Journal of Forest Science
Vol. 23, No. 1, pp. 29~33, August 2007

광, 온도, 수분 변화에 따른 음나무 엽의 생리반응(VII) - 기공증산, 수분이용효율, 그리고 엽육세포간극 CO_2 농도의 일변화 -

한상섭[1*] · 전두식[2] · 심주석[2] · 전성렬[1]
[1]강원대학교 산림환경과학대학 산림자원학부, [2]강원도 산림개발연구원

Effects of Light, Temperature, Water Changes on Physiological Responses of *Kalopanax pictus* Leaves (VII) - Daily Changes of Stomatal Transpiration, Water Use Efficiency, and Intercellular (C_i) CO_2 Concentration versus Atmosphere CO_2 Concentration (C_a) Ratio (C_i/C_a) -

Sang-Sup Han[1*], Doo-Sik Jeon[2], Joo-Suk Sim[2] and Seong-Ryeol Jeon[1]
[1]*Division of Forest Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea*
[2]*Forest Research Institute of Gangwon Province, Chuncheon 200-140, Korea*

ABSTRACT : This study was purposed to elucidate the best optimum sites by ecophysiological response measurements of *Kalopanax pictus* samplings of plantation. The diurnal changes of the stomatal transpiration, water use efficiency, water potential, and intercellular CO_2 concentration of leaves were measured by the portable IR CO_2 analyzer. The results obtained are summarized as follows. 1) The daily stomatal transpiration rate was highest at 10:00 a.m. After 16:00, the stomatal transpiration rate rapidly decreased. 2) The daily water use efficiency was maximum at 8:00 a.m., and then rapidly decreased until midday with decreasing water potential. 3) The daily C_i/C_a ratio rapidly decreased until 9:00 a.m., and then showed a stable value until 16:00, and then rapidly increased. The daily intercellullar CO_2 concentration (C_i/C_a ratio) showed the same tendency as water potential changes. Consequently, stomatal transpiration and water use efficiency was increased with high water potential of leaves at am, and then remarkably decreased with low water potential at pm.

Keywords : *Kalopanax pictus*, Stomatal transpiration, Water potential, CO_2 concentration

서 론

음나무의 어린순(일명, 개두릅)은 기호성이 높은 산채이며, 가지와 껍질은 한약제로 이용된다. 잎, 줄기, 뿌리에는 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.

최근 음나무에 관한 연구는 선발개체의 생장 및 섬유장과 수피특성의 변이(황석인과 정헌관, 1997), 입지환경 및 생장특성(강호상과 이돈구, 1998), 종내변이 특성 및 대량번식(이철호, 2000), 생리·생태학적 특성 및 분포지역에 따른 kalosaponin 함량의 변화(이철호, 2000), 강원도 자생임분의 입지환경, 식생구조 및 동태(이철호 등, 2000b), 가시없는 음나무 생산(강호덕, 2001), 가시없는 음나무의 신품종육성(김세현, 2001), 광도가 음나무의 광합성 생리에

* Corresponding author: (E-mail) sshan@kangwon.ac.kr

미치는 영향(김판기와 이은주, 2001), 묘목의 멀칭처리에 따른 활착율 및 생장(이돈구와 강호상, 2001), 특용활엽수 재배기술(강원도산림개발연구원, 2002) 등에 관한 연구등이 있다. 그러나 조림 및 무육에 필요한 기초지식에 대한 생리반응 연구는 비교적 적다.

특히, 식물의 적지환경 진단에 많이 사용되는 방법인 광, 온도, 수분 등의 환경인자 변화가 광합성, 호흡, 증산, 기공전도도, 수분특성 등에 미치는 영향을 상세히 구명한다는 것은 그 수종의 생리적 특성을 진단할 수 있는 가장 좋은 방법이라 할 수 있다(Larcher, 1995).

따라서, 음나무의 효율적인 보육과 식재에 가장 중요한 잎의 광합성속도, 증산속도, 기공전도도, 수분특성 등의 환경인자별 특성을 밝히는 것은 매우 중요한 의미를 지닐 뿐만 아니라 적지적수의 판단 기준으로 활용될 수 있을 것이다.

