

제주도 자생 참나무과 식물의 대기 중 CO₂ 흡수 능력의 비교분석

오순자 · 신창훈¹⁾ · 김철수¹⁾ · 강희석¹⁾ · 강경민¹⁾ · 양윤희^{1,2)} · 고석찬^{2)*}

자연교육연구소, ¹⁾한라산연구소, ²⁾제주대학교 생물학과
(2011년 10월 18일 접수; 2011년 11월 21일 수정; 2011년 12월 22일 채택)

Analysis of CO₂ Fixation Capacity in Leaves of Ten Species in the Family Fagaceae

Soonja Oh, Chang-Hoon Shin¹⁾, Chul Soo Kim¹⁾, Hee Suk Kang¹⁾, Kyeng Min Kang¹⁾,
Yun Hi Yang^{1,2)}, Seok Chan Koh^{2)*}

Institute for Field Science Education and Research, Jeju 690-140, Korea

¹⁾Research Institute for Hallasan, Jeju Special Self-Governing Province, Jeju 690-816, Korea

²⁾Department of Biology, Jeju National University, Jeju 690-756, Korea

(Manuscript received 18 October, 2011; revised 21 November, 2011; accepted 22 December, 2011)

Abstract

The rate of photosynthesis (A) of leaves from 10 plant species (6 evergreen and 4 deciduous) of the family Fagaceae was measured using a portable photosynthesis analyzer, to examine which species take up CO₂ most efficiently. Of the evergreen species, the photosynthetic rate of *Castanopsis cuspidata* var. *sieboldii* was highest, and remained above 82.1~106.4 μmol kg⁻¹s⁻¹ from July to November. Of the deciduous species, the photosynthetic rate of *Quercus acutissima* was higher than that of the other three species, and remained high at 83.5~116.6 μmol kg⁻¹s⁻¹ from September to November. The photosynthetic rate of the 10 species was positively correlated with stomatal conductance (gs) and transpiration rate (E). However, there was no correlation between photosynthetic rate and intercellular CO₂ concentration (C_i), although there was a positive correlation just in three species (*Q. gilva*, *Q. acutissima* and *Q. glauca*). These results suggest that the CO₂ fixation capacity of *C. cuspidata* var. *sieboldii*, an evergreen species, and *Q. acutissima*, a deciduous species, is significantly higher than that of the other species examined, and that photosynthesis is regulated by both stomatal conductance and transpiration. Therefore, *C. cuspidata* var. *sieboldii* and *Q. acutissima* may be valuable for the evaluation of carbon uptake in urban green spaces as well as in afforested areas.

Key Words : Fagaceae, Photosynthetic rate, *Castanopsis cuspidata* var. *sieboldii*, *Quercus acutissima*, CO₂ fixation capacity

1. 서론

산업혁명 이후 화석연료 사용의 증가, 삼림의 훼손 및 전용에 따른 손실 등 다양한 산업활동의 영향으로

대기 중의 CO₂ 농도는 계속 증가하였다. 대기 중 CO₂의 함량은 1850년에 약 280 ppm이었으나 산업혁명 이후 계속 증가하여 현재는 약 375 ppm이며, 앞으로도 인구증가와 경제활동의 가속화로 인해 CO₂ 방출량은 지속적으로 증가할 것으로 보인다(IPCC, 2007).

지구온난화의 원인이 되는 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O), 수소불화탄소(HFCs), 육불

*Corresponding author : Seok Chan Koh, Department of Biology, Jeju National University, Jeju 690-756, Korea
Phone: +82-64-754-3528
E-mail: sckoh@jejunu.ac.kr

화황(SF₆) 등은 국가경제의 원동력인 산업활동과 우리의 일상생활과 밀접하게 연관되어 대기 중으로 배출되고 있다(Ciborowski, 1989; Ramanathan, 1989). 특히, 지구온난화의 약 60% 이상이 CO₂에 의한 것임을 볼 때, 탄소저장원인 산림의 훼손 및 전용은 지구온난화를 가중시키는 주요 요인 중 하나라고 할 수 있다(Ciborowski, 1989; Rodhe, 1990). 따라서 대기 중의 CO₂ 농도를 효율적으로 조절할 수 있는 대책이 필요하며, 식물의 광합성 작용을 이용한 CO₂ 저감이 가장 근본적인 대책 중에 하나이다. 국가마다 정도의 차이는 있으나 CO₂의 배출량을 줄이기 위해 엄청난 연구비를 투자하여 온실가스 배출의 감축 및 흡수원에 의한 저감 대책을 추진하고 있으며 이를 위해 국가차원의 대응체제를 구축하고 있다. 특히 선진국에서는 온실효과를 유발하는 주요 원인인 CO₂의 배출을 감축하는 기술뿐만 아니라 산림, 토양 등 CO₂ 흡수원에 대하여 많은 연구를 수행하고 있다. 현재 우리나라에서도 온실가스 흡수증진을 위한 산림관리기법, 목질계 바이오매스 에너지 이용 등과 같이 산림 탄소흡수원의 관리를 통한 온실가스 흡수 증진과 관련된 연구가 진행되고 있다(Jo, 2002; Lee 등, 2009).

