

이소적 두 수종의 수분관계 일변화

박 용 목

청주대학교 이공대학 생물학과

Diurnal Changes of Tissue Water Relations in Two Allopatric Tree Species

Park, Yong-Mok

Department of Biology, College of Natural Science and Engineering, Chongju University

ABSTRACT

Diurnal changes of microclimatic conditions and tissue water relations were measured at two sites where *Carpinus laxiflora* and *C. cordata* were allopatrically distributed. The microclimatic conditions at a site where *C. laxiflora* was distributed produced severe water stress condition during summer months. Daily maximum temperature reached 30.4°C and the highest vapor pressure deficit was 1.31 KPa when 13 rainless days were continued. During this period soil water content decreased to below the field capacity even at a depth of 20 cm and xylem pressure potential also decreased to -2.04 MPa. However, turgor potential was maintained more than 0.4 MPa. Patterns of stomatal conductance were changed with evaporative demand and soil water availability. On the other hand, microclimatic conditions at a site where *C. cordata* was distributed were moderate water stress condition compared with those at a site *C. laxiflora* was distributed. Though soil water content was maintained above field capacity *C. cordata* showed a remarkable decrease in turgor potential and stomatal conductance throughout the experiment. These results indicate that there is a difference in habitat characteristics between the two species and *C. laxiflora* is more resistant than *C. cordata* to water stress.

Key words: Field capacity, Habitat characteristics, Soil water content, Stomatal conductance, Turgor potential, Xylem pressure potential

서 론

식물은 항상 주위의 환경요인으로부터 영향을 받고 또한 이러한 환경의 작용에 대해 여러 가지 형태로 적응하며 생활 하고 있다(Baxter *et al.* 1994, Chapin *et al.* 1987, Rodrigues *et al.* 1995). 그러나 환경요인에 대한 식물의 요구도는 종에 따라 달라지며, 적응의 정도도 종에 따라

다르다. 그러므로 어떤 종은 주어진 환경조건에 잘 적응하여 적응도를 높이기도 하지만 어떤 종은 그 환경에 잘 적응하지 못하고 도태하고 만다(Fitter and Hay 1987, Osmond *et al.* 1987). 이러한 환경과 식물과의 상호작용의 결과 그 환경에 생육가능한 종이 선택되므로 각각의 식물종은 종 특유의 분포구역(habitat)을 가지고 생활하고 있으며 근연의 종에서도 분포구역의 분리 현상이 나타날 수 있다(Osmond *et al.* 1987, Park 1989, Richards *et al.* 1995).

식물의 생활에 영향을 미치는 환경요인 중에서 수분요인은 식물의 생장과 물질생산에 영향을 미침으로써 그 지역에서의 종의 분포와 식생을 결정하는 중요한 환경요인으로 작용한다(Osmond *et al.* 1987, Richards *et al.* 1995). 식물의 수분상태는 뿌리로 부터의 흡수량과 증산량의 균형에 의해 유지되며, 토양수분이 충분할 때에도 뿌리에서의 수분흡수가 증산량의 급격한 증가에 미치지 못하여 잎의 함수량이 감소한다. 잎의 함수량이 감소하면 잎의 수분포텐셜이 감소하여 식물에 수분스트레스가 발생한다(Fitter and Hay 1987, Hsiao 1973, Kramer 1983). 수분스트레스는 식물의 생장저하, 기공폐쇄, 광합성 저하, 위조를 가져오고 장기간의 심한 수분스트레스는 개체의 고사에 까지 이르게 한다(Hsiao 1973). 식물은 이러한 수분스트레스에 대해 잎의 에너지 부하를 줄여 엽온 상승을 방지하거나, 수분확보를 위한 근계의 형태와 기능을 발달시킴으로써, 그리고 효율적인 기공 조절이나 삼투조절을 행하는 방법으로 수분스트레스에 대해 적응하고 있다(Turner and Begg 1981). 건조지역을 중심으로 주로 행해져 온 이들 연구에 비해 한국과 같이 년강수량이 많고 습윤한 온대지방에서는 수분스트레스에 관한 연구는 극히 적은 실정이지만 일부 연구 결과는 수분스트레스에 대한 식물 종간의 반응의 차이가 실생의 정착과정에 영향을 주어 식물의 분포를 제한하는 원인이 된다는 중요한 사실을 나타내주고 있다(Maruta 1976, Park 1989, Yura 1989), 뿐만 아니라 한국의 대표적인 수목의 내건성을 조사한 결과 종간에 내건성에서 큰 차이가 나는 것이 알려지고 있다(한과 김 1980, 한 1991). 따라서 야외에서의 식물의 생장, 분포를 이해하고 효율적인 임목관리를 위해서는 그 식물이 분포하는 곳에서의 환경요인의 변화와 식물의 수분상태의 변화를 파악할 필요가 있다.

본 연구에서는 같은 속(genus)으로 비슷한 생활사를 가지면서도 수분스트레스와 체수에 대한 반응을 달리하며(박과 森川 1993a,b) 분포구역의 차이를 보이는 까치박달과 서어나무(Masaki *et al.* 1992)를 재료로 생육지에서의 환경요인과 식물 수분상태의 일변화를 비교함으로써 두 종의 분포와 생리생태학적 성질과의 관계를 고찰하고자 한다.

