

광, 온도, 수분 변화에 따른 음나무 잎의 생리반응(I)

- 광도변화에 따른 광합성과 호흡 특성 -

한상섭¹⁾ · 전두식²⁾ · 심주석³⁾

Effects of Light, Temperature, Water Changes on Physiological Responses of *Kalopanax pictus* Leaves(I)

- Characteristics of Photosynthesis and Respiration of Leaves by the Light Intensity -

Sang-Sup Han¹⁾, Doo-Sik Jeon²⁾ and Joo-Suk Sim³⁾

요 약

음나무 잎의 생리반응 특성을 구명하기 위하여 광도별 광합성속도, 그리고 호흡속도를 측정한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 음나무의 광보상점은 상엽($34 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) > 중엽($29 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) > 하엽($25 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 순위였고, 광포화점은 상엽이 $800 \sim 1,200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 중엽과 하엽이 $400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이었다. 광포화시 순광합성속도의 크기는 상엽($11.1 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$) > 중엽($5.15 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$) > 하엽($4.01 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 순위였다. 광양자이용효율은 하엽($0.041 \mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol}^{-1}$), 중엽($0.040 \mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol}^{-1}$), 하엽($0.039 \mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol}^{-1}$) 순위였다.
2. 상엽의 기공전도도는 광도의 증가와 함께 계속적으로 증가한 반면, 중엽과 하엽은 광도 $400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 부터 더 이상 증가하지 않았다.
3. 엽육세포간극의 CO_2 농도/대기중 CO_2 농도(C_i/C_a) 비율은 상엽, 중엽, 하엽 모두에서 광도 $600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 까지 감소하였고, 그 이상의 광도에선 큰 변화를 보이지 않았다.
4. 상엽의 광호흡속도는 약 $3.34 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이었고, CO_2 보상점은 $48.7 \mu\text{mol mol}^{-1}$ 이었다. 암호흡속도는 온도의 증가와 함께 지수함수적으로 증가하였으며, 광호흡속도는 암호흡속도의 약 2.4배 정도였다.

ABSTRACT

This research was carried out to elucidate the photosynthesis, respiration, and intercellular CO_2 concentration of *Kalopanax pictus* leaves. The results obtained are summarized as follows:

- 1) 강원대학교 산림과학대학 산림자원학부: Division of Forest Resources, College of Forest Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea
- 2) 강원도산림개발연구원: Forest Research Institute of Gangwon Province, Chuncheon 200-140, Korea
- 3) 강원도 자연연구공원: Research Institute of Gangwon Province Natural Park, Chuncheon 200-700

1. The light compensation points in leaves of *Kalopanax pictus* seedlings were in the following order: the upper ($34 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) > middle ($29 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) > lower leaves ($24 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). The light saturated points were at $800 \sim 1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ in the upper leaves and $400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ in the middle and lower leaves. At the light saturated points, the net photosynthesis rate was in the following order: the upper ($11.1 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$) > middle ($5.15 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$) > lower leaves ($4.01 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$). The light use efficiency was in the following order: the upper ($0.041 \mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol}^{-1}$) > middle ($0.040 \mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol}^{-1}$) > lower leaves ($0.039 \mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol}^{-1}$).
2. In the upper leaves of *Kalopanax pictus* seedlings, the stomatal conductance increased continuously with increasing light intensity. In the middle and lower leaves, it was saturated at $400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.
3. In the upper, middle and lower leaves of *Kalopanax pictus* seedlings, the intercellular CO_2 concentration/the atmospheric CO_2 concentration (C_i/C_a) ratio rapidly decreased to $600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, and then showed a constant values.
4. In the upper leaves of *Kalopanax pictus* seedlings, the photorespiration rate was $3.34 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$ and CO_2 compensation point was $48.7 \mu\text{mol mol}^{-1}$. Dark respiration rate increased exponentially with increasing leaf temperature, and the photorespiration rate was 2.4 times higher than dark respiration rate.

