

광, 온도, 수분 변화에 따른 음나무 잎의 생리반응(V)[※]

- 잎의 수분 포텐셜 변화에 따른 생리반응 -

한상섭¹⁾ · 전두식²⁾ · 심주석²⁾ · 전성렬¹⁾

Effects of Light, Temperature, Water Changes on Physiological Responses of *Kalopanax pictus* Leaves(V)[※]

- Physiological Responses by the Changes of Leaf Water Potential -

Sang-Sup Han¹⁾, Doo-Sik Jeon²⁾, Joo-Suk Sim²⁾ and Seong-Ryeol Jeon¹⁾

요 약

1. 이 연구는 조림지에 식재된 6년생 음나무 유목의 잎에 대한 생리반응 실험이다.
2. 산림지에 음나무 유목의 수분스트레스에 대한 순광합성속도는 엽수분포텐셜이 -0.80 MPa에서 최초의 감소를 보였으며, -2.50 MPa에서는 순광합성속도는 0에 달했다. 50%의 상대순광합성속도를 보인 잎의 수분포텐셜은 -1.70 MPa이었다. 기공전도도는 엽수분포텐셜 -1.00 MPa까지 일시적으로 증가하였고, 그 후 빠르게 감소하였다. 엽수분포텐셜 -2.50 MPa에서 기공전도도는 약 7%로 완전 기공폐쇄는 일어나지 않았다.
3. 수분스트레스에 대한 기공증산은 엽수분포텐셜 -1.00 MPa까지 일시적인 증가를 나타낸 후 그 이상의 엽수분포텐셜의 감소에서는 빠르게 감소하였다. 엽수분포텐셜 -2.50 MPa의 상대기공증산은 약 17%정도였다. 수분이용효율은 잎의 수분포텐셜 감소와 함께 빠르게 감소하여, 엽수분포텐셜 -2.50 MPa에서는 0에 달했다.
4. 수분스트레스에 대한 엽육세포 간극내의 C_i/C_a 비율은 엽수분포텐셜 감소와 함께 빠르게 증가하였다. 잎과 대기사이의 수증기압결핍(VPD)은 엽수분포텐셜 -2.00 MPa까지 서서히 증가하다가 그 이하의 엽수분포텐셜에서는 빠르게 증가하였다.

ABSTRACT

1. This study was investigated in 6-year-old *Kalopanax* leaves in plantation forest.
2. The decrease in net photosynthesis rate began at -0.80 MPa water potential, and then approached zero at -2.50 MPa. The relative net photosynthesis rate which is 50% occurred at -1.70 MPa. The stomatal conductance increased temporarily until

※ Corresponding author

E-mail : sshan@kangwon.ac.kr

- 1) 강원대학교 산림과학대학 산림자원학부: Division of Forest Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea
- 2) 강원도 산림개발연구원: Forest Research Institute of Gangwon Province, Chuncheon 200-140, Korea

- 1.00 MPa, and then rapidly decreased. At -2.50 MPa, the relative stomatal conductance was 7% of maximum value.
3. The stomatal transpiration rate increased temporarily until -1.00 MPa, and then rapidly decreased. At -2.50 MPa, the relative stomatal transpiration rate was about 17% of maximum rate. The water use efficiency rapidly decreased with decreasing water potential, and then approached about zero at -2.50 MPa.
 4. With decreasing leaf water potential, the CO₂ content ratio, C_i/C_a in intercellular rapidly increased. The vapor pressure deficit, VPD gradually increased until -2.00 MPa, and then rapidly increased.

