

落葉性 참나무류의 生理 · 生態的 特性(Ⅲ)¹

- 光度變化에 대한 잎의 光合成 反應 -

沈朱錫^{2*} · 韓相燮³

Ecophysiological Characteristics of Deciduous Oak Species (Ⅲ)¹

- Photosynthetic Responses of Leaves to Change of Light Intensity -

Joo-Suk Sim^{2*} and San-Sup Han³

요 약

우리나라 온대지역에 분포하는 상수리나무, 신갈나무, 졸참나무, 굴참나무의 3년생 묘목을 대상으로 광도변화에 대한 광합성속도, 증산속도, 기공전도도, 수분이용효율, 엽육세포간극의 CO₂ 농도 등을 측정하여, 이들 수종간의 생리적 특성을 비교 고찰하였다.

평균 광보상점은 졸참(35 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) > 굴참(26 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) > 상수리(23 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) > 신갈(16 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 순위였고, 광포화점은 5종 모두 1,000 ~ 1,200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 범위였다. 광포화 시 평균 순광합성속도의 크기는 상수리(14.9 $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) > 굴참(10.5 $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) > 졸참(9.18 $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) > 신갈(7.87 $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 순위였다.

상수리, 갈참, 신갈, 졸참의 기공전도도는 광도증가와 함께 직선적으로 증가했지만, 굴참은 광도 800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 포화가 나타났다. 포화광도 1,200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 기공전도도의 크기는 상수리 > 졸참 > 굴참 > 신갈 순위였다.

상수리, 신갈, 졸참의 기공증산속도는 광도가 증가함에 따라 계속적으로 증가했지만, 굴참은 광도 800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 포화가 나타났다. 포화광도 1,200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 기공증산은 상수리 > 졸참 > 굴참 > 신갈 순위였다.

수분이용효율은 광도증가와 함께 빠르게 증가하였고, 졸참과 신갈은 광도 600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 최대치에 달한 후 약간의 감소를 보였으나, 상수리는 800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 그리고 굴참은 1,200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 최대치에 달한 후 일정한 값을 유지했다.

C_i/C_a비율은 모든 수종에서 광도 600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 까지 빠르게 감소하였고, 그 이상의 광도에서는 일정한 값을 보였다. 포화광도 1,200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 C_i/C_a비율은 0.60 ~ 0.67범위였다.

ABSTRACT

This study was conducted to investigate the net photosynthesis, stomatal conductance, stomatal transpiration, water use efficiency, and intercellular CO₂ concentration in response to light change in the leaves of three year old potted seedlings of *Q. acutissima*, *Q. variabilis*, *Q. mongolica*, and *Q. serrata*.

The light compensation point was in the order; *Q. serrata* (35 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) > *Q. variabilis* (26 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) > *Q. acutissima* (23 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) > *Q. mongolica* (16 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). For all of the seedlings, the light saturation points were in from 1,000 to 1,200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. At the light saturation point, the

¹ 接受 2003年 2月 20日 Received on February 20, 2003.

審査完了 2003年 5月 12日 Accepted on May 12, 2003.

² 강원도 산림개발연구원 Gangwon Forest Research Institute, Chuncheon 200-140, Korea.

³ 강원대학교 산림과학대학 산림자원학부 Division of forest Resources, College of Forest Science, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea.

* 연락처 E-mail : joosuksim@hotmail.com

net photosynthesis rate was in the order; *Q. acutissima* ($14.9 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) > *Q. variabilis* ($10.5 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) > *Q. serrata* ($9.18 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) > *Q. mongolica* ($7.87 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

With increasing light intensity, the stomatal conductance increased linearly in *Q. acutissima*, *Q. mongolica* and *Q. serrata*, but in *Q. variabilis*, it was saturated at $800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. At $1,200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, the stomatal conductance was in the order; *Q. acutissima* > *Q. serrata* > *Q. variabilis* > *Q. mongolica*.