조사지 개요

조사지는 경상북도 구미시에 위치한 해발 977 m의 금오산(동경 128°18′, 북위 36°06′) 북쪽사면의 해발 350 m (동경 128°18′20″, 북위 36°06′07″)와 460 m (동경 128°18′10″, 북위 36°05′98″)의 두 지점을 선정하였다. 조사지의 북쪽 16 km에 위치한 선산 기상 관측소의 기상자료(1991년 1월~1991년 12월)에 의하면 연 평균기온은 11.9℃이며 월 평균기온은 최저치가 1월에 -1.8℃, 최고치가 7월에 24.3℃를 나타내었다(Anonymous 1991). 본 실험은 두 종이 전형적인 이소적 분포를 보이는 두 곳에서 행해졌다. 제 1 조사지는 낙엽층이 잘 발달된, 계곡에 인접한 곳으로 이곳에는 까치박달, 산벗나무, 잣나무, 생강나무 등이 분포하고 있다. 제 2 조사지는 제 1 조사지에서 약 20분 거리에 있는 산등성이로 제 1 조사지 보다 토양이 덜 발달해 있으며, 여기에는 서어나무, 소나무, 개울나무, 떡갈나무, 졸참나무 등이 분포하고 있다.

재료 및 방법

까치박달과 서어나무는 자작나무과의 식물로서 까치박달은 비교적 계곡주위의 토양수분이 충분한 장소에 생육하며 서어나무는 산등성이, 산의 경사진 사면 등의 비교적 건조하기 쉬운 곳에 서도 잘 자라는 식물(Masaki *et al.* 1992)로 우리나라에서는 중부이남의 산지에 주로 분포한다. (Kim 1992, 정과 이 1965).

환경요인

환경요인으로서 식물의 수분관계에 영향을 미치는 일사량, 기온 그리고 상대습도의 일변화 및 지하 50 cm까지의 토양함수량을 측정하였다. 일사량은 광합성 유효 방사계(PSZ-1, Toshiba, Osaka, Japan)를 이용하여 두 조사지의 중간 지점에서 측정하였다. 상대습도는 높이 약 1.5 m에서 직사광이 닿지 않도록 하여 디지털온, 습도계(HN-K, Chino, Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였다. 조사지의 토양함수량은 재료식물을 중심으로 반경 2 m 이내에서 지하 50 cm까지 5 cm마다 토양을 채취하여 비닐봉투에 넣어 실험실로 옮겨 105°C에서 48시간 건조시킨 후 건조량을 측정하여 결정하였다.

Xylem pressure potential(XPP) 및 stomatal conductance(Gs)의 일변화

잎의 Gs는 태양광에 잘 노출된, 성숙한 잎을 선택하여 steady-state porometer(LI 1600, Li-Cor, Nebraska, USA)를 이용하여 측정하였다. 식물의 XPP는 Gs를 측정한, 잎이 2~3장 달린 작은가지를 재료로 압력통을 이용하여 측정하였다(P.M.S., Corvallis, Oregon, USA). 제 1 조사지에서는 재료를 채취하는 즉시 Gs와 XPP를 측정하였으며, 제 2 조사지에서는 잎의 Gs는 현장에서 측정하였으나 XPP의 측정은 압력통과 가스통의 운반의 어려움 때문에 재료를 채취한 후 빨리 비닐봉지 속에 넣고 밀봉하여, 다시 얼음을 넣은 아이스박스 속에 넣어 제 1 조사지로 운반한 뒤 XPP를 측정하였다(방법 4항 참조). 아이스박스 속의 얼음 위에는 얇은 스티로폼을 깔아 비닐봉지와 얼음이 직접 닿지 않게하여 운반하였으며, 운반시간은 약 10분 소요되었다. 일변화 측정은 7월과 8월에 걸쳐서 실시되었다.

잎의 수분 특성

미리 100°C에서 10분 이상 끓여 공기를 제거한 물을 바케츠에 준비한 다음, 식물의 가지를 채취하고 이것을 물속에서 다시 2회 자른 뒤 물속에 담근상태로 연구실로 운반하여 비닐봉투로 덮어 씌어 상온하의 암소에서 24시간 흡수시켰다. 충분히 흡수한 가지에서 선단 부근의 잎이 2~3장 달린 작은가지를 끊어 이것을 시료로 pressure-volume (P-V) method를 이용하여 잎의 수분 특성을 결정하였다. 얻어진 P-V 곡선으로부터 충분히 흡수했을때의 삼투포텐셜(Ψ_s^{sat}), 압력포텐셜이 0이 되었을 때의 삼투포텐셜(Ψ_s^{10})을 구하였으며(Tyree and Hammel 1972). 이들 변수들의 값은 3~4회 반복 측정 후 그 평균치를 이용하였다. 모든 측정은 야외에서 시료 채취후 3일 이내에 행해졌다.

XPP측정 시료의 보존 기간

시료의 유효기간을 파악함으로써 같은 날 양 조사지에서 XPP의 일변화 측정이 가능한 가를

검토하였다.

앞이 2~3장 달린 작은 가지의 XPP를 측정할 후, i) 젖은 여과지가 들어 있는 비닐봉지에 넣어 공기를 빼고 밀봉하여 증산을 막은 뒤, 얼음을 넣은 아이스박스 속에 보관(cool wet) (이하 냉습법)하면서, ii) 여과지를 넣지 않은 비닐봉지에 넣어 아이스 박스 속에 보관(cool dry) (이하 냉건법)하면서 경과시간(1, 2, 3, 4, 8시간)에 따른 XPP의 변화를 측정하였다.