한반도는 1,500mm 이상의 강수량과 계절에 따라 뚜렷한 기온변화가 존재하여 냉온대성 낙엽활엽수림이 한반도 전체에 걸쳐서 발달하고 있으며, 남해안과 일부 도서지방을 중심으로 상록활엽수림이 제한적으로 발달하고 있다(Kim, 1992). 참나무류는 다른 수종보다 훨씬 넓은 면적을 차지하고 있으며, 왕성한 맹아력과 척박한 지역에서도 높은 생산성을 가지고 있어 우리나라 산림의 이차림은 참나무류가 우점하는 산림이 일반적이다(Song, 2007). 이러한 측면에서 한반도 산림의 우점종인 참나무류를 대상으로 광합성에 의한 CO₂ 흡수능을 측정하여 탄소흡수원으로서의 가치를 평가하는 것은 의미있는 연구라고 할 수 있다.

따라서 본 연구는 제주지역에 자생하는 참나무과 식물 10종(상록성 교목 6종과 낙엽성 교목 4종)을 대상으로 광합성에 의한 CO₂ 흡수능을 조사하여 대기 중의 CO₂를 효율적으로 저감시킬 수 있는 수목을 선별하고자 실시하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 식물재료

본 연구에서는 한라수목원에 식재되어 있는 참나무과 식물 중에 상록성 교목 6종과 낙엽성 교목 4종을 대상으로 조사하였다. 상록성 수종으로 구실잣밤나무(*C. cuspidata* var. *sieboldii* Nakai; DBH 40.3±6.5 cm), 붉가시나무(*Q. acuta* Thunb.; DBH 35.0±5.5 cm), 개가시나무(*Q. gilva* Bl.; DBH 5.8±0.7 cm), 종가시나무(*Q. glauca* Thunb.; DBH 26.0±2.0 cm), 가시나무(*Q. myrsinaefolia* Bl.; DBH 25.4±3.0 cm), 참가시나무(*Q. salicina* Bl.; DBH 28.9±2.6 cm)를, 낙엽성 수종으로 상수리나무(*Q. acutissima* Carruth.; DBH 29.2±9.7 cm), 떡갈나무(*Q. dentata* Thunb.; DBH 23.2±4.8 cm), 신갈나무(*Q. mongolica* Fisch.; DBH 35.4±6.4 cm), 졸참나무(*Q. serrata* Thunb.; DBH 27.5±1.9 cm)를 선정하였다. 실험에 사용한 잎은 수관의 상층부에 달려있고 외부로 노출되어 자연광을 받는 잎 중에서 계절별로 각 수종의 잎 색깔이 비슷하고 균일한 상태의 잎을 선정하여 실험재료로 사용하였다.

2.2. 환경요인 조사

온도, 상대습도 및 강우량은 제주 기상청에서 조사 기간(2010년 4월 1일~2011년 4월 31일) 동안의 측정 자료를 사용하였다. 그리고 CO₂ 고정률 측정 당시의 습도와 각 식물의 엽 온도는 CO₂ 가스 분석장치(LCpro⁺ Portable Photosynthesis System, ADC BioScientific Ltd., UK)에 부착된 센서를 이용하여 4회 반복 측정하였다.

2.3. CO₂ 고정률의 측정

CO₂ 고정률(A)은 운반형 CO₂ 가스 분석장치를 사용하여 각 계절별로 맑은 날 오전 9시부터 13시 사이에 4회 반복으로 측정하였으며, 엽육 내 CO₂ 농도(C_i), 기공전도도(gs), 증산율(E) 등도 함께 조사하였다. 잎 챔버로 유입되는 공기는 4 m 높이의 대기 유입안테나를 사용하여 220 mol m⁻²s⁻¹의 유속으로 공급하였으며, 잎 챔버 내 CO₂ 농도가 대기의 CO₂ 농도와 비슷해지면 식물 잎을 잎 챔버에 물렸다. 챔버 속의 잎은 2분간 암상태에서 적응시킨 후 1,600 μmole m⁻²s⁻¹의 포화광을 2분간 조사하여 엽면적당 CO₂ 고정률을 측정하였

다. 그리고 엽면적당 CO₂ 고정률을 바탕으로 각 식물 종들의 엽면적과 엽건체량을 이용하여 엽건체량 당 CO₂ 고정률을 산출하였다.

2.4. 엽면적 및 건체량 측정

엽면적은 CO₂ 고정률을 측정한 후, 각각의 잎을 엽면적 측정기(LI-3000 Portable Area Meter, LI-COR Inc., Lincoln, NE, USA)를 이용하여 측정하였다. 그리고, 각각의 잎은 실험실로 옮겨와 60℃ 건조기에서 5일간 건조시킨 후 건체량을 측정하였다.