I. 서 론

음나무의 어린순(개두릅)은 기호성이 높은 산 채로 가지와 껍질은 한약재로 이용된다. 또 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 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 임분의 입지환경, 식생구조 및 동태(이철호 등, 2000b), 가지없는 음나무 생산(강호덕, 2001), 가지없는 음나무 신품종육성(김세현, 2001), 광도가 음나무의 광합성 생리에 미치는 영향(김관기와 이은주, 2001), 음나무 묘목의 멀칭처리에 따른 활착율 및 생장(이돈구와 강호상, 2001), 특용활엽수 재배기술(강원도산림개발연구원, 2002) 등에 관한 연구등이 있다. 그러나 조림 및 무육에 필요한 기초치식에 대한 생리반응 연구는 비교적 적다. 특히, 산지측정연구는 거의 없다.

특히, 식물의 적지환경 진단에 가장 많이 사용

되는 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 상세히 밝히는 것은 적지적수의 판단 기준으로 활용될 수 있을 것이다.

본 연구는 음나무의 생리반응에 대한 일련의 연구로서 산지에 식재된 6년생 음나무 묘목의 잎을 사용하여 잎의 수분 스트레스에 따른 순광합성속도, 기공전도도, 증산속도, 세포간극의 CO₂ 농도 변화등을 측정 고찰 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 식물재료

이 연구에 사용된 음나무 시료는 강원도 평창군 미탄면 회동리 국유림에 인공조림된 6년생 음나무 유목에 대한 수분 스트레스별 순광합성속도, 기공증산, 기공전도도등에 대한 생리반응을 측정하였다. 음나무 6년생 식재지의 입지환경은 Table 1과 같다. 실험측정은 2002년 7월 17~18일에 실시하였다.

Table 1. Topographical characteristics of studied sites in *Kalopanax pictus* plantation.

Species	Altitude (m)	Slope (°)	Direction	Ridge/Valley
<i>Kalopanax pictus</i>	820	10	N340W	8/10

2. 측정 방법

1) 광도별, 온도별, 상대습도별 생리특성 측정

조림지에 식재된 6년생 음나무 잎에 대한 순광합성속도(net photosynthetic rate; A_{net}), 기공증산속도(stomatal transpiration rate; E), 기공전도도(stomatal conductance; g_{H_2O}), 그리고 엽육세포간극의 CO_2 농도(intercellular CO_2 concentration; C_i)와 대기와 잎사이의 증기압결핍(vapour pressure deficit; VPD) 등에 대해 대하여 개방형-휴대용 적외선 가스교환 측정기(Leaf chamber analyzer; Type LCA4, Analytical Development Corporation 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 Corporation ADC, Hoddesdon, Herts, 영국)를 사용하였다.

측정방법은 4 m의 높이의 공기 유입안테나를 사용하여 대기로부터 CO_2 를 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.

광도별 생리특성 측정은 포트묘의 착엽 위치별(상엽 : 정단엽, 중엽 : 정단으로부터 50cm, 하엽 : 지표면으로부터 15cm)로 고정 잎온도 $25^\circ C \pm 1^\circ C$ 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.

온도별 생리특성 측정은 포트묘의 정단부에 위치한 착생잎을 대상으로 하였으며, 잎온도 측정은 잎챔버 속에 설치된 thermocouple를 이용하여 챔버온도를 조절하면서 측정하였으며, 측정 가능한 잎온도역인 $18^\circ C$ 에서 시작하여 $40^\circ C$ 까지 측정하였다.

상대습도별 생리특성 측정은 황산제2철 7수화물($FeSO_4 \cdot 7H_2O$)의 시약을 습도조절용 컵에 넣은 다음 25~70%까지 상대습도를 조절하면서 측정하였다.

3. 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. 또한 수분이용효율의 계산은 순광합성속도를 증산속도로 나눈 값, 즉 $\mu\text{mol } CO_2\ \text{mmol } H_2O^{-1}$ 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. 광 - 광합성 곡선은 아래의 Kume & Ino(1993)식에 의해 작성하였다.