결과 및 고찰

XPP측정 시료의 유효보존기간

가장 신속하게 잎의 수분포텐셜을 측정할 수 있는 방법으로는 압력통법이 많이 이용되고 있다 (Jones 1992), 그러나 이 방법은 수십 킬로그램에 달하는 가스통과 압력통을 측정장소까지 운반하지 않으면 안되는 단점이 있다.

따라서 본 실험에서는 서로 떨어져 분포하고 있는 까치박달과 서어나무의 수분상태의 일변화를 같은날 동시에 측정하기 위하여 새로운 방법을 검토하였다. 그 결과 까치박달과 서어나무, 두 종 모두 2시간까지는 냉습법, 냉건법에 관계없이 XPP가 거의 일정하게 유지되었다(Fig. 1). 그러나 2시간 이상이 경과하면 XPP가 급격하게 저하하였으며, 그러한 현상은 서어나무의 냉건법에서 현저하게 나타났다. 이 결과는 떨어져 분포하고 있는 두 종의 XPP를 동시에 측정할 수 있음을 나타낸다.

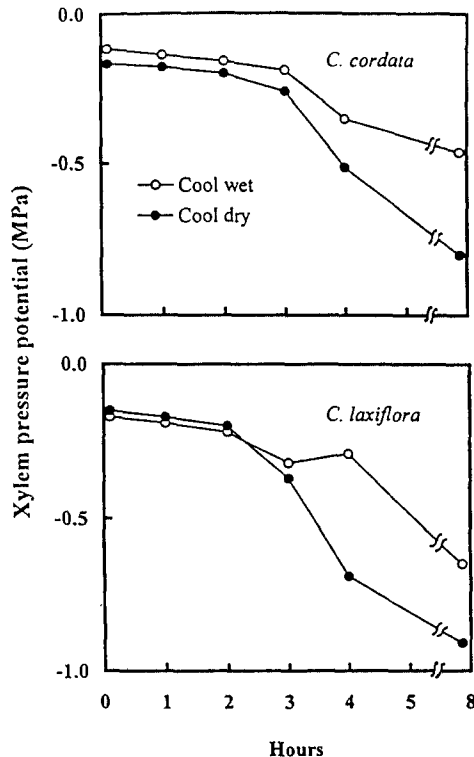


Fig. 1. Changes of xylem pressure potential subjected to different storage conditions in sealed polyethylene bags.

생육지에서의 환경요인의 변화

두 종이 분포하는 양 생육지에서의 기온과 대기 중의 수증기 요구도의 변화를 보면 토양 함수량이 현저히 저하되었던 7월 30일 서어나무가 분포하는 제 1 조사지에서는 아침 6시부터 기온이 상승하기 시작하여 13시 20분에는 기온 30.4℃, 상대습도 69%로 대기의 수증기 요구도가 1.31 KPa을 나타낸 반면, 까치박달이 분포하는 제 2 조사지에서는 기온이 28.9℃, 습도가 74.6%로 대기의 수증기 요구도가 1.01 KPa을 나타내었다. 상대습도도 서어나무 분포지에서는 오전 9시 30분부터 오후 5시 30분 까지 80%이하를 나타내는데 비해, 까치박달이 분포하는 곳은 낮 동안 오후 2시 전후만 80% 이하를 나타내었다(Figs. 2 and 3). 또한 까치박달 분포지에서는 토양함수량이 감소한 7월 30일을 제외하고는 일사량의 감소와 동시에 습도가 새벽녘 수준으로 빠르게 회복하였으나 서어나무 분포지에서는 토양수분 조건에 관계없이 일몰 직후에도 새벽의 상대습도만큼 회복하지 못했다(Figs. 2 and 3). 일반

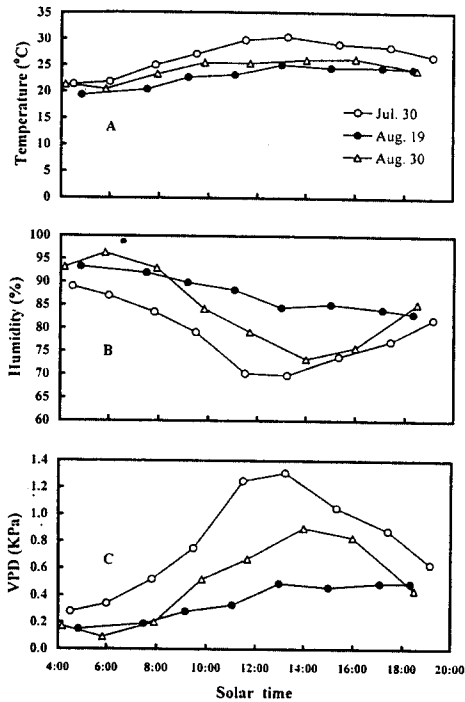


Fig. 2. Diurnal changes of air temperature (A), relative humidity (B) and vapor pressure deficit (VPD) (C) at *Carpinus laxiflora* site.

