.88 mg · g⁻¹, 0.24 mg · g⁻¹, 1.11 mg · g⁻¹으로 가장 높았으며, 엽록소 *a/b*율은 35% 피음에서 가장 높았고 처리구간 유의적 차이는 보이지 않았다(Table 3). 본 실험의 굴거리나무는 피음 수준이 높아질수록 총 엽록소 함량이 증가하는 경향을 보였는데, 이는 높은 피음 수준으로 인해 광량이 부족한 환경에서 수목이 적응하면서 정상적으로 광합성을 지속하기 위해 광 에너지를 가능한 많이 확보하기 위한 방법으로 엽록소 함량을 높게 유지할 필요가 있기 때문이다(Ashton and Berlyn, 1992; Cho et al., 2008). 따라서 높아진 엽록소 함량은 광합성 속도와 연계되고 결국 생장과 연계된다. 하지만 광도가 상대적으로 낮아지는 수준에서 광합성 속도의 변화와 이와 관련된 엽록소 함량의 변화는 수종에 따라 다른 것으로 잘 알려져 있다(Yoo and Kim, 1997; Choi et al., 1998; Kim et al., 2001).

내장산 내 굴거리나무의 총 엽록소 함량은 상대광도가 가장 낮은 28~33%인 조사구에서 가장 높고, 상대광도가 가장 높았던 71~76%인 조사구에서 가장 낮게 나타나 본 실험과 유사한 경향을 보였다(Jeong, 2009). Choi et al.(2012)의 상록활엽수인 금목서, 까마귀쪽나무, 홍가시나무 및 돈나무 4수종의 전광과 피음(35%, 55%, 75%, 95% 피음) 처리에 대한 엽록소 함량에 대한 연구 결과는, 금목서와 홍가시나무는 95% 피음에서 가장 낮은 함량을 보였으며, 까마귀쪽나무와 돈나무는 전광에서 가장 낮은 함량을 보였다. 특히, 까마귀쪽나무는 95% 피음에서 가장 높은 함량으로 조사되었다. 한편, Song et al.(2011)은

Table 4. Photosynthetic response of *D. macropodum* 1-year-old container seedlings in different shading rates.

Shading (%)	Photosynthetic rate ($\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	Conductance to H ₂ O ($\text{molH}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	Intercellular CO ₂ concentration ($\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$)	Transpiration rate ($\text{mmolH}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	Water use efficiency ($\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{mmol}^{-1}\text{H}_2\text{O}$)
0	9.3±1.1 ^b	0.21±0.02 ^a	315.7±15.3 ^a	2.96±0.13 ^a	3.16±0.49 ^{ab}
35	12.3±1.9 ^a	0.27±0.06 ^a	310.7±4.2 ^a	3.49±0.65 ^a	3.53±0.25 ^a
55	10.3±0.7 ^{ab}	0.25±0.04 ^a	319.3±8.6 ^a	3.54±0.46 ^a	2.93±0.20 ^{ab}
75	8.8±0.8 ^b	0.24±0.02 ^a	328.3±8.1 ^a	3.26±0.26 ^a	2.69±0.31 ^b

^z Mean±SD (n=3) are represented and were measured on Aug. 29, 2011. Different letters in each column indicate significant differences according to Duncan's multiple range test ($p=0.05$).

가시나무의 피음 수준이 높아질수록 *a/b*율과 총 엽록소의 함량이 증가하는 것으로 보고하였으나 본 실험에서 *a/b*율은 35% 피음을 정점으로 피음 수준이 높아질수록 감소되는 경향을 보였다. 이러한 차이는 수중에 따라 광 환경에 대한 반응이 서로 다르기 때문으로 해석된다.