In *Q. acutissima*, *Q. serrata*, *Q. mongolica*, the stomatal transpiration rate increased with increasing light intensity, but in *Q. variabilis*, it was saturated at $800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. At $1,200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, the stomatal transpiration rate was in the order; *Q. acutissima* > *Q. serrata* > *Q. variabilis* > *Q. mongolica*. In the all seedlings, the water use efficiency increased rapidly with increasing light intensity, and in *Q. mongolica* and *Q. serrata*, it reached at maximal values at $600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ and then it showed a little decrease. In *Q. acutissima* and *Q. variabilis*, the water use efficiency reached at maximal values at 800 and $1,200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ respectively, and then it showed constant values.

In the all seedlings, the C_i/C_a -ratio decreased rapidly to $600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, and then it showed constant values. At $1,200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, it ranged from 0.60 to 0.67.

Key words : light compensation point, light saturation point, net photosynthesis rate, stomatal transpiration rate, stomatal conductance, water use efficiency, C_i/C_a -ratio, *Q. acutissima*, *Q. variabilis*, *Q. serrata*, *Q. mongolica*.

서 론

참나무류는 우리나라 임목축적량의 약 27%를 차지하고 있으며 재질이 좋아 용재가치가 높은 대표적인 활엽수이다. 우리나라 온대림에 분포하는 대표적인 낙엽성 참나무류는 신갈나무(*Q. mongolica*), 갈참나무(*Q. aliena*), 상수리나무(*Q. acutissima*), 굴참나무(*Q. variabilis*), 떡갈나무(*Q. denticata*), 졸참나무(*Q. serrata*) 등 6수종으로 대별된다(임업연구원, 1988, 1989, 1990; 임경빈 등, 1995; 임주훈, 1995).

낙엽성 참나무류의 생태적 분포특성을 보면 일반적으로 건조한 화강암 산림토양에서 생장이 양호하지만 자세히 관찰하면 수종간에는 분포특성이 현저한 차이를 나타낸다. 이와 같이 천연 분포지의 생태환경 차이 때문에 이들 수종간에는 잎, 줄기, 뿌리의 형태적 특성도 서로 다르며, 이로 인해 개체의 환경 적응력과 생리활동도 다른 특성을 나타낸다고 할 수 있다. 특히 잎의 형태적 특성은 광합성속도, 호흡속도, 증산속도, 그리고 기공전도도 등 생리활동에 큰 영향을 미치며, 결국 이로 인하여 수종사이에는 생장량의 차이를 나타낸다고 할 수 있다.

최근 외국에서는 참나무류의 광합성 생리특성에 관한 많은 연구가 활발히 진행되고 있으나(Hamerlynck와 Knapp, 1996a,b; Atkinson 등,

1997; Penuelas 등, 1998; Aranda 등, 2000; Kazda 등, 2000; Fotelli 등, 2000; Wilson 등, 2000; Mediavilla, 등, 2001), 우리나라에서 참나무류의 광합성 생리특성에 관한 연구로는 광합성, 수분에 대한 연구(Han와 Choi, 1986; Han과 Kim, 1989; 한상섭과 김선희, 1996), 양묘처리에 따른 생리특성 반응(권기원과 이정호, 1994), 광합성, 기공증산, 기공전도도에 관한 연구(한상섭 등, 2000; 심주석 등, 2001; 정성호 2002; 심주석과 한상섭, 2002a,b) 등이 있다.

이 연구에서는 상수리나무, 굴참나무, 신갈나무, 졸참나무 표목을 대상으로 광도변화에 대한 광합성속도, 증산속도, 기공전도도, 수분이용효율, 엽육세포간극의 CO_2 농도 등의 생리특성을 밝혀 수종간 비교 고찰하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료

실험재료는 단면적 200 cm^2 , 높이 25 cm^2 의 원형포트에 식재하여 강원도산림개발연구원 포지내에 생육시킨 3년생 상수리나무, 굴참나무, 졸참나무와 신갈나무의 표목을 사용하였으며, 측정에 사용된 시료에 대한 수고, 근원직경과 수령 등의 개황은 Table 1에 나타났다.

Table 1. Description of studied oak species. Data indicate mean values($n=3$). RCD : Root Collar Diameter.