서 론

음나무(*Kalopanax pictus*)는 식물분류학상 두릅나무과 음나무속에 속하는 전 세계에서 1속 1종의 낙엽활엽수로서 한국, 일본, 사할린, 중국 등 동북아시아지역에만 분포하는 특성을 가지고 있다. 우리나라에서는 전국의 해발 고도 100~1,800m에 걸쳐 분포하며, 수고 25m, 직경 1m 까지 자라는 거목성 수종으로서 변종으로는 당음나무(*Kalopanax pictus* var. *chinense* Nakai), 털음나무(*Kalopanax pictus* var. *magnificum* Nakai), 가는잎음나무(*Kalopanax pictus* var. *maximowiczii* Nakai) 등이 있다(이, 1996).

음나무는 산림청 주요조림수종중 용재수종, 특용수종, 내음수종으로 선정될 만큼 중요한 자원식물로서, 목재는 최고급 용재로서 건축, 무늬단판, 기구, 차량, 가구, 칠기, 조각 등으로 매우 다양하게 이용되고, 어린순(일명, 개두릅)은 기호성 높은 산채로 가지와 껍질은 한약재로 이용된다. 또

한, 칼로톡신(Kalotoxin), 칼로사포닌(Kalosaponin) 등의 약리효과 성분이 함유(Kim 등, 1988; 김영희 등, 1998; 이철호, 2000; 이철호 등, 2000a) 되어 있어 약용식물로서도 각광 받고 있다.

이와 같이 중요한 산림자원종의 하나인 음나무에 관한 연구는 음나무 선발개체의 생장 및 섬유장과 수피특성의 변이(황석인과 정현관, 1997), 음나무의 입지환경 및 생장특성(강호상과 이돈구, 1998), 음나무의 종내변이 특성 및 대량번식(이철호, 2000), 음나무의 생리·생태학적 특성 및 분포지역에 따른 kalosaponin 함량의 변화(이철호, 2000), 강원도 음나무의 자생 입분의 입지환경, 식생구조 및 동태(이철호 등, 2000b), 가시 없는 음나무 생산(강호덕, 2001), 가시 없는 음나무 신품종육성(김세현, 2001), 광도가 음나무의 광합성 생리에 미치는 영향(김판기와 이은주, 2001), 음나무 묘목의 멀칭처리에 따른 활착율 및 생장(이돈구와 강호상, 2001), 특용활엽수 재배기술(강원도산림개발연구원, 2002) 등에 관한

연구만 있을 뿐이다.

식물의 적지환경 진단에 가장 많이 사용되는 방법인 광, 온도, 수분 등의 환경인자 변화가 광합성, 증산, 기공전도도에 미치는 영향을 상세히 구명한다는 것은 그 수준의 생리적 특성을 진단할 수 있는 가장 좋은 방법이라 할 수 있다(Larcher, 1995). 따라서, 음나무의 효율적인 보육과 조성 관리에 가장 중요한 잎의 광합성속도, 증산속도, 기공전도도의 환경인자별 특성을 밝히는 것은 매우 중요한 의미를 지닐 뿐만 아니라 이러한 자료들은 조림을 위한 적지적수의 판단 기준으로 활용될 수 있을 것이다.

본 연구에서는 포트에 재배된 4년생 음나무 묘목을 사용하여 광도 변화에 따른 잎의 광합성속도와 호흡속도의 특성을 측정 고찰 하였다.

재료 및 방법

1. 식물재료

이 연구에 사용된 음나무 시료는 강원도 춘천시 신북읍 발산리 강원도산림개발연구원 시험포지에 식재되어 있는 4년생 묘목을 2002년 4월초에 공시배양토 피트모스, 버미큘라이트 그리고 펄라이트 각각 50% : 40% : 10%의 비율로 혼합한 단면적 200cm², 높이 25cm의 원형포트에 식재한 후 포트당 유기질비료 300g을 시비하여 강원도 춘천시 사농동 시험포지내 자연조건하에서 생육시킨 포트묘를 대상으로 하였다. 건조에 대한 피해를 막기위하여 2일에 한번씩 포트묘에 충분히 관수를 실시하였다.

이 연구에 사용된 포트묘의 평균 수고와 근원직경은 각각 1.25m와 19.1mm이었고, 산지에 생장하고 있는 음나무의 수고는 2.07m, 그리고 근원직경은 34.1mm이었다(Table 1).