Kwon et al.(2003)은 낙엽성 참나무류인 상수리나무, 굴참나무, 신갈나무, 졸참나무의 경우에 전광의 34%에서 가장 높은 엽록소 함량을 나타냈으나 25% 정도에서는 엽록소 함량도 낮아질 뿐만 아니라 생장감소로 이어진다고 보고하였다. 반면에 같은 낙엽성 참나무류 4수종을 대상으로 한 다른 연구에서는 전광에 비해 35%, 55%, 75% 피음 등 수중에 따라 다소 차이는 있었으나 피음이 강해질수록 증가한다고 보고되었으며, 피음 후 잎의 생장(길이와 폭) 비교에서 신갈나무와 졸참나무는 가장 강한 피음인 75%에서 가장 높은 생장이, 상수리나무와 굴참나무는 55% 피음에서 가장 높은 잎의 생장이 보고되었다(Kim et al., 2008).

Kim et al.(2001)의 내음성 연구에 따르면, 양수인 이태리포플리는 생육 광도의 저하로 엽록소 함량과 광합성 이용효율 등이 감소하였으나 내음성이 이태리포플리보다 강한 음나무와 졸참나무는 엽록소 함량과 광합성 이용효율 등을 높이는 적응반응을 보인 것으로 보고하였다. 이와 같이 굴거리나무도 피음 수준이 높아질수록 엽록소 함량도 높아지는 것으로 조사되어 높은 내음성을 가진 것으로 판단된다.

4. 광합성 반응

내음성이 있는 굴거리나무의 광합성 속도, 기공전도도, 엽육 내 CO₂ 농도 및 증산율 등을 조사한 결과, 광합성 속도, 기공전도도 및 수분이용효율은 35% 피음에서 각각 12.3 $\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 0.27 $\text{molH}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 및 3.53 $\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{mmol}^{-1}\text{H}_2\text{O}$ 로 가장 높았으며, 엽육 내 CO₂ 농도는 75% 피음에서 328.3 $\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$, 증산율은 55% 피음에서 3.54 $\text{mmolH}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 가장 높았다(Table 4). 특히, 광합성 속도는 피음 수준이 35%보다 높아질수록

낮아졌는데, 이러한 현상은 낮은 광 환경에 순화된 식물들이 수광량을 높이기 위해 잎 내 질소를 엽록소 단백질에 투자하여 집광반응에 치중함으로써 반대로 CO₂ 고정 효소인 루비스코 효소에 대한 질소 배분이 줄어들어 광합성 능력이 줄어든 것으로 설명하고 있다(Kim and Lee, 2001). 난대 상록활엽수인 먼나무의 경우도 피음 수준이 50%와 70%로 강해질수록 광합성 속도는 감소하였으나 엽록소 함량은 증가한 것으로 나타났다(Han et al., 2008).

한편, 부위별 및 전체 건물생산량의 경우 35% 피음에서 잎과 줄기의 건물생산량이 높게 나타났다. 이는 광합성 능력이 높아짐에 따라 물질생산량 또한 많아지기 때문으로 사료되며, 광합성 속도는 기공 개폐와 관련성이 높아 기공전도도와 정의 상관관계에 있다(Faria et al., 1996; Lim et al., 2006).

내장산 내 굴거리나무의 광합성 속도는 1.6~8.3 $\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 보고되어(Jeong, 2009) 본 실험의 결과보다 상대적으로 낮았으며, 특히 9월의 경우에는 상대 광도가 낮은 28~33%(강피음)인 조사구에서 광합성 속도가 가장 낮게 나타나 본 실험의 결과와 유사한 경향을 보였다. Choi et al.(2012)의 보고에 따르면, 상록활엽수인 금목서, 까마귀쪽나무, 홍가시나무 및 돈나무 4수종으로 전광과 피음(35%, 55%, 75%, 95% 피음)처리한 후 광합성 속도를 조사한 결과, 까마귀쪽나무는 차광에 따른 차이를 거의 나타내지 않았으며, 돈나무와 금목서는 전광에서, 홍가시나무는 35% 피음에서 광합성 속도가 가장 높게 나타났다. 또한, Kim et al.(2008)은 참나무 수종인 신갈나무, 졸참나무, 상수리나무, 굴참나무를 본 실험에서와 같이 전광의 35%, 55%, 75% 수준의 피음 조건에서 생육시킨 후 광합성 반응 특성을 조사하여 수종별 내음성 적응 반응을 제시하였으며, Song et al.(2011)은 가시나무를 대상으로 전광과 전광의 35%, 55%, 75% 수준의 피음 조건에서 생육시켜 광합성 속도, 기공전도도, 증산율, 수분이용효율 등을 분석한 결과, 전광보다 35%와 55% 피음에서 상대적으로 높아 본 실험의 굴거리나무와 유사한 경향을 보인 것으로 나타났다. 한편, 내음성이 서로 다