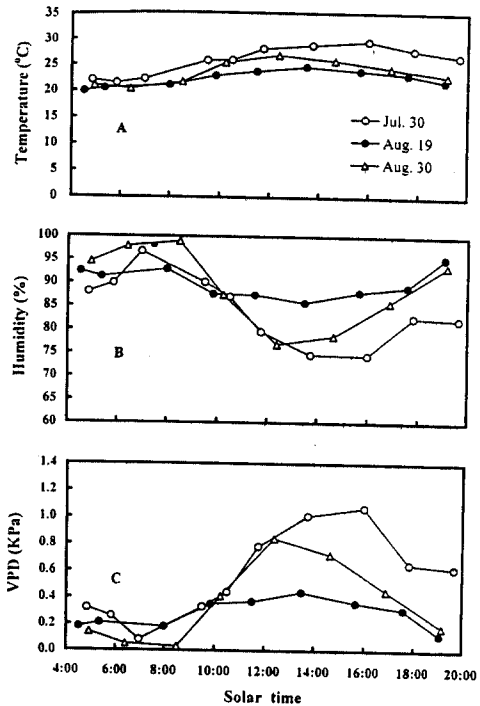


Fig. 3. Diurnal changes of air temperature (A), relative humidity (B) and vapor pressure deficit (VPD) (C) at *Carpinus cordata* site.

적으로 아침의 기온 상승으로 저하한 상대습도는 오후 기온의 저하와 함께 다시 증가하지만 (Kramer 1983, Slatyer 1967), 서어나무 분포지에서 습도가 새벽 수준으로 회복하지 못한 것은 까치박달 서식지에 비해 증발·산 등에 의한 대기 중으로의 수증기 공급이 적었기 때문으로 사료된다. 이러한 사실은 새벽에는 두 장소 모두에서 온도와 습도가 비슷하였으며, 그리고 비온 뒤 4일이 지난 8월 30일 까지도 까치박달 분포지에 비해 표층의 토양함수량이 저하된 점으로 미루어 짐작할 수 있다(Figs. 2, 3, and 7). 따라서 서어나무의 분포지는 까치박달의 분포지보다 수분스트레스가 일어나기 쉬운 환경이라는 것을 나타내고 있다.

까치박달과 서어나무의 수분관계의 변화

서어나무의 XPP는 기온, 습도 그리고 토양함수량에 따라 크게 변화하였으며, 비온 후 13일이 경과한 7월 30일은 XPP가 크게 저하 하여, 15시 경에는 최저치인 2.04 ± 0.08 MPa를 기록하였다(Fig. 4a). XPP의 저하에 따라 압력포텐셜도 저하하여 0.4 MPa까지 저하하였다(Fig. 4b). 이에 비해 토양함수량이 지하 5cm 이하에서 포장용수량($21.5 \pm 1.2\%$) (예비실험결과)을 유지하고 있던 나머지 두 측정일에서는 비교적 높은 XPP를 나타내었으며 압력포텐셜도 높게 유지되었다(Figs. 4a,b and 7). 그러나 토양수분이 충분한 두 측정일(8월 19일, 8월 30일)간에도 XPP와 압력포텐셜의 변화에 차이를 보였으며 이 차이는 각각의 측정일에 있어서 기온과 대기

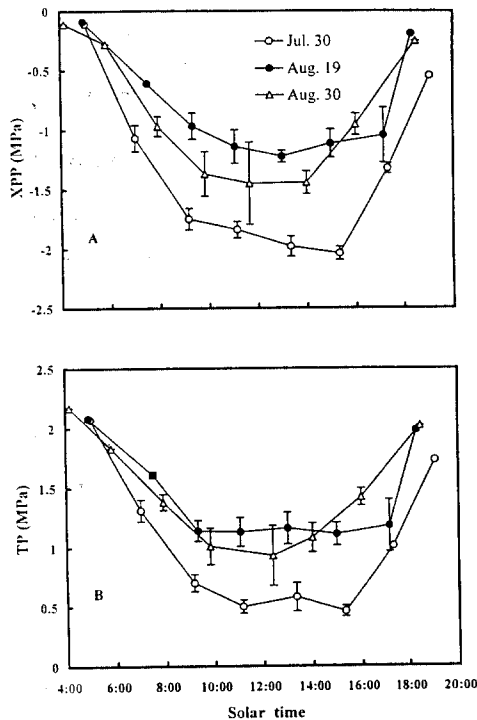


Fig. 4. Diurnal changes of xylem pressure potential (XPP) (A) and turgor potential (TP) (B) for *C. laxiflora*. Bars give \pm one standard error of the mean ($n=3$ to 6).