2. 광도별 생리반응 측정

포트묘로 생육시킨 음나무 잎에 대한 순광합성속도(net photosynthetic rate; A_{net}), 기공증산속도(stomatal transpiration rate; E), 기공전도도(stomatal conductance; g_{H_2O}), 그리고 엽육세포간극의 CO₂ 농도(intercellular CO₂ concentration; C_i)와 대기과 잎사이의 증기압결핍(vapour pressure deficit; VPD) 등에 대한 측정은 실험실내에서 개방형-휴대용 적외선 가스교환측정기(Leaf chamber analyzer: Type LCA4, Analytical Development Corporatin ADC, Hoddesdon, Herts, 영국)를 사용하여 6.25 cm² 넓은 잎챔버(PLC4(B))속에서 측정하였다. 측정당시 필요한 광도 및 잎온도 조절은 미기후조절장치(Leaf Microclimate Control System: Analytical Development Corporatin ADC, Hoddesdon, Herts, 영국)를 사용하였다.

측정방법은 4m의 높이의 공기 유입안테나를 사용하여 대기로부터 CO₂를 직접 공급받았으며, 공급받은 CO₂ 농도가 대기의 CO₂ 농도와 비슷해지면(약 1분 후) 잎챔버로 잎을 짚은 다음 약 1~2분 후 CO₂ 농도의 변화가 안정될 때 측정을 완료하였다. 측정은 5개체를 선발한 후 각 개체별 5~10개의 착생잎에 대하여 실시하였다.

Table 1. Description of studied *Kalopanax pictus* seedlings. Data indicate mean values (n=5), and RCD: Root collar diameter

| Species | Classification | Height (m) | RCD (mm) | Age (year) | No. of tree/ha |
|-------------------------|--------------------|------------|----------|------------|----------------|
| <i>Kalopanax pictus</i> | potted seedlings | 1.25 | 19.1 | 4 | - |
| | afforest seedlings | 2.07 | 34.1 | 6 | 5,000 |

광도별 생리특성 측정은 포트묘의 착엽 위치별 (상엽 : 정단엽, 중엽 : 정단으로부터 50cm, 하엽 : 지표면으로부터 15cm)로 고정 잎온도 $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 에서 측정하였으며, 광도측정은 잎챔버 윗면에 설치된 quantum 센서로 측정하였으며, 실제 잎표면에 도달한 광도는 윈도우 투과상수 (0.93)를 곱함으로써 결정되었다. 측정 광도역은 최초 광도 $0 \sim 1,200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 까지였다.

3. 암호흡, 광호흡 측정

잎의 암호흡속도(dark respiration rate; R_d)의 측정은 잎챔버를 알루미늄호일로 잎 챔버를 완전히 덮은 후 암조건 하에서 착엽 위치별로 실시하였다.

광호흡의 측정은 잎온도 25°C 와 포화광도 $1,200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 상이한 CO_2 농도를 공급하면서 측정하였으며, 순광합성속도와 엽육세포간극의 CO_2 농도가 직선적으로 증가하는 영역 $0 \sim 200 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ 에서 얻은 측정치들의 직선회귀식을 이용하여 광호흡속도와 CO_2 보상점을 구하였다.

4. 데이터 분석

단위 잎표면적당 순광합성속도, 기공증산속도와 기공전도도, 암호흡, 그리고 엽육세포간극의 CO_2 농도는 Caemmerer & Farquhar(1981)의 식에 의해 계산되었으며, 그리고 대기와 잎 사이에 증기압결핍(vapour pressure deficit: VPD)은 Landsberg(1986)의 식에 의해 계산되었다. 그리고 대기 속의 CO_2 농도(air CO_2 concentration: C_a)에 대한 엽육세포간극의 CO_2 농도(intercellular CO_2 concentration: C_i)의 비율은 C_i / C_a 로 각각 계산되었다. 광 - 광합성 곡선은 아래의 Kume & Ino(1993)식에 의해 작성하였다.

$$A = A_{max} \left[1 - \exp\left(-\frac{\theta P}{A_{max}}\right) \right] - R$$

θ : 광양자 이용효율, P : 광도,

A_{max} : 최대광합성속도, R : 호흡속도

약광 조건에서 광합성능력의 지표가 되는 광양자이용효율은 광도 $0 \sim 100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 영역에서의 직선회귀식 $y = ax + b$ 에 의해 구하였다. 여기서 a 는 광양자이용효율, y 절편인 b 는 암호흡속도, x 절편인 $-b/a$ 는 광보상점, 그리고 광포화점은 상대광합성속도가 80% 이상을 보인 광도를 광포화점으로 하였다.