른 자작나무, 개벚나무, 함박꽃나무를 대상으로 약 피음(전광의 64~73%), 보통 피음(전광의 35~42%), 강 피음(전광의 9~16%) 처리하여 광합성 속도를 측정 한 결과, 자작나무는 전광에서 가장 높았으며, 개벚나무는 강 피음을 제외하고는 비슷했고 함박꽃나무는 보통 피음에서 광합성 속도가 가장 높은 것으로 나타나(Kim et al., 2010a) 수종별로 광합성 속도는 각기 다른 것을 알 수 있다.

결론

본 연구는 수요가 확대되고 있는 난대 상록활엽수인 굴거리나무의 적정 생육환경을 구명하기 위하여 피음 수준에 따른 1년생 용기묘의 생장 및 생리적 반응에 대해 알아보려고 실시하였다. 굴거리나무 1년생 용기묘를 피음 처리한 결과, 간장, 건물생산량(잎, 줄기, 뿌리, 전체), 엽록소 *a/b*율, 광합성 반응(광합성 속도, 기공전도도, 수분이용효율)은 모두 35% 피음에서 가장 높게 나타났다. 이러한 결과는 내음성이 있는 굴거리나무의 생육 시 적정 생육환경을 조성하는데 있어 중요한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

현재 굴거리나무는 대부분 일반 포지에서 생산되는 노지묘로 생산되고 있어 기후변화 등의 영향으로 발생하는 기상재해의 피해가 우려되는 실정이다. 따라서 본 실험의 연구결과를 바탕으로 굴거리나무를 생육환경의 조절이 가능한 시설에서 용기묘로 생산한다면 묘목의 생산량 증대와 재배, 운반 및 이식 등 각각의 단계에서 작업의 효율성이 증가될 것으로 판단된다.

References

- Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts, polyphenoloxidase in *Betula vulgaris*. *Plant Physiology* 24: 1-15.
- Ashton, P.M.S. and Berlyn, G.P. 1992. Leaf adaptations of some *Shorea* species to sun and shade. *New Phytologist* 121: 587-596.
- Cho, M.S., Kwon, K.W., Kim, G.N. and Woo, S.Y. 2008. Chlorophyll contents and growth performances of the five deciduous hardwood species growing under different shade treatments. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 10: 149-157.
- Choi, J.I., Seon, J.H., Pack, K.Y. and Kim, T.J. 1998. Photosynthesis and stomatal conductance of eight foliage plant species as affected by photosynthetic photon flux density and temperature. *Journal of Korean Society for Horticultural Science* 39: 197-202.
- Choi, S.M., Shin, H.C., Lee, K.S., Bae, E.G., Choi, K.O. and Huh, K.Y. 2012. Effects of shading rates on growth characteristics and photosynthesis in four broad-leaved evergreen trees. *Journal of Korean Society for People, Plants and Environment* 15: 99-106.
- Faria, T., Garcia-Plazaola, J.I., Abadia, A., Cerasoli, S., Pereira, J.S. and Chaves, M.M. 1996. Diurnal changes in photoprotective mechanism in leaves of cork oak (*Quercus suber*) during summer. *Tree Physiology* 16: 115-123.
- Haase, D. 2007. Understanding forest seedling quality : measurements and interpretation. *Tree Planter's Notes* 52: 24-30.
- Han, J.G., Son, S.G., Kim, S.H., Kim, C.S., Hwang, S.I. and Byun, K.O. 2008. Photosynthesis, chlorophyll contents and leaf characteristics of *Ilex rotunda* under different shading treatments. *Korean Journal of Plant Resources* 21: 299-303.
- Hong, S.G., Kim, J.J. and Im, H.T. 2000. Studies on the shade tolerance of the woody and herbaceous plants for urban forest aromatic bath. *Journal of Korean Forest Society* 89: 585-590.
- Jeong, J.Y. 2009. Eco-physiological analysis of seedling depending on light environment in a group of *Daphniphyllum macropodum* in Naejang National Park. Master Thesis. Wonkwang University. pp. 35.
- Kim, G.N., Cho, M.S. and Lee, S.W. 2010a. Physiological responses of the three deciduous hardwood seedlings growing under different shade treatment regimes. *Journal of Bio-Environment Control* 19: 36-48.
- Kim, J.J. 2010. Production plan of warm-temperate tree species by container seedling. *Journal of the Forest Nurseryman Association of Korea* 38: 27-38.
- Kim, J.J., Kwon, K.W., Kim, P.G., Yoon, T.S., Lee, K.J., Y.S. Chung, and Song, K.S. 2010b. Characteristics of meteorological disasters in Korean nursery industry. *Journal of Climate Research* 5: 42-53.
- Kim, P.G. and Lee, E.J. 2001. Ecophysiology of photosynthesis 2: Adaptation of the photosynthetic apparatus to changing environment. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 3: 171-176.
- Kim, P.G., Kwon, K.W., Yoon, T.S., Lee, K.J., Chung, Y.S., Song, K.S., Cha, Y.G. and Kim, J.J. 2010c. Damages of seedlings by meteorological disasters in nursery. *Journal of Climate Research* 5: 148-161.
- Kim, P.G., Yi, Y.S., Chung, D.J., Woo, S.Y., Sung, J.H. and Lee, E.J. 2001. Effects of light intensity on photosynthetic activity of shade tolerant and intolerant tree species. *Journal of Korean Forest Society* 90: 476-487.
- Kim, S.H., Saung, J.H., Kim, Y.K. and Kim, P.G. 2008. Photosynthetic responses of four oak species to changes in light environment. *Korean Journal of Agricultural and*