의 수증기 요구도의 차이와 잘 대응하고 있다 (Figs. 2, 4a, b and 7). 식물은 아침 일사량이 증가함에 따라 기공을 열고 광합성을 행하며, 이 동안 광합성의 수흡배에서 수백배에 달하는 물을 증산에 의해 잃는다(Dayidoff and Hanks 1988). 이러한 증산에 영향을 미치는 요인으로서는 일사량, 기온, 습도, 풍속, 토양 함수량 등이 있다(Salisbury and Ross 1992). 증산에 의해 잎의 함수량이 감소하면 잎의 수분포텐셜이 저하하고 식물에 수분스트레스가 발생한다(Hsiao 1973). 토양 수분이 충분한 경우에도 증가하는 증산량에 대한 흡수의 지연에 의해 낮 동안 식물에 수분스트레스가 발생한다. 그러나 이 경우의 약한 수분스트레스는 오후 일사량이 감소함에 따라 Gs가 감소하여 증산량이 줄어드는 저녁 무렵에는 완전히 회복된다(Kramer 1983, Slatyer 1967). 따라서 수분의 이동이 없고 토양과 식물체 사이에 수분평형이 이루어진 새벽 해뜨기전의 잎의 수분포텐셜은 토양의 수분포텐셜을 나타내는 지표로 이용된다(Hincley *et al.* 1983, Parker *et al.* 1982, Slatyer 1967). 비온 후 4일 이내의 8월 19일과 30일은 낮 동안 저하한 서어나무의 XPP가 오후 Gs의 저하와 함께 회복되어 새벽녘의 수준까지 상승하였다. 그러나 비온 후 13일이 경과했을 때는 Gs가 저하했음에도 불구하고 일몰까지 XPP가 회복하지 못하였다(Figs. 4a, b and 6). 토양 수분 부족으로 발생하는 수분스트레스는 증산이 없는 저녁 무렵에도 완전히 회복되지 못하고 토양이 건조해질수록 회복의 정도도 낮아져 다음날 낮 동안의 식물의 수분스트레스도 더욱 심해진다(Kramer 1983, Slatyer 1967). 서어나무에서 보여진 비온 후 경과일수에 따른 XPP의 회복의 차는 토양 속의 물의 이동에 대한 저항의 차에 기인하는 것으로 추정된다. 왜냐하면 토양속에서의 물의 이동속도는 저하한 XPP의 회복에 크게 영향을 미치지 때문이다(Gardner 1958, Hillel 1980, Kramer 1983).

한편 까치박달은 XPP의 최저치를 나타낸 7월 30일에도 서어나무에 비해 높은 값인 -1.44 ± 0.14 MPa를 나타내었을 뿐만 아니라 저하한 XPP도 오후 일몰과 함께 거의 새벽녘의 수준으로까지 회복하였다(Figs. 4a and 5a). 이것은 비온 후의 시간 경과에 따라 토양함수량이 저하하였지만 포장용수량 이상을 유지하였기 때문이며(Fig. 7), 그 결과 XPP와 압력포텐셜에는 크게 영향을 미치지 않았다(Fig. 5). 이것은 까치박달 분포지가 낙엽층이 두껍고 토양이 잘 발달하여 무강우기간에도 비교적 높은 토양함수량을 유지할 수 있었으며, 또한 계곡 쪽의 물 흐르는 곳에 위치하여 기온이 낮고 습도가 높아 대기의 수분요구도가 적은 것이 기여했을 것으로 추측된다.

까치박달은 서어나무에 비해 낮 동안 높은 XPP를 유지하였음에도 불구하고 전 측정기간을 통하여 서어나무보다 낮은 압력포텐셜을 나타내었다(Figs. 4 and 5). 뿐만 아니라 서어나무가

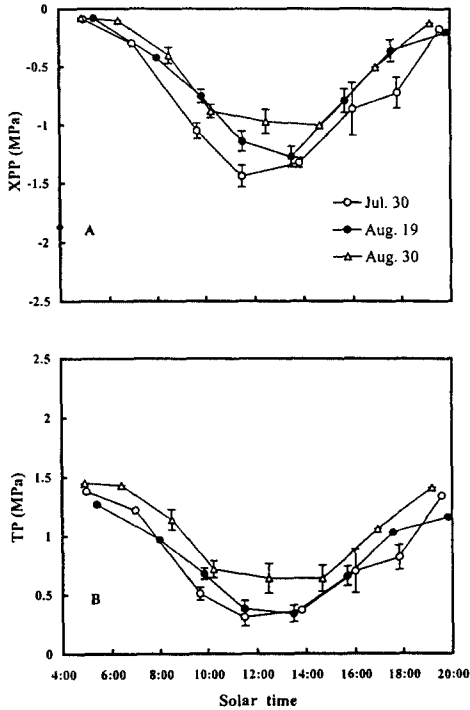


Fig. 5. Diurnal changes of xylem pressure potential (A) and turgor potential (TP) (B) for *C. laxiflora*. Bars give \pm one standard error of the mean ($n=3$ to 6).

화하는 것은 삼투조절(osmotic adjustment)로 잎의 수분포텐셜이 저하할 때 압력포텐셜을 유지시키는 중요한 기작이며 식물의 수분스트레스에 대한 중요한 적응방법이다(Doi *et al.* 1986, O'Neil 1983, Tyree *et al.* 1978).

Gs는 일사량, 습도, 잎의 압력포텐셜 그리고 토양의 수분포텐셜 등에 영향을 받는 것이 알려져 있다. (Davies *et al.* 1979, Schulze and Hall 1982, Turner and Begg 1981, Zhang and Davies 1988), 토양수분이 충분한 8월 19일의 서어나무에서 보여진 Gs의 저하는 일사량의 저하에 기인 하는 것으로 추측된다. 두 종간의 Gs를 비교해 보면 일 최고치가 서어나무에서 7월 30일에 9.5, 8월 19일에 6.5 그리고 8월 30일에 10.5 mm/sec를 나타낸 반면, 까치박달은 각각 7.1, 6.4 그리고 5.0 mm/sec를 나타내어, 서어나무가 까치박달보다 높은 Gs를 나타내었다(Fig. 6). 또한 그 변화 패턴에도 두 종간의 차이가 보여져 서어나무는 토양수분이 충분한 8월 30일을 제외하고 7월 30일에 두차례에 걸쳐서, 그리고 8월 19일에는 한차례에 걸쳐서 한 낮 동안의 Gs의 저하를 보였으나 까치박달에서는 한 낮 동안의 저하는 나타나지 않았다. 수분스트레스하에서 식물의 효율적인 기공조절은 증산과 광합성을 조절하여 물의 이용효율을 높이는 수분스트레스에 대한 생리적 적응방법 중의 하나이다(Cowan and Farquhar 1977, Turner and Begg 1981). 이러한 기공조절의 결과로 증산의 일변화에는 2가지 패턴이 보여진다(Larcher 1975). 하나는 아침 일사량의 증가와 함께 기공을 열어 광합성을 하고 한 낮의 12시 전후에 식물에 수분스트레스