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

ϕ : 광양자 이용효율, P : 광도, A_{max} : 최대광합성속도, R : 호흡속도

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

III. 결과 및 고찰

1. 수분포텐셜 변화에 따른 생리반응

1) 잎의 수분포텐셜과 순광합성속도

음나무 잎의 수분포텐셜 변화에 대한 여러 가지 생리적 특성 조사는 산지에 인공식재된 6년생 음나무를 대상으로 하였다.

음나무 잎의 수분포텐셜 변화에 대한 순광합성속도를 Fig. 1에 나타냈으며, 순광합성속도는 약 -0.80 MPa에서 최초 감소가 시작되어, 그 후 잎의 수분포텐셜의 감소와 함께 빠르게 감소하여,

잎의 수분포텐셜 -2.50 MPa에서 0에 달했다. 상대순광합성속도 50%를 유지하는 잎의 수분포텐셜은 약 -1.70 MPa이었다.

Teskey et al.(1986)에 의하면, *Pinus taeda*은 -1.00 MPa의 잎의 수분포텐셜에서 최초의 광합성속도의 감소가 일어나 -2.00 MPa에서 순광합성속도는 0에 달한다고 보고하였으며, 심(1990)은 물푸레나무와 들메나무 묘목의 잎은 잎의 수분포텐셜이 각각 -1.30 MPa과 -1.00 MPa에서 최초의 순광합성속도의 감소가 일어나며, 순광합성속도가 0에 달하는 수분포텐셜은 -2.90 MPa과 -2.30 MPa이라고 보고해, 현재 음나무의 순광합성속도가 0이 되는 잎의 수분포텐셜은 물푸레나무보다는 높고, 들메나무보다는 낮은 값을 보였다.

또한 잎의 수분포텐셜 -1.40 MPa에서의 측정된 상대순광합성속도는 약 64%정도로 일변화 측정에서 얻은 같은 수분포텐셜(정오 : -1.40 MPa)에서 측정 계산한 상대순광합성속도의 상대치(56%)보다 약간 높았다.

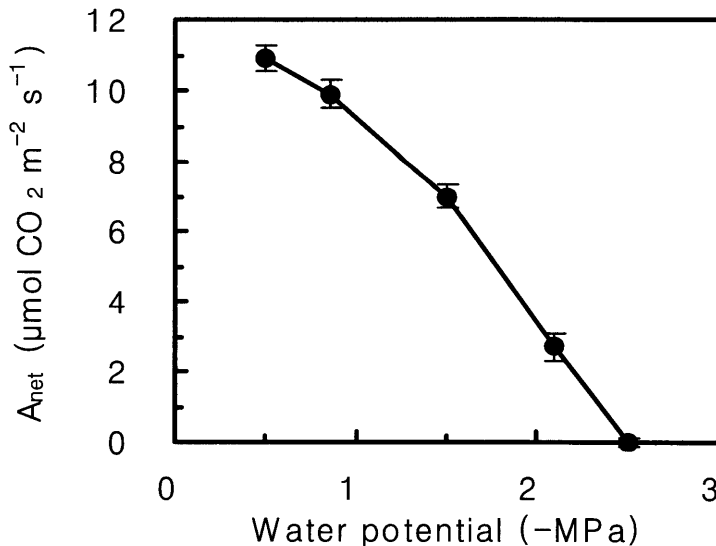


Fig. 1. Effect of leaf water potential on net photosynthetic rates (A_{net}) in leaves of *Kalopanax pictus* saplings grown in the national forest at Pyeongchang I = SE (n=3)