Species	RCD (cm)	Height (m)	Age (year)
<i>Q. acutissima</i>	1.2	0.9	3
<i>Q. variabilis</i>	0.9	0.5	3
<i>Q. serrata</i>	0.7	0.4	3
<i>Q. mongolica</i>	0.7	0.5	3

2. 측정 방법

순광합성속도(net photosynthetic rate; A_{net}), 기공증산속도(stomatal transpiration rate; E), 기공전도도(stomatal conductance; gH_2O) 등의 측정은 2001년 7월 26일부터 8월 6일 사이에 개방형-휴대용 적외선 가스교환측정기(Leaf chamber analyzer; Type LCA 4, Analytical Development Corporation, Hoddesdon, Herts, UK)를 사용하여 잎챔버(PLC4(B))로 측정하였으며, 측정시 광도와 잎온도 조절은 미기후 조절장치(Leaf Microclimate Control System; Analytical Development Corporation, Hoddesdon, Herts, UK)를 사용하였다.

측정은 각 수종별로 3개체를 선발한 후 각 개체별 3개의 착생잎에 대하여 측정하였다. 단위 잎표면적당 순광합성속도, 기공증산속도와 기공전도도는 Caemmerer와 Farquhar (1981)의 식에 의해 계산되었으며, 수분이용효율의 계산은 순광합성속도를 기공증산속도로 나눈 값, 즉 $\mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$ 로 그리고 대기의 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.

결과 및 고찰

1. 순광합성속도

4종의 참나무 묘목의 광도증가에 대한 순광합성 반응곡선을 Figure 1에 나타냈다. 광보상점은 졸참나무가 $35 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로 가장 높았으며, 그 다음이 굴참나무($26 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)와 상수리나무($23 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)였으며, 신갈나무는 $16 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로 가장 낮은 광보상점을 나타냈다.

Larcher(1995)는 온대지방의 낙엽활엽수 양엽의

광보상점은 $20 \sim 50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 범위에 분포한다고 보고하였고, 또한 Hinckley 등(1978)에 따르면 광보상점은 *Quercus rubra*에서 $28 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, *Q. alba*에서 $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, *Q. velutina*에서 $32 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로 이 연구에서 측정한 광보상점의 범위와 비슷하였다. 또한 Hinckley 등(1978)은 *Quercus rubra*, *Q. alba*와 *Q. velutina*의 광포화점은 각각 400 , 500 과 $600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이라고 보고하였다. 이러한 광포화점은 이 연구에서 측정한 참나무 묘목의 광포화점($1000 \sim 1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 보다도 낮은 값이었다.

상수리나무의 최대 순광합성속도는 $14.9 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로 가장 높았으며, 그 다음이 굴참나무($10.5 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$), 졸참나무($9.18 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 그리고 신갈나무($7.87 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 순이었다. 가장 높은 순광합성속도를 나타낸 상수리나무는 굴참나무보다 1.9배 높았다.

Maruyama와 Toyama(1987)에 따르면 광포화시 졸참나무의 순광합성속도는 $10.2 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로 이 연구의 졸참나무보다 약간 높은 값이었다. Hinckley 등(1978)에 따르면 참나무류 중 white oak류의 순광합성속도는 약 $7.60 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 그리고 red oak류의 순광합성속도는 약 $6.30 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로 이 연구 참나무류의 묘목보다 낮은 값이었다.

같은 조건 하에서 자라는 수목에서는 광보상점과 광포화점이 낮을 수록 내음성이 크다고 한다

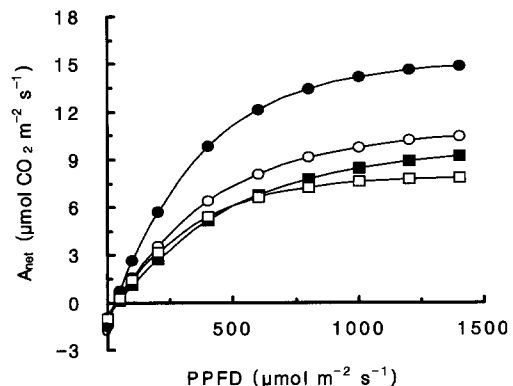


Figure 1. Effect of photosynthetic photon flux density(PPFD) on photosynthetic rate in leaves of deciduous oak seedlings (● : *Q. acutissima*, ○ : *Q. variabilis*, ■ : *Q. serrata*, □ : *Q. mongolica*) measured at 25°C leaf temperature. The symbols indicate mean values ($n=9$).