2.5. 통계분석

CO₂ 고정률(A)과 기공전도도(gs), 증산률(E), 엽육 내 CO₂ 농도(Ci) 및 환경요인(엽온, 습도) 등과의 관계를 Pearson 상관분석을 통하여 분석하고, 상관분석에서 유의성을 보이는 변수 간에는 선형 및 비선형 회귀 분석을 다양하게 시도하여 가장 적합한 회귀식을 결정하였다. 모든 통계분석은 SPSS 통계 package (SPSS Inc., Release 7.5)를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

식물은 동일 종이라도 생육 환경에 따라 형태적 또는 생리적 특성 등 성장 상태가 크게 달라진다. 더욱이 광합성 능력은 온도, 습도 등의 기상 환경의 일시적 변화에 따라서도 크게 달라진다(Oh와 Koh, 2004). 본 연구를 수행하는 기간 동안의 제주지역 기상자료를 분석해 보면 (Fig. 1), 기온은 8월에 월평균 28.8℃(최저온도 26.4℃, 최고온도 32.1℃)로 가장 높았으며, 7월부터 9월까지의 월평균 온도가 25℃를 상회하였다. 10월 초순부터 기온이 20℃ 이하로 점차 낮아지면서 12월부터는 월평균 온도가 10℃ 이하로 현저히 낮아졌다. 특히, 1월에 월평균 온도가 2.3℃(최저온도 0.7℃, 최고온도 4.1℃)로 가장 낮았고, 10℃이하인 기간이 4개월(12월, 1~3월)이나 되었다. 강수량은 여름철에 높고 강우의 빈도도 7~9월에 집중되어 있다. 이에 반해 11월부터 4월까지의 6개월간은 강우의 빈도도 낮고 극히 적은 양의 강수량만을 기록하고 있다. 상대습도는 월별에 관계없이 대부분이 60% 이상을 유지하였으며, 특히 기온이 높게 상승하여 대기의 수증기 요구도가 큰 여름철(6~9월)에는 기온 상승에도

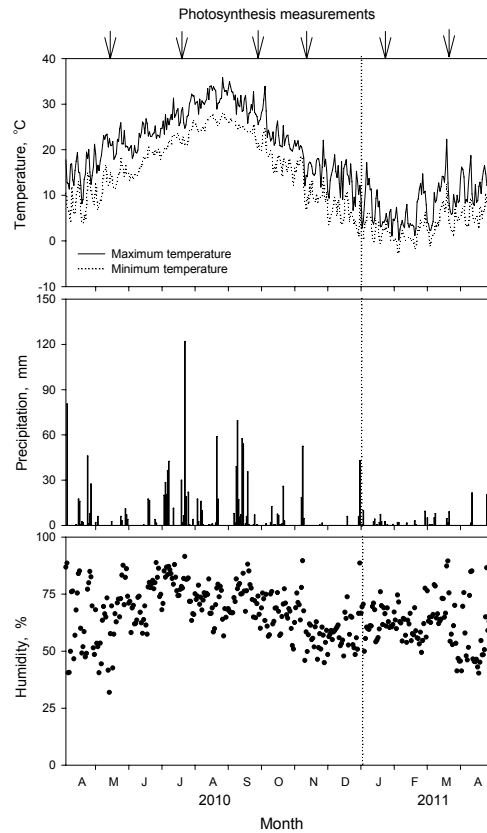


Fig. 1. Seasonal changes of air temperature, precipitation and relative humidity determined from 2010 to 2011 in the Jeju meteorological station. Data were represented as the daily averages. Solid and dotted lines in temperature represent maximum and minimum temperature, respectively. The arrows indicate the days when photosynthetic rate was measured in the leaves of 10 plant species of Fagaceae.

불구하고 집중적인 강우로 인해 월평균 70% 이상의 비교적 높은 상대습도를 유지하였다. 반면, 11월에서 이듬해 2월까지의 강우량이 적을 뿐만 아니라 70% 이하의 낮은 상대습도를 나타내었다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 제주지역 기상 요인 중에 온도가 겨울철에 뚜렷하게 낮아지고 있고 그 변화폭이 크며, 10℃ 이하의 온도를 보이는 기간이 많을 뿐만 아니라 이 기간에 강우량이 적어 저온 스트레스와 더불어 수분 스트레스 발생이 예상된다. 또한 이 기간 동안 일평균 기온은

대부분 0°C 이상이지만 영하의 기온을 나타낼 때도 있어, 겨울철 동안 수분스트레스가 발생하기 쉬울 뿐만 아니라, 저온에 의한 상해를 입을 가능성을 보여주고 있다.

참나무과 식물 중 상록성 교목 6종(구실잣밤나무, 가시나무, 개가시나무, 붉가시나무, 종가시나무, 참가시나무)과 낙엽성 교목 4종(떡갈나무, 상수리나무, 신갈나무, 졸참나무)을 대상으로 월별 엽면체량 당 CO₂ 고정률을 살펴보았다(Fig. 2). 먼저, 상록성 교목 6종을 대상으로 CO₂ 고정률을 비교해보면, 구실잣밤나무