무강우기간에 따라 오후의 압력포텐셜 회복에 차이를 보인데 비해, 까치박달은 측정일 모두에서 무강우기간에 관계없이 일몰시에는 거의 새벽녘의 압력포텐셜 정도까지 회복하였다. 식물의 압력포텐셜의 저하는 세포의 성장을 저하시키고, 기공의 폐쇄를 가져오며 광합성 속도를 저하시킨다(Boyer 1970). 그러므로 식물에서 잎의 수분포텐셜이 저하할 때 압력포텐셜을 높게 유지시키는 것은 압력포텐셜이 0이 될 때의 잎의 삼투포텐셜(Ψ_s^{tp}), 충분히 흡수했을 때의 삼투포텐셜(Ψ_s^{sat})과 관련되어 있다(O'Neil 1983, Tyree *et al.* 1978). 토양함수량의 감소로 두 종에서 XPP가 최저치를 나타낸 7월 30일에서의 Ψ_s^{tp} 는 서어나무에서 -2.94 ± 0.06 MPa, 까치박달에서 -2.38 ± 0.03 MPa이였으며 Ψ_s^{sat} 은 각각 -2.17 ± 0.04 MPa와 -1.47 ± 0.08 MPa 이었다. 이 결과는 XPP가 저하할 때 서어나무가 까치박달보다 높은 압력포텐셜을 유지하는 것을 나타내는 것으로 서어나무가 건조저항성(drought resistance)이 높은 것을 의미한다(Larcher 1975, Levitt 1972). 잎의 수분포텐셜과 압력포텐셜과의 관계는 대부분 Ψ_s^{tp} 에 의해 좌우된다. 또한 수분조건의 변동에 따라서 Ψ_s^{tp} 가 변

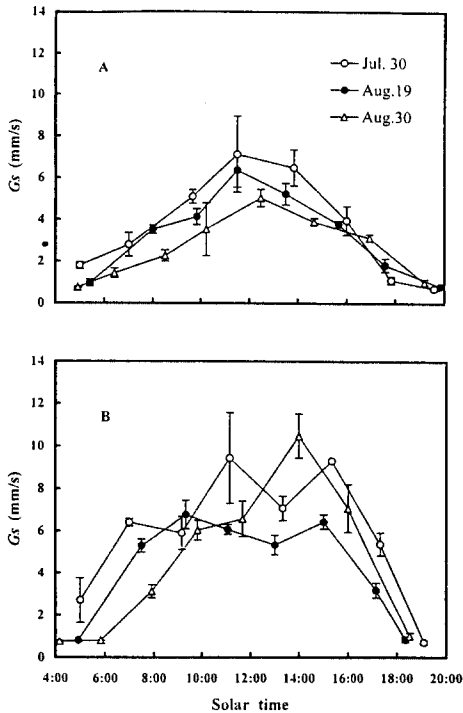


Fig. 6. Diurnal changes of stomatal conductance (Gs) for *C. cordata* (A) and *C. laxiflora* (B). Bars give \pm one standard error of the mean (n=3 to 6).

으로 부분적인 기공의 폐쇄 등의 건조회피적 성질을 나타내는 종으로 생각되며, 까치박달은 삼투포텐셜을 높게 가짐으로서 약간의 XPP저하에도 서어나무에 비해 압력포텐셜이 크게 저하하는 수분스트레스에 비교적 약한 종으로, 낮은 Gs를 유지시켜 수분스트레스를 피하는 건조회피성 종으로 판단된다. 흥미로운 사실은 이들 수분스트레스에 대한 두 종의 성질들이 야외에서 두 종이 분포하는 토양의 특성 특히, 수분의 보유 능력 등과 밀접한 관계를 보여준다는 것이다. 두 종의 분포지에서의 토양함수량의 변화를 보면, 비온 후 3일이 경과 된 8월 30일 서어나무 분포지의 낙엽층 함수량이 까치박달 분포지의 낙엽층 함수량보다 낮은 값을 나타내었으며, 이러한

가 발생하면 기공을 닫고, 오후 수분스트레스가 완화되면 다시 기공을 열어 광합성을 재개하는 식물로 스트레스에 비교적 민감한 건조회피성 식물(drought avoidance)이며, 또 다른 하나는 한 낮 동안의 수분스트레스하에서도 기공을 열고 계속 광합성을 하며 오후 일사량의 감소와 함께 기공을 닫는 건조 내성식물(drought tolerance)에 보여지는 기공 조절이다(Larcher 1975, Schulze and Hall 1982). 서어나무는 토양의 수분함량이 저하하였을 때 건조 회피적인 Gs패턴과 비슷한 기공반응을 보였으며, 까치박달은 측정일 모두에서 건조 내성적인 Gs패턴을 나타내었다(Fig. 6). 그러나 이러한 Gs의 변화 패턴 만으로 두 식물을 건조 회피성 식물과 건조 내성 식물로서 단정하기는 어렵다. 왜냐하면 서어나무에 비해 한 낮의 XPP는 까치박달이 높으면서도 압력포텐셜이 낮게 유지되었으며, 까치박달의 Gs의 최고치까지도 서어나무의 약 70%에 달하지 않았기 때문이다. 이러한 사실들을 종합해서 판단해보면, 서어나무는 낮은 삼투포텐셜을 유지하며 낮 동안 광합성 등의 대사를 원활하게 유지시키는 건조 내성적인 성질을 가지고 있으면서도 수분스트레스가 심화되면 일시적