본 연구는 음나무의 생리반응에 대한 일련의 연구로서 조림지에 식재된 6년생 음나무 잎의 기공증산속도, 수분이용효율, 세포간극의 CO_2 농도 등의 일변화 특성을 측정 고찰하여 보고한다.

재료 및 방법

식물재료

본 연구에 사용한 시험재료는 강원도 평창군 미탄면 회동리 산50-1의 평창국유림관리소 관내의 산지에 1-1묘로 인공조림된 6년생 음나무를 대상으로 하였다. 식재지의 시료목의 크기와 입지 개황은 Table 1, 2와 같다.

기공증산과 수분이용효율의 측정방법

조림지에 식재된 6년생 음나무 잎에 대한 기공증산속도(stomatal transpiration rate; mmol H_2O m^{-2} s^{-1})를 개방형-휴대용 적외선 가스교환측정기로 측정하였고, 수분이용효율의 일변화는 순광합성속도를 증산속도로 나눈 값, 즉 μmol CO_2 mmol H_2O^{-1}로 계산하여 나타냈다. 그리고 대기 속의 CO_2 농도(air CO_2 concentration; C_a)와 세포간극내의 CO_2 농도, 수분이용효율(Water use efficience) 등의 일변화 측정은 개방형-휴대용 적외선 가스교환측정기(Leaf chamber analyzer; Type LCA4, Analytical Development Corporatin ADC, Hoddesdon, Herts, 영국)를 사용하여 6.25 cm^2 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 4 m의 높이의 공기 유입안테나를 사용하여 대기로부터 CO_2를 직접 공급받았으며, 공급받은 CO_2 농도가 대기의 CO_2 농도와 비슷해지면(약 1분 후) 잎챔버로 잎을 집은 다음 약 1~2분 후 CO_2 농도의 변화가 안정될 때 측정을 완료하였다. 측정은 5개체를 선발한 후 각 개체별 5~10개의 착생잎에 대하여 실시하였다.

데이터 분석

단위 잎표면적당 기공증산속도와 엽육세포간극의 CO_2 농도는 Caemmerer & Farquhar(1981)의 식에 의해 계산되었으며, 수분이용효율의 계산은 순광합성속도를 증산속도로 나눈 값, 즉 μmol CO_2 mmol H_2O^{-1}로 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^{-1}로 각각 계산되었다.

Table 1. Description of studied *Kalopanax pictus* saplings.

Species	Sample	Height (m)	RCD (mm)	Age (year)	No. of tree/ha
Kalopanax pictus	6-year-old trees	2.07	34.1	6	5,000

Data indicate mean values (n=5).
RCD: Root collar diameter

Table 2. Topographical characteristics of studied sites.

Species	Altitude (m)	Slope (°)	Direction	Ridge/Valley
Kalopanax pictus	820	10	N340 W	8/10

결과 및 고찰

기공증산의 일변화

기공증산속도의 일변화는 기공전도도와 마찬가지로 오전 10~13시 사이에 최대치(4.7 mmol H_2O m^{-2} s^{-1})를 보였고, 13시경부터는 광도의 급격한 감소로 빠르게 감소하였다(Fig. 1). 그 후 16시에 광도의 증가로 인한 기공 열림으로 다시 증가하였고, 다시 광도의 감소로 인하여 기공증산도 감소하는 결과를 보였다.

광도가 0인 20시에 약간의 기공증산속도(0.18 mmol

H_2O m^{-2} s^{-1})를 나타내 기공전도도와 마찬가지로 기공증산이 순광합성속도 보다 광도에 영향을 덜 받음을 알 수 있었다.

측정한 기공증산을 단위면적당(m^2) 일일 기공증산량으로 환산하면, 2,140 g H_2O m^{-2} day^{-1}로, 12.1 g의 CO_2를 고정하기 위하여 2.14 kg의 물을 소비했음을 알 수 있었다. 따라서 1 g의 탄수화물($C_6H_{12}O_6$)을 생산하기 위하여 약 712 g의 물을 소비하였음을 알 수 있다.