가 다른 5종에 비해 계절에 관계없이 가장 높았다(Fig. 2A). 그리고, 종가시나무, 참가시나무, 붉가시나무와 개가시나무는 계절에 따라 다소의 차이가 있지만 대체로 유사하였다. 계절별로 양적인 차이는 있으나 6종 모두 9월과 11월에 높은 CO₂ 고정률을 보였고, 겨울철인 1월에는 큰 폭으로 감소하였다. 엽면체량 당 CO₂ 고정률은 다른 5종에 비해 구실잣밤나무가 가장 높아 7월부터 11월까지 82.1~106.4 $\mu\text{mol kg}^{-1}\text{s}^{-1}$ 로 나타났으며, 참가시나무도 5월 이후 11월까지 꾸준하게 50 μ

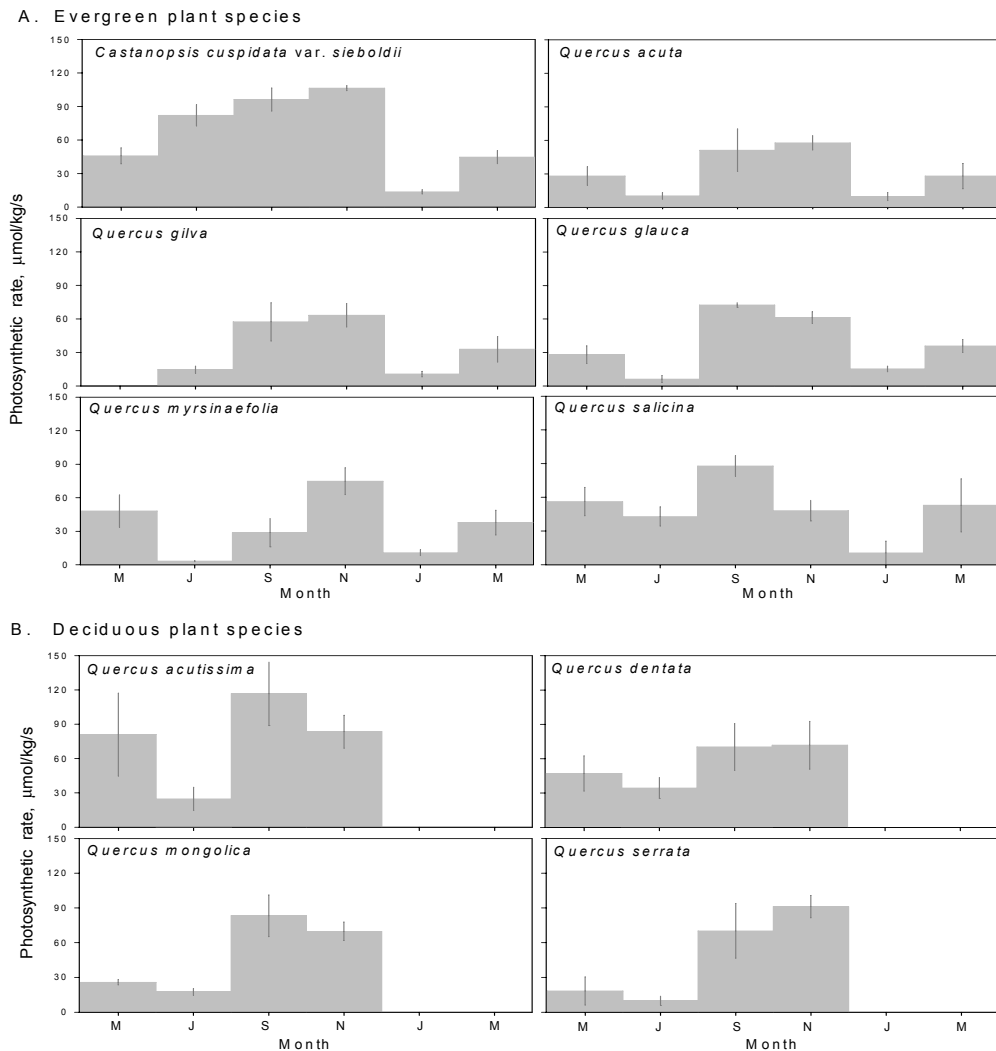


Fig. 2. Photosynthetic rate of the leaves of 6 evergreen (A) and 4 deciduous (B) plant species in the family Fagaceae. Data represent the mean (\pm SE) of four replicates.