광호흡과 CO_2 보상점은 엽육세포간극의 CO_2 농도 $0 \sim 200 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ 에서 얻은 직선회귀식 $y = ax + b$ 에 의해 구하였으며, 여기서 y 절편인 b 는 광호흡속도, x 절편인 $-b/a$ 는 CO_2 보상점으로 하였다.

결과 및 고찰

1. 광도별 순광합성속도

한 개체목내에서도 식물은 착엽위치에 따라 여러 가지 서로 다른 환경조건에 노출되며, 이로 인한 잎의 형태적, 생리적 또는 생화학적 특성도 변화되기 때문에 여러 가지 생리적 반응 또한 다르게 나타날 것이다.

Fig. 1은 2002년 7월 초에 측정한 음나무 포트묘의 착엽 위치별(이하 상엽, 중엽, 하엽) 광-광합성곡선을 나타냈다.

음나무의 중엽과 하엽의 순광합성속도는 광도 $90 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 까지는 상엽보다 높았지만, 그 이상으로 광도가 상승함에 따라 순광합성속도가 역전되는 현상을 보였다. 음나무 상엽의 광보상점은 $34 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이었고, 중엽과 하엽은 이보다 낮은 $29.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 과 $24.8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이었다(Table 3). 이철호(2001)에 따르면 광도 $920 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 과 광도 $80 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 성장한 음나무의 광보상점은 각각 $18.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 과 $5.9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로 이 연구에서 측정한 광보상점 보다 매우 낮은 값을 나타냈으나, 낮은 광환경에서 성장하는 식물이 높은 광환경에서 성장하는 식물보다 광보상점이 낮다는 면에서는 일치한다는 것을 알 수 있었다. 한편, 정성호(2002)가 보고한 굴참나무 $26 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 상수리나무와 갈참나무 각각 $23 \mu\text{mol}$

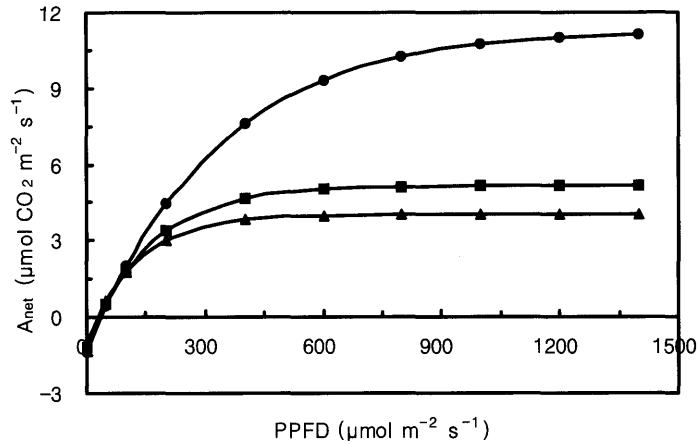


Fig. 1. Effects of photosynthetic photon flux density (PPFD) on net photosynthetic rate (A_{net}) in according to leaf positions of *Kalopanax pictus* seedlings at 25°C leaf temperature (●: Upper leaf; ■: Middle leaf; ▲: Lower leaf). The symbols indicate the means of measured values (n=5)

Table 3. Values of light saturated point(LSP), light compensation point(LCP), and light use efficiency (L_E)

| Measured Parts | LSP ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) | LCP ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) | L_E ($\mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol}^{-1}$) |
|----------------|--|--|---|
| Upper leaf | 800 ~ 1,200 | 34.4 | 0.039 |
| Middle leaf | 400 | 29.5 | 0.040 |
| Lower leaf | 400 | 24.8 | 0.041 |

$\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로 중엽과 하엽의 광보상점과 비슷한 값이었지만, 신갈나무($16 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)보다는 높았다.

Larcher(1995)는 온대지방 낙엽활엽수의 광보상점은 양엽의 경우 $20\sim 50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 음엽은 $10\sim 15 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 범위에 분포한다고 보고하였고, 또한 Hinckley et al.(1978)에 따르면 광보상점은 *Quercus rubra*에서 $28 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, *Quercus alba*에서 $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, *Quercus velutina*에서 $32 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로

이 연구에서 측정된 광보상점은 Larcher

(1995)가 보고한 온대지방의 낙엽활엽수 음엽의 광보상점 보다는 높았으나, 양엽의 광보상점 범위에 속한다는 것을 알 수 있었고 또한 Hinckley et al.(1978)이 보고한 *Quercus* 류의 광보상점과는 유사하다는 것을 알 수 있었다.