일반적으로 기공증산속도는 잎과 대기사이의 수증기압 크기라는 물리적인 요인에 의해 강하게 제어되기 때문에 측정시 기공증산속도는 그 때의 수분환경에 의해 크게 좌우된다. 따라서 수증기압결핍에 의해 잎과 대기의 수증기압결핍의 차가 크면 클수록 기공증산속도는 증가한다(Fig. 2).

보통 온도가 증가하면, 상대습도가 감소하여 잎과 대기사이의 수증기압결핍(VPD)이 증가되어 잎의 증산요구도가 크기 때문에 결국 기공증산속도가 증가하고(Fig. 3), 동시에 순광합성속도와 기공전도도의 감소가 일어난다(Larcher, 1995; Kozlowski, 1997). 본 연구에서도 11시에서 12시 사이에 강광 조건하에서 온도가 증가하고 수증기압의 증가가 일어나기 때문에 기공증산속도가 증가하는 것으로 나타났다.

수분이용효율의 일변화

수분이용효율의 일변화는 일출과 함께 빠르게 증가하여 오전 8시에 최대치(4.13 μmol CO_2 mmol H_2O^{-1})에 달한 후, 12시까지 빠르게 감소하였다(Fig. 4). 그 후 다시 증

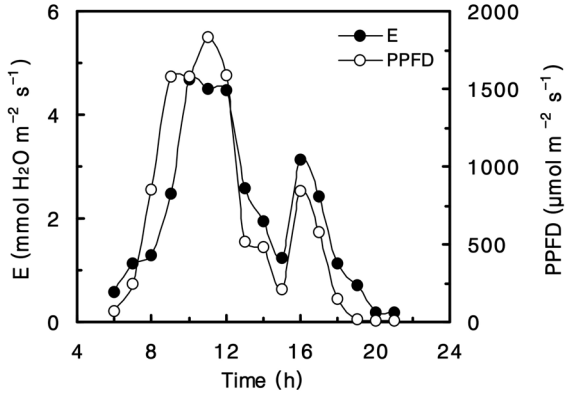

Fig. 1. Daily patterns of stomatal transpiration (E) and photosynthetic photon flux density (PPFD). The symbols indicate the means of measured values (n=2).

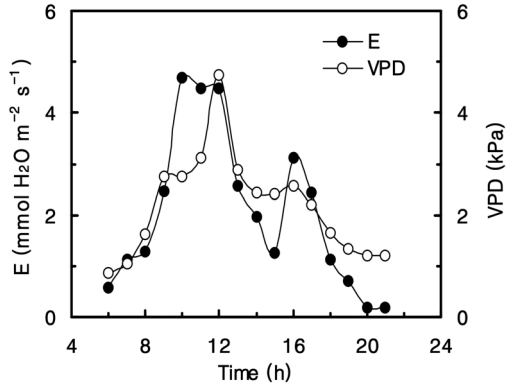

Fig. 2. Relationship between stomatal transpiration (E) and leaf to air vapor pressure deficit (VPD). The symbols indicate the means of measured values (n=2).

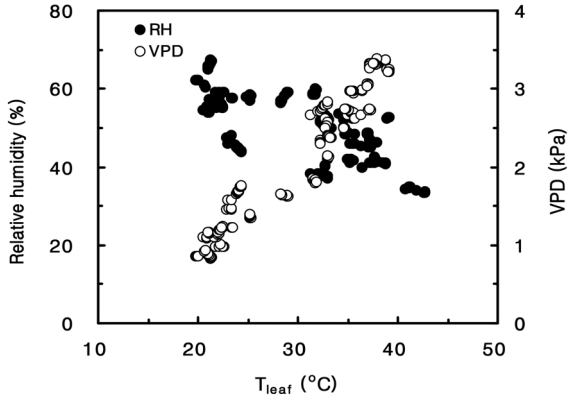

Fig. 3. Relationship among relative humidity (RH), leaf temperature (T_{leaf}) and leaf to air vapor pressure deficit (VPD). (n=200).