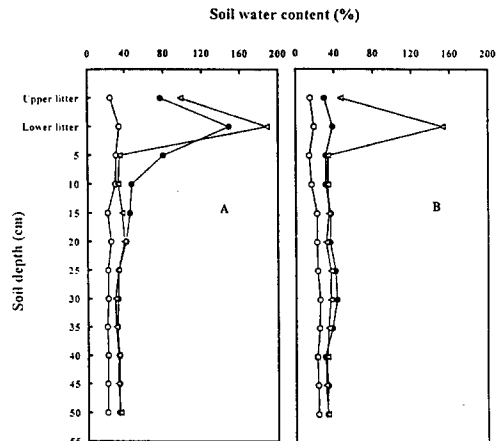


Fig. 7. Changes of soil water content at *C. cordata* site (A) and *C. laxiflora* site (B). Jul. 30 (○), Aug. 19 (●) and Aug. 30 (△). Each point represents the mean of triplicate measurements.

차이는 비온 후 13일이 경과한 7월 30일 더욱 현저하여, 지하 15 cm에서 까지도 토양함수량의 현저한 차이를 나타내었다(Fig. 7a and b).

이상의 결과에서 까치박달은 서어나무에 비해 건조저항성이 약한 건조회피성 식물이며, 서어나무는 건조내성 식물이지만 부분적으로는 건조회피적 성질도 갖는 식물임을 나타내 주고 있다. 또한 이들의 생육지 환경은 서어나무 분포지가 까치박달 분포지보다 수분스트레스가 발생하기 쉬운 환경이며, 까치박달 분포지는 수분환경이 온화한 생육지임을 나타내 주고 있다.

적 요

같은 속으로 비슷한 생활형을 가지면서도 국지적으로 그 분포를 달리하는 서어나무와 까치박달을 재료로 식물의 분포에 미치는 생리생태학적 성질의 영향을 밝히고자 두 종의 분포지에서의 환경요인 및 식물의 수분상태와 Gs의 일변화를 측정하였다. 까치박달이 분포하는 곳은 기온이 낮고 습도도 높게 유지되었을 뿐만 아니라 비온 후 13일이 경과하였을 때 토양 표면의 함수량도 포장용수량을 유지한데 비해 서어나무 분포지는 지하 15 cm까지 포장용수량에 도달하지 않았으며 기온도 까치박달 분포지보다 높아 수분스트레스가 발생하기 쉬운 환경이었다. 이러한 수분환경의 변화에 대해 서어나무는 낮은 삼투포텐셜을 유지시켜 XPP가 -2.04 MPa로 최저 값을 나타내었을 때도 0.46 MPa의 압력포텐셜을 나타낸 반면, 까치박달은 XPP가 서어나무보다 높은 -1.44 MPa임에도 불구하고 압력포텐셜은 0.37 MPa을 기록했다. 또한 서어나무는 낮 동안 까치박달보다 높은 Gs를 유지하였으며 까치박달은 서어나무에 비해 약 70%의 낮은 Gs를 유지하였다. 따라서 서어나무 분포지는 까치박달의 분포지와 수분환경적으로 서로 다르며, 서어나무가 까치박달에 비해 건조저항성이 큰 것이 확인되었다.

인용문헌

- 박용목 · 森川靖. 1993a. 까치박달과 서어나무의 광합성과 수분관계에 미치는 수분스트레스의 영향. 한국생물과학협회 학술발표대회 초록집. 147p.
- 박용목 · 森川靖. 1993b. 까치박달과 서어나무의 광합성과 수분관계에 미치는 체수의 영향. 한국생물과학협회 학술발표대회 초록집. 148p.
- 정태현 · 이우철. 1965. 한국삼림식물대 및 적지적수론. 성균관대학교 논문집 10:329-435.
- 한상섭. 1991. 수목의 수분특성에 관한 생리·생태학적 해석 (IV). P-V곡선법에 의한 낙엽수 20종의 내건성 진단. 한국임학회지 80:210-219.
- 한상섭 · 김광륜. 1980. 수목의 수분특성에 관한 생리·생태학적 해석 (I). Pressure chamber technique에 의한 내건성 수종의 진단. 한국임학회지 50:25-28.
- Anonymous. 1991. Annual Weather Report. Korea Meteorological Administration. 38p.
- Baxter, R., M. Gantly, T.W. Ashenden and J.F. Farr. 1994. Effects of elevated carbon dioxide on three grass species from montane pasture. II. Nutrient uptake, allocation and efficiency of use. J. Expt. Bot. 45:1267-78.
- Boyer, J.S. 1970. Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soybean and sunflower at various leaf water potentials. Pl. Physiol. 46:233-235.
- Chapin, F.S., A.J. Bloom, C.F. Field and R.H. Waring. 1987. Plant responses to multiple