광포화점은 상엽 및 중엽과 하엽이 상이하게 나타났는데, 상엽의 광포화점은 $800\sim 1,200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이었으며, 중엽과 하엽의 광포화점은 $400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로 상엽의 50% 정도로 나타났다. 이철호(2000)에 따르면, $920 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 광도하에서 성장한 음나무의 광포화점은

283 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로 이 연구에서 측정된 중엽과 하엽의 광포화점 보다는 낮은 값이었다. 이철호(2000)는 자연조건, 임내조건, 750과 75 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 광도조건에서 생육시킨후 조사한 습나무의 광포화점은 각각 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로 이 연구에서 측정된 상엽의 광포화점은 자연조건의 광포화점보다 높았으나, 중엽과 하엽은 임내조건, 500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 과 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 광도조건에서 성장한 습나무의 광포화점과 비슷하였다. 김판기 등(1999)은 상록 활엽 덩굴식물인 남오미자(*Kadsura japonica*)의 광포화점을 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이라고 보고하였는데, 이는 습나무 상엽에서 측정된 광포화점보다 낮은 값이었다.

광포화점에서 측정된 최대 순광합성속도는 상엽에서 11.1 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 로 가장 높았으며, 그 다음이 중엽(5.15 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), 하엽(4.01 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) 순위였으며, 하엽의 최대 순광합성속도는 상엽의 36% 정도였다.

이철호(2000)에 의하면 자연조건과 임내에서 생육한 습나무의 최대 순광합성속도는 각각 14 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, 6 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 이었으며, 750 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 과 75 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 의 광도조건에서 성장한 습나무의 최대 순광합성속도는 각각 5.5 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, 4.5 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 로 본 연구의 상엽의 경우는 자연조건과 약간의 차이를 보였지만 비슷하였고, 중엽은 750 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 의 광도조건과 하엽은 75 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 의 광도조건에서 성장한 습나무의 최대 순광합성속도와 비슷하였다는 것을 알 수 있었다. 한편, 이철호(2000)에 의해 조사된 920 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 광도에서 생육한 습나무의 최대 순광합성속도(5.67 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)는 본 연구에서 측정된 중엽의 최대 순광합성속도(5.15 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)보다 다소 높았으며, 80 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 의 광도조건에서 생육한 습나무의 최대 순광합성속도(4.82 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)는 본 연구에서 측정된 하엽(4.01 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)보다 다소 높았다는 것을 알 수 있었다. Hinckley et al.(1978)은 참나무류 중 white oak류의 최대

순광합성속도는 약 7.6 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 그리고 red oak류의 최대 순광합성속도는 약 6.3 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 라고 보고하고 있어 본 연구에서 측정된 습나무 상엽의 최대 순광합성속도보다 낮은 값이었다. 또한 Aubuchon et al.(1978)에 따르면 광포화점에서 측정된 *Quercus alba* 성숙목의 최대 순광합성속도는 11.2 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 라고 보고했으며, 이 값은 본 연구에서 측정된 습나무 상엽의 최대 순광합성속도와 비슷한 값이었다.

같은 환경조건 하에서 자라는 수목에서는 광보상점과 광포화점이 낮은 수록 내음성이 크다고 한다(심주석, 1990, 정성호, 2002). 이러한 사실을 근거로 본 연구의 조사사항을 검토해 보면 착엽위치가 높은 상엽에 비해 광보상점이나 광포화점이 낮았던 중엽과 하엽이 다소 내음성이 크다고 할 수 있으며, 이것은 한 수목내에서도 생육공간의 위치에 따라 각 환경 조건에 적응하여 생존하려는 생리적인 기작으로 각 수목이 양엽과 음엽으로 분화된다는 것을 입증하는 것이라 생각된다.