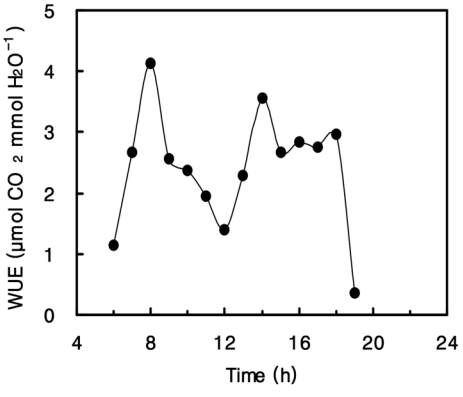

Fig. 4. Daily patterns of water use efficiency (WUE). The symbols indicate the means of measured values (n=2).

가하여 어느 정도 일정하게 유지하다가 18시부터는 다시 직하강적으로 감소하였다. 순광합성속도가 최대치를 보인 오전 10시경의 수분이용효율은 2.37 μmol CO_2 mmol H_2O^{-1}로 오전 8시 수분이용효율의 약 57%였다.

오전 8시에 수분이용효율이 높은 이유는 순광합성속도의 증가폭에 비해 기공증산의 증가폭이 적었기 때문이며, 12시에 수분이용효율의 감소는 기공증산속도보다 순광합성속도의 감소폭이 훨씬 더 컸기 때문이었다.

한편, 오전 10시의 수분이용효율 값은 7월의 같은 자연조건하에서 측정한 포트묘의 수분이용효율 값(2.50 μmol CO_2 mmol H_2O^{-1})과 거의 같은 값이었다.

엽육세포간극의 CO_2 농도의 일변화

엽육세포간극의 CO_2 농도/대기중 CO_2 농도(이하 Ci/Ca) 비율은 시간이 경과함에 따라 빠르게 감소하였으며, 오전 8시부터 16시 사이에 거의 일정한 값을 유지하였고, 그 후 다시 빠르게 증가하였다(Fig. 5). 오전 6시부터 21시까지 측정한 C_i/C_a 비율은 0.56~1.13범위였다. 시간이 경과함에 따라 C_i/C_a 비율의 감소는 뚜렷한 경향을 보였는데, 생리활동이 가장 왕성한 낮 시간 동안은 낮고 비슷한 값을 보였다. 또 16시 이후에는 광도의 감소와 함께 빠르게 증가하였다. 이러한 이유는 광합성 활동이 가장 왕성한 낮 시간은 엽육세포간극에 존재하는 CO_2를 광합성작용으로 다시 이용한 반면, 낮은 광도에서는 CO_2 이용효율의 저하로 인하여 엽육세포간극의 CO_2 농도가 증가한 결과라고 생각된다.

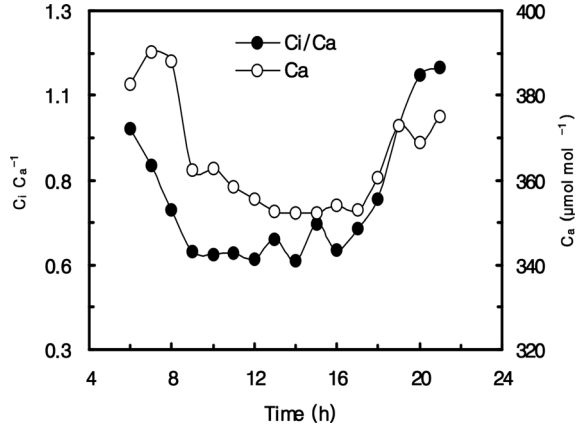

Fig. 5. Daily patterns of intercellular (C_i) / atmospheric CO_2 concentration(C_a) ratio (C_i/C_a). The symbols indicate the means of measured values (n=2)