mol kg⁻¹s⁻¹의 비교적 높은 CO₂ 고정률을 보였다. 다른 수종도 엽면체량 당 CO₂ 고정률이 5~7월 보다 9~11월에 더 높았으며, 1월에 급격히 감소하였다. 이는 Fig. 1에서 살펴본 바와 같이 겨울철 온도의 저하에 따른 저온 스트레스와 더불어 이 기간의 낮은 강우량으로 수분 스트레스가 가해져 상록활엽수에 영향을 미친 것으로 보인다. Ogaya와 Peñuelas(2003)의 연구 결과에 의하면, *Q. ilex* L.의 경우 엽면적당 CO₂ 고정률은 봄철이나 여름철보다 가을철과 겨울철에 더 효율적으로 고정하지만, 이 식물보다 저온에 민감한 수종인 *Phillyrea latifolia*는 여름철에 높고 가을과 겨울에 크게 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 사실로 보아 본 연구에 사용된 상록성 참나무과 식물들의 엽면체량 당 CO₂ 고정률이 겨울철인 1월에 크게 감소한 것은 *P. latifolia*처럼 저온의 영향 때문인 것으로 보인다. 상록성 참나무과 식물의 엽면체량 당 CO₂ 고정률은 식물종에 따라 차이를 보이지만 계절별로 살펴보면 대부분의 식물들이 봄철(5월)과 여름철(7월)보다 가을철(9~11월)에 대기 중의 CO₂를 더 효율적으로 고정하는 것으로 나타났다. 그리고 겨울철(1월)에 큰 폭으로 감소하였다가 봄철(3월)에 다시 증가하는 패턴을 보여 낮은 기온과 관련이 있을 것으로 보인다. *Q. ilex* subsp. *ballota*는 겨울철에 CO₂ 고정률이 큰 폭으로 감소되었다가 봄철에 완전히 회복되는 것으로 보고되었으며(Corcuera 등, 2005), *Q. ilex* subsp. *ilex*와 침엽수인 *Picea abies*에서도 겨울철 저온 이후에 CO₂ 고정률이 회복되는 것으로 보고된 바 있다(Gratani 등, 1998; Westin 등, 1995). 저온은 광합성 활성을 제한하는 매우 중요한 환경요인 중에 하나이며(Larcher, 2000), *Q. ilex* L.는 6°C 이하의 온도에서 최대 CO₂ 고정률이 50% 이상 감소하는 것으로 보고되었다(Gratani 등, 2000). 본 연구에 사용된 상록성 참나무과 식물들도 Fig. 2에서 살펴본 바와 같이 겨울철인 1월에 CO₂ 고정률이 크게 낮아졌으며, Fig. 1의 기상 조건으로부터 판단해 볼 때 겨울철 온도가 10°C 이하로 낮아져 저온의 영향에 기인한 것으로 보인다. 구실잣밤나무와는 달리 붉가시나무, 종가시나무, 가시나무에서는 7월에 CO₂ 고정률이 감소하였으며, 이때의 CO₂ 고정률은 겨울철보다 낮거나 유사한 양상을 보였다. 식물체의 생장과 발달에는 최적의 환경조건

이 필요하며 이 범위를 벗어나면 식물체에 스트레스로 작용하게 되는데, 이들 수종들은 온대기후 지역을 대표하는 수종으로 여름철(7월) CO₂ 고정률의 감소는 Fig. 1에서 살펴본 바와 같이 기온의 상승과 더불어 낮 시간의 고풍에 의한 광억제의 결과로 사료된다. 이는 *Q. ilex* L.와 *P. latifolia*의 잎에서 여름철 낮시간에 고온과 빛에 의해 최대 CO₂ 고정률과 광계II의 광화학적 효율, 즉 Fv/Fm값이 크게 낮아졌다는 사실로부터 유추해 볼 수 있다(Ogaya와 Peñuelas, 2003). 특히 *Q. ilex* L.는 14~28°C 범위에서 최대 CO₂ 고정률을 보이며, 6°C 이하의 온도나 37°C 이상의 온도에서는 최대 CO₂ 고정률이 50% 이상 감소하는 것으로 보고되었다(Gratani 등, 2000). 또한 *Q. pubescens*에서도 엽온이 25°C에서 최대 CO₂ 고정률을 보이고, 30°C 이상의 온도에서는 급격하게 감소하는 것으로 보고된 바 있다(Haldimann과 Feller, 2004). 최근 한반도를 포함한 전 지구적인 기후변화 현상으로 이상 고온, 가뭄, 홍수 등이 발생하여 자연 생태계와 인간에게 심각한 영향을 미치고 있다. 따라서, 본 실험에 사용된 수종들도 이상 고온이나 겨울철 저온과 같은 온도의 계절적 변화에 의해서 영향을 받을 수밖에 없으며, 식물종의 보전 전략 및 지구 온난화에 의한 영향을 최소화하기 위해서는 온도 등 서식지 환경변화에 대한 식물의 반응을 체계적으로 연구할 필요가 있을 것으로 보인다.

낙엽성 교목 4종을 대상으로 CO₂ 고정률을 비교해 보면, 상수리나무가 다른 3종의 식물에 비해 더 효율적으로 CO₂를 고정하는 것으로 나타났다(Fig. 2B) 즉, 엽면체량 당 CO₂ 고정률은 상수리나무가 가장 높아 9~11월에 83.5~116.6 μmol kg⁻¹s⁻¹로 나타났으며, Fig. 2A의 상록성 수종인 구실잣밤나무의 엽면체량 당 CO₂ 고정률과 비슷한 값을 보여주었다. 그리고, 졸참나무는 11월에 91.1 μmol kg⁻¹s⁻¹의 CO₂ 고정률을 보였으며, 신갈나무와 떡갈나무는 9~11월에 각각 69.8~83.2 μmol kg⁻¹s⁻¹와 70.2~71.8 μmol kg⁻¹s⁻¹의 비교적 높은 CO₂ 고정률을 나타내었다. 또한 낙엽성 교목 4종에서도 7월에 CO₂ 고정률이 현저하게 낮아 상록성 식물과 같이 여름철 기온의 상승과 낮시간의 고풍에 의한 광억제의 결과로 사료된다. 즉, 여름철 CO₂ 고정률의 저하는 낙엽교목인 낙우송, 메타세쿼이아, 은행나무에서 CO₂ 고정률의 계절적 변화에서도