(심주석, 1990). 이러한 근거로 살펴 볼 때 다른 수종에 비해 광보상점이 낮았던 신갈나무가 다소 내음성이 크다고 할 수 있을 것이다.

2. 기공전도도

상수리나무의 기공전도도는 낮은 광도에서도 다른 수종에 비해 높은 값을 보였으며, 이것은 상수리나무가 다른 수종에 비해 광에 대한 기공반응속도가 빠르다는 것을 의미한다(Figure 2). 상수리나무, 신갈나무와 졸참나무는 광도 증가에 대한 기공전도도의 계속적으로 증가했지만, 굴참나무의 기공전도도는 광도 $800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 까지 증가하였고, 그 이상의 광도에서는 일정한 값을 보였다.

광도 $1,400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 상수리나무의 기공전도도는 약 $306 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로 가장 높았으며, 이 값은 가장 낮은 기공전도도를 나타낸 신갈나무($130 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)의 2.3배나 달하는 높은 값이었다. 신갈나무의 기공전도도는 광도 $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 측정된 상수리나무의 기공전도도와 비슷한 값이었다. 두 번째 높은 기공전도도는 졸참나무였으며, 그 다음이 굴참나무였다.

Koerner(1994)에 따르면 목본식물의 기공전도도는 $190 \sim 280 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 범위라고 한다. 이 연구에서 신갈나무만을 제외하고는 Koerner(1994)가 보고한 값과 거의 일치하는 값이었다. Faria 등(1996)은 기공단합이 순광합성속도를 제한하는 중

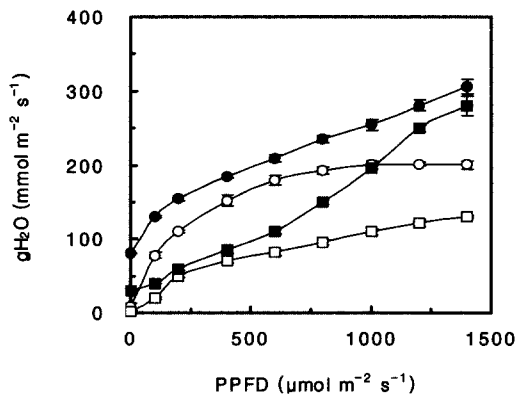


Figure 2. Effect of photosynthetic photon flux density(PPFD) on stomatal conductance in leaves of deciduous oak seedlings (●: *Q. acutissima*, ○: *Q. variabilis*, ■: *Q. serrata*, □: *Q. mongolica*) measured at 25°C leaf temperature(n=9, I: SE).

요한 인자이기 때문에 기공전도도와 순광합성속도 사이에는 정의 상관관계가 있다고 하였으며, 이에 반해 Farquhar와 Sharkey(1982)는 기공전도도와 광합성속도는 밀접한 상호관계를 갖지만, 반드시 기공전도도가 순광합성속도를 억제하는 중요한 인자는 아니라고 하였다. 이 연구결과를 토대로 살펴 보면, 광도증가에 대한 기공전도도와 순광합성속도의 반응이 서로 유사한 경향을 보여, 순광합성속도와 기공전도도와는 정의 상관관계가 있음을 알 수 있었다.

3. 기공증산속도

상수리나무, 굴참나무, 신갈나무의 기공증산속도는 광도 $400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 까지는 빠르게 증가하였으며, 그 이상의 광도에서는 증가속도가 둔화되었다(Figure 3). 이에 비해 졸참나무는 광도 증가와 함께 계속적으로 일정한 증가를 보였으며, 특히, 굴참나무의 기공증산속도는 기공전도도와 마찬가지로 광도 약 $800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 부터는 더 이상 증가하지 않았다.

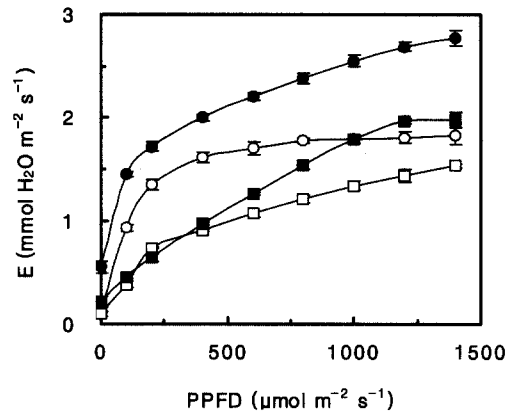


Figure 3. Effect of photosynthetic photon flux density(PPFD) on stomatal transpiration rate in leaves of deciduous oak seedlings(●: *Q. acutissima*, ○: *Q. variabilis*, ■: *Q. serrata*, □: *Q. mongolica*) measured at 25°C leaf temperature(n=9, I: SE).