요 약

이 연구는 음나무의 생장에 대한 생리 생태적 특성을 측정하여 조림목의 적지환경을 구명하고자 하는 일련의 연구이다. 본 측정에서는 에서는 잎의 기공증산속도의 일변화, 수분이용효율의 일변화, 수분포텐셜의 일변화, 그리고 세포간극의 CO_2 농도 일변화 등을 측정, 고찰하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다. 1) 기공증산속도의 일변화는 오전 10시경이 가장 높았으며, 16시를 기점으로 기공증산속도는 빠르게 감소하였다. 2) 수분이용효율의 일변화는 오전 8시경에 최대치를 보였고, 그 후 수분포텐셜의 감소와 함께 정오까지 빠르게 감소하였다가 회복한 후 17시 이후부터는 급격한 감소를 보였다. 3) 세포간극의 CO_2 농도(C_i/C_a 비율)의 일변화는 오전 9시까지 빠르게 감소하였고, 그 후 16시까지는 큰 변화 없이 안정한 값을 유지하였으며, 16시 이후부터는 다시 빠르게 증가하였다. C_i/C_a 비율의 일변화는 수분포텐셜의 일변화와 거의 유사한 경향을 보였다. 결과적으로 산지에 식재된 음나무 잎의 기공증산, 수분이용효율, 수분포텐셜이 높은 오전에 가장 증가하고, 오후부터 급격한 감소를 나타냈다.

인 용 문 헌

강원도산림개발연구원. 2002. 특용활엽수 재배기술. 강원도산림개발연구원 144pp.

강호덕. 2001. 가시없는 음나무 생산. 산림지 5월. pp 64-65.

강호상, 이돈구 1998. 강원도 평창군 중앙산 지역 음나무의 입지환경 및 생장특성. 한국임학회지 87(3): 483-492.

김세현. 2001. 가시없는 음나무 신품종 육성. 산림지 10월호. pp. 56-59.

김영희, 김종평, 윤봉식, 문석식, 유익동. 1998. 엄나무 유래 신규 황산화 물질. 한국자원식물학회지(별책 2호) 11: 89-109.

김판기, 이은주. 2001. 광합성 생리 생태(2) -환경변화에 대한 광합성 적응 반응-. 한국농림기상학회지 3(3): 171-176.

심주석. 1990. 물푸레나무와 들메나무엽의 광합성과 호흡의 특성. 강원대학교 대학원 석사학위논문. 23pp.

이돈구, 강호상. 2001. 리기다소나무림내 수하식재한 음나무묘목의 멀칭처리에 따른 활착율 및 생장. 서울대학교 연습림보고. 37: 67-79.

이철호. 2000. 음나무의 생리·생태학적 특성 및 분포지역에 따른 kalosaponins 함량의 변화. 충남대학교 대학원 박사학위논문.

이철호, 최명석, 권기원. 2000a. 한국자생 음나무 집단 및 채취부위에 따른 kalosaponin 함량변이. 한국생약회지 31(2): 203-208.

이철호, 최영철, 김세현, 권기원. 2000b. 강원도 음나무 자생 임분의 입지환, 식생구조 및 동태. 한국자원식물학회지 13(2): 89-94.

정성호. 2002. 낙엽성 참나무류의 광합성, 기공증산, 기공전도도

특성에 관한 연구. 강원대학교 대학원 박사학위논문. 100pp.
황석인, 정헌관. 1997. 음나무 선발개체의 생장 및 섬유장과 수피 특성의 변이. 임육연보. 33: 14-21.
Caemmerer, S. and Farquhar, G. D. 1981. Some relationships between the biochemistry of photosynthesis and the gas exchange of leaves. Planta 353: 376-387.
Kim, D. H., K. W. Yu, E. A. Bae, H. J. Park, and J. W. Choi. 1988. Metabolism of kalopanax B and H by human intestinal bateria and antidiabetic activity of their metabolites. Biol. Pharm. Bull. 21: 360-365.
Larcher, W. 1995. Physiological Plant Ecology. Springer, Berlin, 506pp.
Kozlowski, T. T and Pallardy. S. G. 1997. Physiology of Woody Plants. Academic Press. New York. 411pp.