유사한 결과를 보였으며(Royer 등, 2005), *Q. pubescens*에서도 여름철 낮시간에 최대 CO₂ 고정률과 Fv/Fm값이 크게 저하되는 것으로 보고된 바 있다(Damesin과 Rambal, 1995). 상수리나무는 양지바른 산기슭에 자생하는 낙엽활엽수의 대표적인 수종으로 제주도에서부터 함경도까지 우리나라 전역에 분포하고 있으며, 내건성, 내한성, 내음성이 강하여 인가 및 도로변 산지 일대에서 쉽게 접할 수 있다. 본 연구에서 상수리나무의 CO₂ 고정률이 다른 3종의 낙엽성 식물에 비해 높을 뿐만 아니라 상록성 수종인 구실잣밤나무와 유사하여 대기 중 CO₂ 저감 전략 차원에서도 이에 대한 체계적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

CO₂ 고정률(A)과 기공전도도(gs), 증산률(E), 엽육내 CO₂ 농도(C_i)와의 관련성을 조사한 바, 모든 종에서 CO₂ 고정률이 기공전도도와 증산률과는 1% 수준에서 고도의 유의성이 인정되는 정의 상관관계를 보였다(Table 1). 그러나 CO₂ 고정률과 엽육내 CO₂ 농도와의 관련성은 상록성 식물에서는 개가시나무와 종가시나무에서 각각 1%와 5% 수준에서 유의성이 인정되었으며, 낙엽성 식물에서는 상수리나무만이 1% 수준에서 유의성이 인정되었다. CO₂ 고정률과 엽육과의 관련성을 살펴보면, 상록성 식물에서는 개가시나무와 가시나무가, 그리고 낙엽성 식물에서는 졸참나무에서 엽육과 유의성이 있는 음의 상관관계를 보였

으며, 종가시나무에서는 정의 상관관계를 보였다. 그리고 습도와는 가시나무, 신갈나무, 졸참나무 3종만이 5% 수준에서 유의성이 있는 음의 상관관계를 보였다.

CO₂ 고정률과 증산률과의 관련성을 추정하기 위해 회귀분석을 한 결과, 상록성 식물과 낙엽성 식물 모두 2차곡선 회귀식으로 나타낼 수 있으며, 유의성이 인정되었다(Fig. 3). CO₂ 고정률과 증산률과의 관계는 상록성 식물에서는 $y = -0.1514x^2 + 7.2201x + 0.9561$ ($r^2 = 0.715$)로, 낙엽성 식물에서는 $y = -0.0631x^2 + 5.5433x + 10.0770$ ($r^2 = 0.793$)으로 나타났으며, CO₂ 고정률이 증산률과 밀접한 관련이 있음을 알 수 있다. CO₂ 고정률과 기공전도도와의 관련성을 추정하기 위해 회귀분석을 한 결과, 상록성 식물과 낙엽성 식물 모두 2차곡선 회귀식으로 나타낼 수 있으며, 유의성이 인정되었다(Fig. 4). 상록성 식물에서 CO₂ 고정률과 기공전도도와의 관계는 $y = -12.372x^2 + 65.5512x + 6.6987$ ($r^2 = 0.775$)로, 낙엽성 식물에서는 $y = -8.4940x^2 + 58.7410x + 16.1754$ ($r^2 = 0.796$)로 기공전도도가 증가하면 CO₂ 고정률도 증가하는 경향을 보여 기공전도도가 CO₂ 고정률에 크게 관여하고 있음을 알 수 있다.

이상의 결과를 토대로 제주지역에 자생하는 10종의 참나무과 식물 중에 상록성 수종에서는 구실잣밤나무가, 낙엽성 수종에서는 상수리나무가 다른 종에 비해 CO₂ 흡수능이 더 높은 것으로 보이며, 기후 변화

Table 1. Correlation of photosynthetic rate (A) to environmental factors (e_{ref} , T_{leaf}) and the other photosynthetic parameters (C_i, E and gs) in the leaves of plants in the family Fagaceae

Species	e_{ref}	T_{leaf}	C _i	E	gs
구실잣밤나무 (<i>Castanopsis cuspidata</i> var. <i>sieboldii</i> Nakai)	0.377	0.373	0.265	0.775**	0.934**
붉가시나무 (<i>Quercus acuta</i> Thunb.)	-0.192	-0.121	-0.425	0.853**	0.868**
개가시나무 (<i>Quercus gilva</i> Bl.)	-0.296	-0.456*	0.622**	0.939**	0.942**
종가시나무 (<i>Quercus glauca</i> Thunb.)	-0.370	0.438*	0.538*	0.933**	0.906**
가시나무 (<i>Quercus myrsinaefolia</i> Bl.)	-0.478*	-0.595**	0.116	0.734**	0.734**
참가시나무 (<i>Quercus salicina</i> Bl.)	0.131	0.043	-0.209	0.694**	0.748**
상수리나무 (<i>Quercus acutissima</i> Carruth.)	-0.491	-0.467	0.655**	0.928**	0.923**
떡갈나무 (<i>Quercus dentata</i> Thunb.)	-0.363	-0.345	0.287	0.876**	0.819**
신갈나무 (<i>Quercus mongolica</i> Fisch.)	-0.534*	-0.469	0.126	0.831**	0.829**
졸참나무 (<i>Quercus serrata</i> Thunb.)	-0.624*	-0.556*	0.096	0.938**	0.904**