광도 $400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 상수리나무의 기공증산속도는 포화광도 $1,200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 측정한 굴참나무, 졸참나무 그리고 신갈나무의 기공증산속도보다 높았으며, 광도 $1,200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 신갈나무의 기공증산속도는 상수리나무의 약 55%로 4수종 중 가장 낮았다. 이러한 결과로

불 때 상수리나무는 다른 3수종에 비해 수분요구도가 제일 높은 수종임을 알 수 있었다.

이 연구에서 측정한 4수종의 기공증산속도는 Maruyama와 Toyama(1987)가 측정 보고한 *Q. grosseserrata*($4.46 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)와 졸참나무($4.62 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)의 기공증산속도 보다도 상당히 낮은 값이었고, 또한 한상섭 등(2000)이 자연환경조건 하에서 7월말에 측정한 참나무 맹아지 잎의 기공증산속도 보다도 낮은 값이었다. 포트묘의 기공증산속도가 맹아목에 비해 낮은 이유는 포트묘가 자라는 토양이 성목의 수관하의 맹아목이 자라는 토양보다 토양수분함량의 감소폭이 더 컸을 것이고, 이러한 낮은 토양수분함량은 낮은 기공증산속도로 나타났을 것이라 생각된다.

4. 수분이용효율

졸참나무와 신갈나무의 수분이용효율은 광도 $400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 까지는 빠르게 증가하였으며, 광도 $600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 부터는 점차적으로 감소하였다(Figure 4). 이런 감소의 원인은 순광합성속도의 증가폭에 비해 기공증산속도의 증가폭인 더 큰 결과로 이 두 수종은 다른 수종에 비해 같은 광도에서 광합성을 위한 수분소비량이 상대적으로 많은 수종임을 알 수 있었다. 이에 비해 굴참나무는 광도 $600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 까지 빠르게 증가하였고, 그 이상의 광도에서는 증가폭이 둔화되었다.

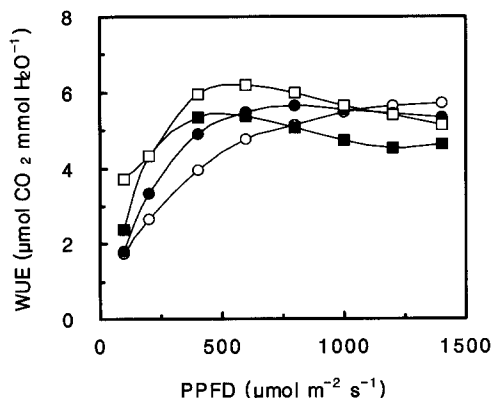


Figure 4. Effect of photosynthetic photon flux density(PPFD) on water use efficiency(WUE) in leaves of deciduous oak seedlings(●: *Q. acutissima*, ○: *Q. variabilis*, ■: *Q. serrata*, □: *Q. mongolica*) measured at 25°C leaf temperature. The symbols indicate mean values(n=9).

상수리나무는 광도 $600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 까지 빠르게 증가하다가, 광도 $800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 부터 일정한 값을 유지하였다. 광도 $1,200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 에서 수종별 수분이용효율은 굴참나무가 가장 높았고, 상수리나무와 신갈나무는 비슷한 값을 그리고 졸참나무가 가장 낮았다.