- environmental factors. *Bioscience* 37:49-57.
- Cowan, I.R. and G.D. Farquhar. 1977. Stomatal function in relation to leaf metabolism and environment. *Symposium of the Society for Experimental Biology* 31:471-505.
- Davidoff, B. and R.H. Hanks. 1988. Sugar beet production as influenced by limited irrigation. *Irrigation Science* 10:1-7.
- Davies, W.J., T.A. Mansfield and A.R. Wellburn. 1979. A role for abscisic acid in drought endurance and drought avoidance. *In* F. Skoog (ed.), *Plant Growth Substances*. Springer-Verag, Berlin and New York. pp. 242-253.
- Doi, K., Y. Morikawa and T.M. Hinckley. 1986. Seasonal trends of several water relation parameters in *Cryptomeria japonica* seedlings. *Can. J. For. Res.* 16:74-77.
- Fitter, A.H. and R.K.M. Hay. 1987. *Environmental Physiology of Plants*. Academic Press, New York. 423p.
- Gardner, W.R. 1958. Some steady state solutions of the unsaturated moisture flow equation with application to evaporation from a water table. *Soil Science* 85:228-232.
- Hillel, D. 1980. *Fundamentals of Soil Physics*. Academic Press, New York. 428p.
- Hinckley, T.M., R.O. Teskey, F. Duhme and H. Richter. 1983. Temperate hardwood forests. *In* T.T. Kozlowski (ed.), *Water Deficits and Plant Growth*, Vol. II, Academic Press, New York. pp. 154-208.
- Hsiao, T.C. 1973. Plant responses to water stress. *Ann. Rev. Pl. Physiol.* 24:519-570.
- Jones, H.G. 1992. *Plants and Microclimate*. Cambridge University Press, New York, 428p.
- Kim, J.W. 1992. *Vegetation of Northeast Asia, on the Syntaxonomy and Syngéography of the Oak and Beech Forests*. Ph.D. Dissertation, Vienna Univ., Vienna. 314p.
- Kramer, P.J. 1983. *Water Relations of Plants*. Academic Press, New York. 489p.
- Larcher, W. 1975. *Physiological Plant Ecology*. Springer-Verag, Berlin. 252p.
- Levitt, J. 1972. *Responses of Plants to Environmental Stresses*. Academic Press, New York. 697p.
- Maruta, E. 1976. Seedling establishment of *Polygonum cuspidatum* on Mt. Fuji. *Jap. J. Ecol.* 23:101-105.
- Masaki, T.W., W. Suzuki, K. Niyama, S. Iida, H. Tanaka and T. Nakashizuka. 1992. Community structure of a species-rich temperate forest, Ogawa Forest Reserve, central Japan. *Vegetatio* 98:97-111.
- O'Neil, S.D. 1983. Role of osmotic potential gradients during water stress and leaf senescence in *Fragaria virginiana*. *Pl. Physiol.* 72:938-944.
- Osmond, C.B., M.P. Austin, J.A. Berry, W.D. Billings, J.S. Boyer, J.W.H. Darcey, P.S. Nobel, S.D. Smith and W.E. Winner. 1987. Stress physiology and the distribution of plants. *BioScience* 37:38-48.
- Park, Y.-M. 1989. Factors limiting the distribution of *Digitaria adscendens* and *Eleusine indica* at a rear coastal sand dune in Japan. *Ecol. Res.* 4:131-144.
- Parker, W.C., S.G. Pallady, T.M. Hincley and R.O. Teskey. 1982. Seasonal changes in tissue water relations of three woody species of the *Quercus-Carya* forest type. *Ecology*

- 63:1259-1267.
- Richards, M.B., W.D. Stock and R.M. Cowing. 1995. Water relations of seedlings and adults of two *Fynbos protea* species in relation to their distribution patterns. *Func. Ecol.* 9:575-583.
- Rodrigues, M.L., C.M.A. Pacheco and M.M. Chaves. 1995. Soil-plant water relations, root distribution and biomass partitioning in *Lupinus albus* L. under drought conditions. *J. Expt. Bot.* 46:947-956.
- Salisbury, F.B. and C.W. Ross. 1992. *Plant Physiology*. Wadsworth Publishing Company, California. 682p.
- Schulze, E.D. and A.E. Hall. 1982. Stomatal responses, water loss and CO₂ assimilation rates of plants in contrasting environments. *In* O.L. Lange, P.S. Nobel, C.B. Osmond and H. Ziegler (eds.), *Encyclopedia of Plant Physiology*. Springer-Verlag, Berlin. pp. 181-230.
- Slatyer, R.O. 1967. *Plant Water Relationships*. Academic Press, New York. 366p.
- Turner, N.C. and J.E. Begg. 1981. Plant water relations and adaptation to stress. *Plant and Soil* 58:97-131.
- Tyree, M.T., Y.N.S. Chenug, M.E. Macgregor and A.J.B. Talbot. 1978. The characteristics of seasonal and ontogenic changes in the tissue-water relations of *Acer*, *Populus*, *Tsuga* and *Picea*. *Can. J. Bot.* 56:635-647.
- 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. Expt. Bot.* 23:267-282.
- Yura, H. 1989. Comparative ecophysiology of *Lalix kaempferi* and *Abies veitchii*. I. Seedling establishment on bare ground on Mt. Fuji. *Ecol. Res.* 3:67-73.
- Zhang, J. and W.J. Davies. 1988. Abscisic acid produced in dehydrating roots may enable the plant to measure the water status of the soil. *Plant Cell and Environment* 12:73-81.

(1996년 9월 3일 접수)