** indicates the significance at the level of 0.01, * indicates the significance at the level of 0.05.

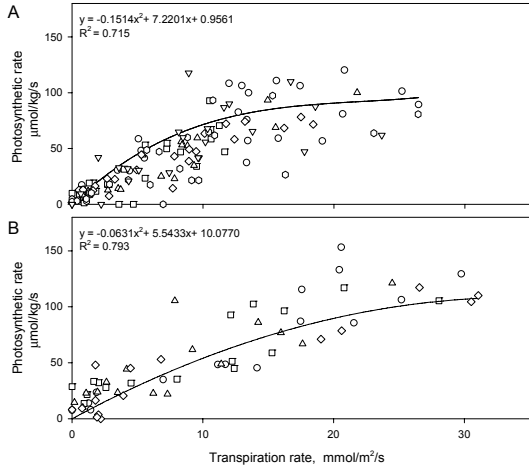


Fig. 3. Regression plots of transpiration rate (E) vs. photosynthetic rate (A) in the leaves from evergreen (A) and deciduous plants (B) in the family Fagaceae.

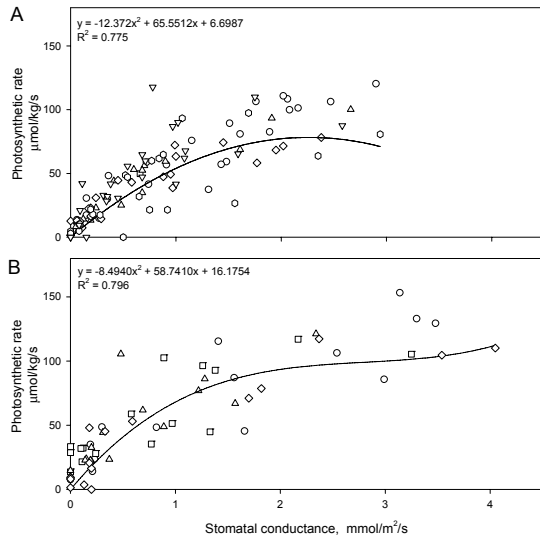


Fig. 4. Regression plots of stomatal conductance (gs) vs. photosynthetic rate (A) in the leaves from evergreen (A) and deciduous plants (B) in the family Fagaceae.

대응차원에서 가치가 있음을 시사한다고 할 수 있다. 구실잣밤나무는 현재 붉가시나무 다음으로 많은 면적을 차지하고 있는 난대 수종으로 제주도, 완도 등에 자생하고 있다. 엽건체량 당 CO₂ 고정률이 다른 수종보다 월등히 높고, 다른 수종과는 달리 여름철에도 CO₂

고정률의 감소가 없기 때문에 자연 생태계 내에서도 구실잣밤나무의 CO₂ 고정 효과가 큰 비중을 차지할 것으로 보인다. 또한 상수리나무도 낙엽성 수종이기는 하지만 상록성 수종인 구실잣밤나무와 유사한 CO₂ 고정률을 보이고, 제주도에서부터 함경도까지 우리나라 전역에 분포하고 있어 그 가치는 높다고 할 수 있다. 따라서 이들 수종을 조림수, 녹화수 등으로 식재하는 등 대기 중의 CO₂를 효율적으로 저감시킬 수 있는 수목으로의 가치를 체계적으로 활용할 필요가 있을 것으로 보인다.

4. 결론

본 연구는 제주지역에 자생하는 참나무과 식물 10종(상록성 교목 6종과 낙엽성 교목 4종)을 대상으로 광합성에 의한 CO₂ 흡수능을 조사하여 대기 중의 CO₂를 효율적으로 저감시킬 수 있는 수목을 선별하고자 실시하였다. CO₂ 고정률(A)은 상록성 식물 중에서는 구실잣밤나무(*C. cuspidata* var. *sieboldii*)가 가장 높아서 7~11월 동안 82.1~106.4 μmol kg⁻¹s⁻¹을 나타냈으며, 낙엽성 식물에서는 상수리나무(*Q. acutissima*)가 가장 높아 9~11월에 83.5~116.6 μmol kg⁻¹s⁻¹로 나타났다. CO₂ 고정률(A)과 기공전도도(gs), 증산률(E), 엽육 내 CO₂ 농도(C_i)와의 관련성을 조사한 바, 모든 종에서 CO₂ 고정률이 기공전도도와 증산률과는 1% 수준에서 정의 상관관계를 보였다. 그러나 CO₂ 고정률과 엽육 내 CO₂ 농도와의 관련성은 개가시나무(*Q. gilva*), 상수리나무(*Q. acutissima*), 종가시나무(*Q. glauca*)를 제외한 모든 종에서 유의성이 없는 것으로 나타났다. 이상의 결과는 제주 지역에 자생하는 참나무과 식물 10종 중에 상록성 수종으로는 구실잣밤나무가, 낙엽성 수종으로는 상수리나무가 다른 종들에 비해 CO₂ 흡수능이 더 높다는 것을 나타내 주고 있으며, 참나무과 식물의 CO₂ 흡수능은 기공전도도와 증산률에 크게 의존하고 있음을 알 수 있다. 이러한 결과로부터 구실잣밤나무나 상수리나무 등을 조림수, 녹화수 등으로 식재하여 대기 중의 CO₂를 효율적으로 저감시킬 수 있는 수목으로의 가치를 활용할 필요가 있을 것으로 보인다.