광양자이용효율이란 광에너지를 화학에너지로 변환시키는 광화학계의 활성을 의미하는 것으로서 낮은 광조건하에서의 광합성능력을 나타내는 지표가 된다(Evans, 1987). 습나무의 착엽 위치별 광양자이용효율은 습나무 하엽이 0.041 $\mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol}^{-1}$ 로 가장 높았고, 그 다음이 중엽(0.040 $\mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol}^{-1}$) 상엽(0.039 $\mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol}^{-1}$)의 순위였다(Table 3). 920 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 의 광도와 80 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 의 광도 조건에서 생육시킨 습나무의 광양자이용효율은 각각 0.041 $\mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol}^{-1}$ 과 0.042 $\mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol}^{-1}$ 로 본 연구에서 조사된 값과 비슷하였다(김판기와 이은주, 2001). 따라서, 낮은 광환경조건에서 생육하는 잎들이 더 효율적으로 광을 이용함을 알 수 있었다. 한편, Gardiner et al.(2001)이 조사한 *Quercus pagoda*의 광양자이용효율은 온실조건(자연조건의 64% 광환경)하에 0.05±0.006 $\mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol}^{-1}$ 로 본 연구에서 조사된 값보다 조금 높았다.

2. 광도별 기공전도도

순광합성속도 측정시 대기로의 수분확산속도의 크기를 의미하는 기공전도도를 측정하여 기공개폐의 정도를 알 수 있다. 기공전도도는 광도, 수증기압포차, 이산화탄소 농도, 기온 그리고 상대습도 등과 같은 여러 가지 환경인자들의 영향을 받는다(Hinckley & Braatne, 1994, Kozlowski, 1997; 정성호, 2002).

광도별 기공전도도의 변화를 Fig.2에 나타냈다.

Fig. 2에서 음나무 상엽의 기공전도도는 광도 600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 까지는 광도의 증가에 따라 조금씩 증가하다가 그 이후의 광도부터는 급격히 빠른 증가를 보였지만(Fig. 3), 이에 비해 중엽, 하엽은 광도 400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이후부터는 더 이상의 기공전도도의 증가는 나타나지 않았다. 중엽과 하엽의 이러한 기공전도도는 순광합성속도와 광도와의 관계와 유사한 결과로 기공전도도가 순광합성을 제한하는 인자임을 알 수 있지만, 상엽의 경우는 기공전도도와 순광합성속도와는 정의 상관관계가 성립되지 않았다.

광포화점의 광도 1,200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 측정된 상엽의 기공전도도는 약 218 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 중엽은 66 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 하엽은 43 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로 상엽에 대한 중엽과 하엽의 상

대 기공전도도는 각각 30%, 19.7% 이었다.

중엽과 하엽의 기공전도도는 광도 400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 측정된 상엽의 기공전도도와 비슷한 값이었다. 음나무 상엽의 기공전도도는 정성호(2002)이 보고한 *Q. mongolica*(130 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)보다는 높았지만, *Q. acutissima*(280 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)보다는 낮은 값이었다.

3. 광도별 엽육세포간극의 CO₂ 농도

음나무 착엽 위치별 광도변화에 대한 엽육세포간극의 CO₂ 농도/대기중 CO₂ 농도 비율 (이하 C_i/C_a)을 Fig. 3에 나타냈다.

음나무 상엽, 중엽과 하엽의 C_i/C_a 비율은 광도 증가와 함께 빠르게 감소하였으며, 상엽과 중엽의 C_i/C_a 비율은 광도 약 600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 을 전후하여 약간 증가하는 경향을 보였지만, 하엽의 C_i/C_a 비율은 거의 일정한 값을 보였다.

C_i/C_a 비율의 안정된 값을 보인 광도는 약 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이었으며, 이값은 음나무 상엽의 광포화점과 일치하는 값이었다. 이러한 근거로 살펴보면, 광도의 증가는 엽육세포간극의 CO₂ 이용효율을 증가시켰으며, 광포화점 이상의 광도부터는 엽육세포간극의 CO₂ 농도가 광합성의 활성으로 더 이상 이용되지 않고 있다는 것을 의미한다.