5. 대기중 CO₂ 농도에 대한 엽육세포간극의 CO₂ 농도 비율

대기 중 CO₂ 농도에 대한 엽육세포간극의 CO₂ 농도 비율(이하 C_i/C_a)은 광도증가와 함께 4 수종 모두에서 광도 $600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 까지 빠르게 감소하였으며, 광도 $800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 부터는 4수종 모두에서 일정한 값을 보였다(Figure 5). 측정광도 영역에서의 C_i/C_a 비율은 0.59 ~ 0.96, 그리고 순광합성속도의 포화광도인 $1,200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 에서는 0.60 ~ 0.67의 범위였다. 같은 대기 CO₂ 농도에서 C_i/C_a 비율이 높다는 의미는 엽육세포간극의 CO₂ 농도가 높다는 의미로 다시 말하면, 엽육세포간극의 CO₂ 이용효율이 낮다는 의미로 해석되어 질 수 있으며, 이러한 의미에서 불 때 졸참나무와 신갈나무는 다른 수종에 비해 CO₂ 이용효율이 상대적으로 낮은 수종임을 알 수 있었다.

이상의 결과를 종합해 보면, 수종간의 뚜렷한 광합성 생리활동의 차이를 알 수 있었으며, 특히 유전적 근연관계에 있는 상수리나무와 굴참나무가 다른 수종에 비해 왕성한 광합성 생리활동을

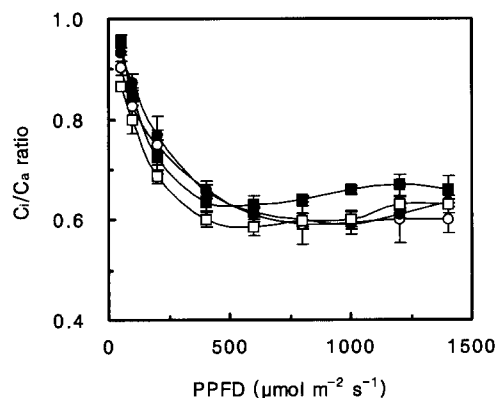


Figure 5. Effect of photosynthetic photon flux density(PPFD) on intercellular (C_i)/atmospheric CO₂ concentration(C_a) ratio of deciduous oak seedlings(●: *Q. acutissima*, ○: *Q. variabilis*, ■: *Q. serrata*, □: *Q. mongolica*) measured at 25°C leaf temperature(n=9, 1: SE).

나타냈다. 이러한 수종간의 광합성능력의 차이는 결국 수목의 생장량의 차이로 나타날 수 있을 것이다.