참 고 문 헌

- Ciborowski, P., 1989, Sources, sinks, trends, and opportunities, in: Abrahamson, D. E. (ed.), The Challenge of Global Warming, Island Press, Washington, D.C., 213-230.
- Corcuera, L., Morales, F., Abadía, A., Gil-Pelegrín, E., 2005, Seasonal changes in photosynthesis and photoprotection in a *Quercus ilex* subsp. *ballota* woodland located in its upper altitudinal extreme in the Iberian Peninsula, *Tree Physiol.*, 25, 599-608.
- Damesin, C., Rambal, S., 1995, Field study of leaf photosynthetic performance by a Mediterranean deciduous oak tree (*Quercus pubescens*) during a severe summer drought, *New Phytol.*, 131, 159-167.
- Gratani, L., Pesoli, P., Crescente, M. F., 1998, Relationship between photosynthetic activity and chlorophyll content in an isolated *Quercus ilex* L. tree during the year, *Photosynthetica*, 35, 445-451.
- Gratani, L., Pesoli, P., Crescente, M. F., Aichner, K., Larcher, W., 2000, Photosynthesis as a temperature indicator in *Quercus ilex* L., *Global Planet. Change*, 24, 153-163.
- Haldemann, P., Feller, U., 2004, Inhibition of photosynthesis by high temperature in oak (*Quercus pubescens* L.) leaves growth under natural conditions closely correlates with a reversible heat-dependent reduction of the activation state of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase, *Plant, Cell and Environ.*, 27, 1169-1183.
- IPCC, 2007, Climate change 2007: Mitigation of climate change, Contribution working group shos contribution to the fourth assessment report of the Intergovernmental panel on climate change, Cambridge University Press, Cambridge, New York, U.S.A., 176.
- Jo, H. K., 2002, Impacts of urban greenspace on offsetting carbon emissions for middle Korea, *J. Environ. Manag.*, 64, 115-126.
- Kim, J. W., 1992, Vegetation of Northeast Asia. on the syntaxonomy and syngelography of the oak and beech forests, Ph. D. Dissertation, Wien University, Vienna, Austria.
- Larcher, W., 2000, Temperature stress and survival ability of Mediterranean sclerophyllous plants, *Plant Biosyst.*, 134(3), 279-295.
- Lee, S. K., Son, Y. W., Noh, N. J., Heo, S. J., Yoon, T. K., Lee, A. R., Sarah, A. R., Lee, W. K., 2009, Carbon storage of natural pine and oak pure and mixed forests in Hoengseong, Kangwon, *J. Korean For. Soc.*, 98(6), 772-779 (written in Korean with English abstract).
- Ogaya, R., Peñuelas, J., 2003, Comparative seasonal gas exchange and chlorophyll fluorescence of two dominant woody species in a Holm Oak Forest, *Flora*, 198, 132-141.
- Oh, S. J., Koh, S. C., 2004, Chlorophyll fluorescence and antioxidative enzyme activity of *Crinum* leaves exposed to natural environmental stress in winter, *Korean J. Environ. Biol.*, 22(1), 233-241 (written in Korean with English abstract).
- Ramanathan, V., 1989, Observed increases in greenhouse gases and predicted climatic changes, in: Abrahamson, D. E. (ed.), The Challenge of Global Warming, Island Press, Washington, D.C., 239-247.
- Rodhe, H., 1990, A comparison of the contributions of various gases to the greenhouse effect, *Science*, 248, 1217-1219.
- Royer, D. L., Osborne, C. P., Beerling, D. J., 2005, Contrasting seasonal patterns of carbon gain in evergreen and deciduous trees of ancient polar forests, *Paleobiol.*, 31(1), 141-150.
- Song, M. S., 2007, Analysis of distribution and association structure on the sawtooth oak (*Quercus acutissima*) forest in Korea, Ph. D. Dissertation, Changwon University, Korea (written in Korean with English abstract).
- Westin, J., Sundblad, L. G., Hällgren, J. E., 1995, Seasonal variation in photochemical activity and hardiness in clones of Norway spruce (*Picea abies*), *Tree Physiol.*, 15, 685-689.