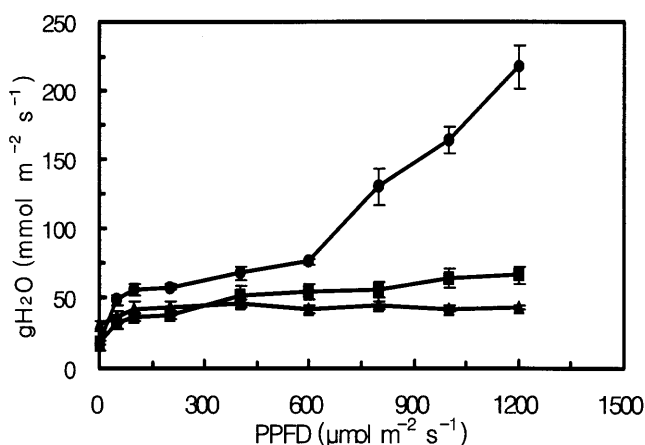


Fig. 2. Effects of photosynthetic photon flux density (PPFD) on stomatal conductance (gH_2O) in according to leaf positions of *Kalopanax pictus* seedlings at 25°C leaf temperature (●: Upper leaf; ■: Middle leaf; ▲: Lower leaf). (I: Standard error; n=5)

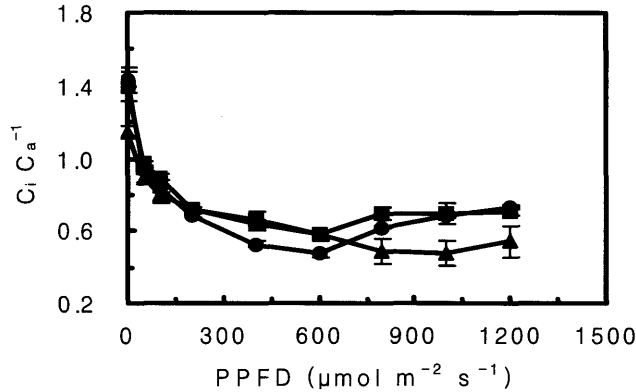


Fig. 3. Effects of photosynthetic photon flux density (PPFD) on intercellular (C_i)/atmospheric CO_2 concentration(C_a) ratio in according to leaf positions of *Kalopanax pictus* seedlings at 25°C leaf temperature (●: Upper leaf; ■: Middle leaf; ▲: Lower leaf). (I: Standard error; n=5)

4. 광호흡속도

광호흡은 광조건하에서 CO_2 교환이 동시에 일어나며, 광합성속도는 CO_2 농도에 비례하기 때문에 순광합성속도와 엽육세포의 CO_2 농도와의 직선회귀식에 의해 쉽게 구할 수 있다.

Fig. 4에서 보는 바와 같이 상엽의 엽육세포간극의 CO_2 농도와 순광합성속도 사이에는 매우

높은 정의 상관관계($R^2 = 0.838$)가 있음을 알 수 있었으며, 이 직선회귀식에 의해 구한 광호흡속도는 약 $3.34 \mu mol CO_2 m^{-2} s^{-1}$ 로 같은 잎온도 25°C에서 구한 암호흡속도($1.40 \mu mol CO_2 m^{-2} s^{-1}$) 보다 2.4배가 더 높았으며, 음나무의 CO_2 수지가 0이 되는 엽육세포간극의 CO_2 농도, 즉 상엽의 CO_2 보상점은 $48.7 \mu mol mol^{-1}$ 이었다(Fig. 3).

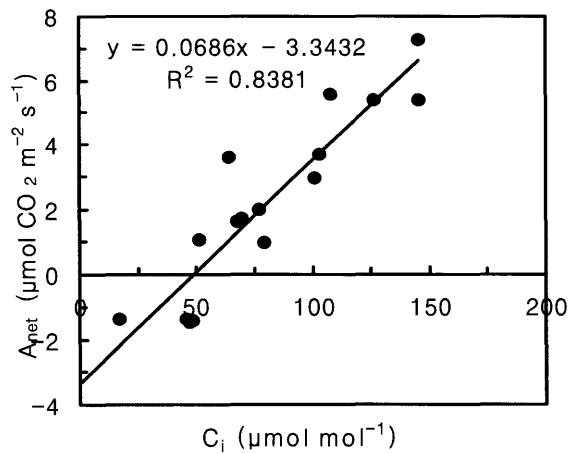


Fig. 4. Effects of intercellular CO_2 concentration (C_i) on net photosynthetic rate (A_{net}) in leaves of *Kalopanax pictus* seedlings at 25°C leaf temperature and 1,200 photosynthetic photon flux density (n=25)