- Forest Meteorology 10: 141-148.
- Kwon, K.W., Choi, J.H., Song, H.K. and Kang, B.S. 2003. Studies on growth and chlorophyll contents of major oak tree seedlings under different light environment in forest. *Journal of Korea Forestry Energy* 22: 20-28.
- Lee, T.B. 1999. *Dendrology*. Hyangmoon Press. Seoul, Korea. pp. 331.
- Lim, J.H., Woo, S.Y., Kwon, M.J., Chun, J.H. and Shin, J.H. 2006. Photosynthetic capacity and water use efficiency under different temperature regimes on healthy and declining Korean Fir in Mt. Halla. *Journal of Korean Forest Society* 95: 705-710.
- Park, N.B., Jo, J.H., Jin, S.G., Park, K.H. and Choi, B.J. 1992. Basic studies on the seed propagation and pot plant cultivation of wild of *Daphniphyllum macropodum* MIQ. *Proceeding of Korean Society for Horticultural Science* 10: 188-189.
- Song, K.S., Jeon, K.S., Choi, K.S., Choi, J.Y., Sung, H.I. and Kim, J.J. 2014. Growth characteristics of *Daphniphyllum macropodum* seedlings of warm-temperate landscape tree by shading and fertilization treatment: Research on seedling production of *D. macropodum* by container nursery for meteorological disasters. *Journal of Climate Research* 9: 65-76.
- Song, K.S., Sung, H.I., Cha, Y.G. and Kim, J.J. 2011. Growth and physiological responses of 1-year-old containerized seedlings of *Quercus myrsinaefolia* by shading treatment. *Journal of Bio-Environment Control* 20: 373-381.
- Sung, H.I., Song, K.S., Cha, Y.G. and Kim, J.J. 2011. Characteristics of growth and seedling quality of 1-year-old container seedlings of *Quercus myrsinaefolia* by shading and fertilizing treatment. *Journal of Korean Forest Society* 100: 598-608.
- Yoo, Y.K. and Kim, K.S. 1997. Effects of shading on the growth in *Hibiscus syriacus* L. *Journal of Korean Society for Horticultural Science* 38: 520-526.

(Received: January 23, 2017; Accepted: March 14, 2017)