인 용 문 헌

- 권기원 · 이정호. 1994. 양묘처리에 따른 참나무류와 물푸레나무의 생장 및 생리특성 반응. 한국임학회지 83(2) : 164-175.
- 심주석. 1990. 물푸레나무와 들메나무엽의 광합성과 호흡의 특성. 강원대학교 대학원 석사학위논문 pp23.
- 심주석 · 한상섭 · 정성호. 2001. 수증기압결핍이 참나무류 묘목의 광합성, 증산, 기공전도도에 미치는 영향. 강원대학교 학술림연구지 21 : 1-8.
- 심주석 · 한상섭. 2002a. 낙엽성 참나무류의 생리 · 생태적 특성(I). 광합성과 기공전도도의 계절변화. 강원대학교 학술림연구지 22 : 8-14.
- 심주석 · 한상섭. 2002b. 낙엽성 참나무류의 생리 · 생태적 특성(II). 기공증산과 수분이용효율의 계절변화. 강원대학교 학술림연구지 22 : 15-21.
- 임경빈 · 민영택 · 김영모 · 한상돈 · 권혁민. 1995. 참나무. 임목육종연구소 pp187.
- 임업연구원. 1988. 참나무 자원의 종합이용 개발에 관한 연구(I). 과학기술처 pp226.
- 임업연구원. 1989. 참나무 자원의 종합이용 개발에 관한 연구(II). 과학기술처 pp307.
- 임업연구원. 1990. 참나무 자원의 종합이용 개발에 관한 연구(III). 과학기술처 pp449.
- 임주훈. 1995. 참나무와 우리문화. 참나무 학술 토론회. 숲과 문화 연구회 pp243.
- 정성호. 2002. 낙엽성 참나무류의 광합성, 기공증산, 기공전도도 특성에 관한 연구. 강원대학교 대학원 박사학위논문 pp100.
- 한상섭 · 김선희. 1996. 수목의 수분특성에 관한 생리. 생태학적 해석(IX). Heat pulse 법을 이용한 신갈나무 林分의 증산속도 측정. 한국임학회지 85 : 288-299.
- 한상섭 · 심주석 · 이수만. 2000. 낙엽성 참나무 6종의 광합성, 증산, 기공전도도 특성에 관한 연구. 강원대학교 학술림연구지 20 : 1-11.
- Aranda, I., L. Gil and J. A. Pardos. 2000. Water relations and gas exchange in *Fagus sylvatica* L. and *Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl. in a mixed stand at their southern limit of distribution in Europe. Trees 14 : 344-352.
- Atkinson, C. J., J. M. Taylor, D. Wilkins and R. Besford. 1997. Effects of elevated CO₂ on chloroplast components, gas exchange and growth of oak and cherry. Tree Physiology 17 : 319-325.
- Caemmerer, S. and G. D. Farquhar. 1981. Some relationships between the biochemistry of photosynthesis and the gas exchange of leaves. Planta 153 : 376-387.
- Faria, T., J. I. Garcia-Plazaola, A. Abadia, S. Cerasoli, J. S. Pereira and M. M. Chaves. 1996. Diurnal changes in photoprotective mechanisms in leaves of cork oak (*Quercus suber*) during summer. Tree Physiology 16 : 115-123.
- Farquhar, G. D. and T. D. Sharkey. 1982. Stomatal conductance and photosynthesis. Annual Review of Plant Physiology 33 : 317-345.
- Fotelli, M. N., K. M. Radoglou and H. I. A. Constantinidou. 2000. Water stress responses of seedlings of four Mediterranean oak species Tree Physiology 20 : 1065-1075.
- Hamerlynck, E. P. and A. K. Knapp. 1996a. Early season cuticular conductance and gas exchange in two oaks near the western edge of their range. Trees 10 : 403-409.
- Hamerlynck, E. P. and A. K. Knapp. 1996b. Photosynthetic and stomatal responses to high temperature and light in two oaks at the western limit of their range. Tree Physiology 16 : 557-565.
- Han, S. S. and H. S. Kim. 1989. Effects of light, temperature, and water stress on the photosynthesis and respiration rates of leaves in four oak species. Journal of Korean Forestry Society 78 : 151-159.
- Han, S. S. and H. S. Choi. 1986. Ecophysiological interpretations on the *Quercus grosserrata* and *Quercus acutissima* leaves. Journal of Korean Forestry Society 72 : 37-44.
- Hinckley, T. M., R. G. Aslin, R. R.

- Aubuchon, C. L. Metcalf and J. E. Roberts. 1978. Leaf conductance and photosynthesis in four species of the oak-hickory forest type. *Forest Science* 24 : 73-84.
25. Kazda, M., Salzer, J. and Reiter, I. 2000. Photosynthetic capacity in relation to nitrogen in the canopy of a *Quercus robur*, *Fraxinus angustifolia* and *Tilia cordata* flood plain forest. *Tree Physiology* 20 : 1029-1037.
 26. Koerner, C. H. 1994. Leaf diffusive conductances in the major vegetation types of the globe. In : Schulze E-D, Caldwell M. M (eds.) *Ecophysiology of Photosynthesis* (Ecological Studies, vol. 100). Springer, Berlin, pp463-490.
 27. Larcher, W. 1995. *Physiological Plant Ecology*. Springer, Berlin, pp506.
 28. Maruyama, K. and Y. Toyama. 1987. Effect of water stress on photosynthesis and transpiration in three tall deciduous trees. *Journal of Japanese Forest Society* 69 : 165-170.
 29. Mediavilla, S., A. Escudero and H. Heilmeyer. 2001. Internal leaf anatomy and photosynthetic resource use efficiency : interspecific and intraspecific comparisons. *Tree Physiology* 21 : 251-259.
 30. Penuelas, J., I. Filella, J. Llusia, D. Siscart and J. Pinol. 1998. Comparative field study of spring and summer leaf gas exchange and photobiology of the mediterranean trees *Quercus ilex* and *Phillyrea latifolia*. *Journal of Experimental Botany* 319 : 229-238.
 31. Wilson, K. B., D. D. Baldocchi and P. J. Hanson. 2000. Quantifying stomatal and non-stomatal limitations to carbon assimilation resulting from leaf aging and drought in mature deciduous tree species. *Tree Physiology* 20 : 787-797.