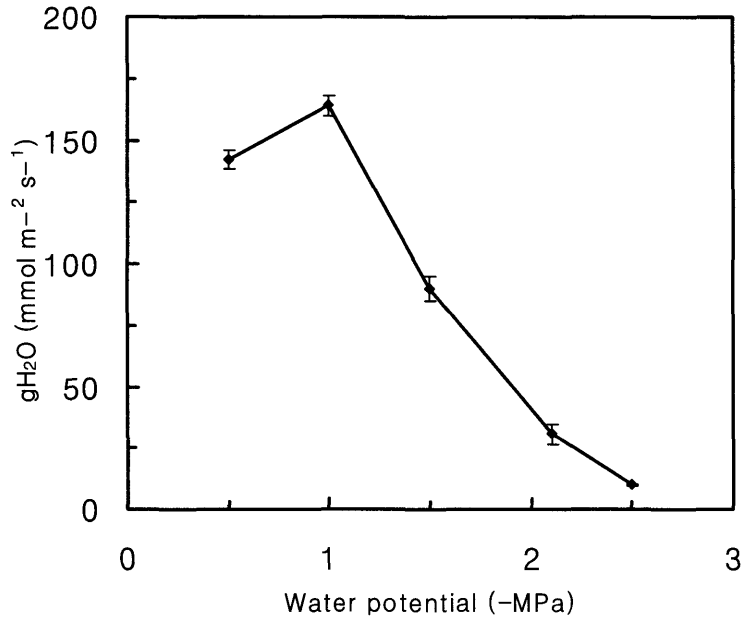


Fig. 2. Effect of leaf water potential on stomatal conductance (gH₂O) in leaves of *Kalopanax pictus* saplings grown in the national forest at Pyeongchang I = SE (n=3)

2) 잎의 수분포텐셜과 기공전도도

잎의 수분포텐셜 감소에 따른 음나무 잎의 기공전도도는 -0.50 MPa에서 -1.00 MPa까지는 빠르게 증가하였으며, 그 증가폭의 상대치는 약 15%정도였다(Fig. 2).

-1.00 MPa 이상의 잎 수분포텐셜에서 기공전도도는 순광합성속도와 마찬가지로 빠르게 감소하였다. -2.50 MPa 잎의 수분포텐셜에서의 상대 기공전도도는 7%를 유지하였으며, 50%의 상대기공전도도 유지하는 잎의 수분포텐셜 약 -1.60 MPa이었다. 이러한 결과로 살펴보면, 잎의 수분스트레스에 대해 기공전도도 보다는 순광합성속도가 더 빠른 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다.

Fuchs & Livingstone(1996)에 따르면 토양 수분함량의 감소는 광합성속도의 감소속도 보다는 기공전도도의 감소속도가 더 빨리 나타났다고 보고했다. 이러한 보고는 이 연구에서도 7월과 8월에 측정된 음나무 묘목의 순광합성속도의 감소

폭과 기공전도도 감소폭의 비교를 통하여 부분적으로 증명할 수 있었다.

3) 잎의 수분포텐셜과 기공증산

잎의 수분포텐셜이 감소에 따라 기공증산속도도 기공전도도와 마찬가지로 -1.00 MPa 까지 약간 증가하였으나, 그 이상으로 부터는 잎의 수분포텐셜이 감소와 더불어 기공증산속도는 빠르게 감소하였다(Fig. 3).

잎의 수분포텐셜 -2.50 MPa에서 순광합성속도가 0에 달한 반면, 기공증산속도는 최대 값의 약 17%정도를 유지해 음나무는 수분스트레스에 대해 기공증산보다는 순광합성속도가 더 민감함을 알 수 있었다.

잎의 수분포텐셜 -1.50 MPa까지는 기공증산속도의 감소폭(상대치 60%)이 순광합성속도의 감소폭(64%) 보다 약간 컸지만, 잎의 수분포텐셜 -2.00 MPa 부터는 순광합성속도의 감소폭이 훨씬 더 컸다.