인용문헌

1. 강원도산림개발연구원. 2002. 특용활엽수 재배기술. 강원도산림개발연구원 144pp.
2. 강호덕. 2001. 가시없는 음나무 생산. 산림지 5월.
3. 강호상, 이돈구 1998. 강원도 평창군 중앙산 지역 음나무의 입지환경 및 성장특성. 한국임학회지 87(3): 483-492.
4. 김세현. 2001. 가시없는 음나무 신품종 육성. 산림지 10월호.
5. 김영희, 김종평, 윤봉식, 문석식, 유익동. 1998. 음나무 유래 신규 황산화 물질. 한국자원식물학회지(별책 2호) 11: 89-109.
6. 김판기, 이은주. 2001. 광합성 생리 생태(2) -환경변화에 대한 광합성 적응 반응-. 한국농림기상학회지 3(3): 171-176.
7. 김판기, 이갑연, 김세현, 한상섭. 1999. 우리나라에 분포하는 오미자과 2속3종의 잎 형질 및 광합성 특성. 한국농림기상학회지 1(2): 90-96.
8. 심주석. 1990. 물푸레나무와 들메나무엽의 광합성과 호흡의 특성. 강원대학교 대학원 석사학위논문 23pp.
9. 심주석, 한상섭, 정성호. 2001. 수증기압결핍이 참나무류 묘목의 광합성, 증산, 기공전도도에 미치는 영향. 강원대학교 학술림연구지 21: 1-8.
10. 이돈구, 강호상. 2001. 리기다소나무림내 수하식제한 음나무묘목의 멀칭처리에 따른 활착율 및 성장. 서울대학교 연습림보고 37: 67-79
11. 이문호. 2000. 음나무의 종내변이 특성 및 대량번식. 강릉대학교 산업대학원 교육학석사학위논문.
12. 이철호. 2000. 음나무의 생리·생태학적 특성 및 분포지역에 따른 kalosaponins 함량의 변화. 충남대학교 대학원 박사학위논문.
13. 이철호, 최명석, 권기원. 2000a. 한국자생 음나무 집단 및 채취부위에 따른 kalosaponin 함량변이. 한국생약학회지 31(2): 203-208.
14. 이철호, 최영철, 김세현, 권기원. 2000b. 강원도 음나무 자생 임분의 입지환, 식생구조 및 동태. 한국자원식물학회지 13(2): 89-94.
15. 정성호. 2002. 낙엽성 참나무류의 광합성, 기공증산, 기공전도도 특성에 관한 연구. 강원대학교 대학원 박사학위논문 100pp.
16. 황석인, 정현관. 1997. 음나무 선발개체의 성장 및 섬유장과 수피특성의 변이. 임육연보. 33: 14-21
17. 한상섭, 심주석, 이수만 2000. 낙엽성 참나무 6종의 광합성, 증산, 기공전도도 특성에 관한 연구. 강원대학교 학술림연구지 20: 1-11.
18. Cowan, I.R. and Farquhar, G.D. 1977. Stomatal function in relation to leaf metabolism and environment. Symp. Soc. Exp. Biol. 31: 471-505.
19. Dai, Z.Y., Edwards, G.E., and Ku, M.S.B. 1992. Control of photosynthesis and stomatal conductance in Ricinus communi L. (castor bean) by leaf to air vapor pressure deficit. Plant Physiol. 99: 1426-1434.
20. Evans, J. R. 1987. The dependence of quantum yield on wavelength and growth irradiance. Aust. J. Plant Physiol. 14: 69-79.
21. Hinckley, T.M., Aslin, R.G., Aubuchon, R.R., Metcalf, C. L. and Roberts, J.E. 1978. Leaf conductance and photosynthesis in four species of the oak-hickory forest type. Forest Sci. 24: 73-84.
22. Hinckley, T.M. and Braatne, J.H. 1994. Stomata. In: Wilkinson, R.E (eds) Plant-Environment Interactions. Dekker, New York, pp 323-355.
23. Kozlowski, T.T. and Pallardy. S.G. 1997. Physiology of Woody lants. Academic Press, New York, pp411.
24. Pereira, J.S., Tenhunen, J.D. and Lange, O.L. 1987. Stomatal control of photosynthesis of Eucalyptus globulus Labill. trees under field conditions in Portugal. J. Exp. Bot. 38: 1678.