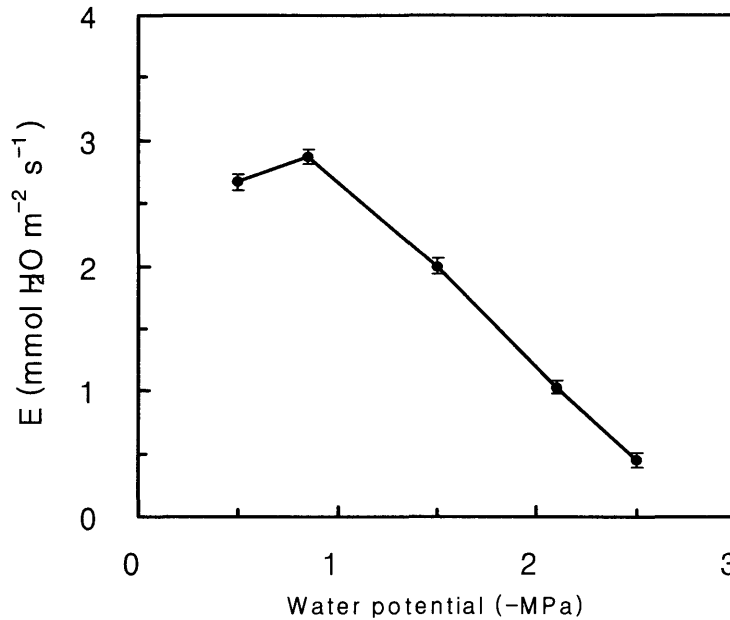


Fig. 3. Effect of leaf water potential on stomatal transpiration (E) in leaves of *Kalopanax pictus* saplings grown in the national forest at Pyeongchang $l = SE (n=3)$

IV. 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. 심주석. 1990. 물푸레나무와 들메나무엽의 광합성과 호흡의 특성. 강원대학교 대학원 석사학위논문 23pp.
8. 이돈구, 강호상. 2001. 리기다소나무림내 수하식재한 음나무묘목의 멸칭처리에 따른 활착율 및 성장. 서울대학교 연습림보고 37:67-79
9. 이철호. 2000. 음나무의 생리·생태학적 특성 및 분포지역에 따른 kalosaponins 함량의 변화. 충남대학교 대학원 박사학위논문.
10. 이철호, 최명석, 권기원. 2000a. 한국자생 음나무 집단 및 채취부위에 따른 kalosaponin 함량변이. 한국생약학회지 31(2): 203-208.
11. 이철호, 최영철, 김세현, 권기원. 2000b. 강원도 음나무 자생 임분의 입지환, 식생구조 및 동태. 한국자원식물학회지 13(2): 89-94.
12. 정성호. 2002. 낙엽성 참나무류의 광합성, 기공증산, 기공전도도 특성에 관한 연구. 강원대학교 대학원 박사학위논문 100pp.
13. 황석인, 정현관. 1997. 음나무 선발개체의 성장 및 섬유장과 수피특성의 변이. 임육연보. 33: 14-21

14. Caemmerer, S. and Farquhar, G.D. 1981. Some relationships between the biochemistry of photosynthesis and the gas exchange of leaves. *Planta* 353: 376-387.
15. 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 bacteria and antidiabetic activity of their metabolites. *Biol. Pharm. Bull.* 21(4): 360-365.
16. Kume, A & Ino, Y. 1993. Comparison of ecophysiological responses to heavy snow in two varieties of *Acuba japonica* with different areas of distribution. *Ecological Research.* 8: 111-121.
17. Landsberg, J.J. 1986. *Physiological ecology of forest production.* Academic Press, Inc. New York, pp198.
18. Larcher, W. 1995. *Physiological Plant Ecology.* Springer, Berlin, pp506.
19. Teskey, R.O., Fites, J.A., Samuelson, L. J., and Bongarten, B.C. 1986. Stomatal and nonstomatal limitations to net photosynthesis in *Pinus taeda* L. under different environmental conditions. *Tree Physiol.* 2: 131-142.
20. Tyree, M. T. and H. T. Hammel. 1972. The measurement of the turgor pressure and the water relations of plants by the pressure-bomb technique. *J. Exp. Bot.* 23: 267-282.