

# 까치박달과 서어나무의 광합성과 수분관계에 미치는 토양 침수의 영향

박 용 목

청주대학교 이공대학 생물학과

## The Effect of Soil Flooding on Photosynthesis and Water Relations of *Carpinus cordata* and *Carpinus laxiflora*

Park, Yong-Mok

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

### ABSTRACT

To explain allopatric distribution of *Carpinus cordata* and *C. laxiflora* in the field the effect of soil flooding on photosynthesis and water relations was tested with field grown saplings. Under the flooding condition stomatal conductance of *C. laxiflora* decreased markedly from day two after flooding treatment and remained low throughout the experiment. In contrast, flooding had no effect on stomatal conductance of *C. cordata* throughout the experiment. The rate of photosynthesis of *C. laxiflora* was significantly suppressed under flooding conditions, whereas that of *C. cordata* was not affected in the flooded condition. On day seven after flooding treatment xylem pressure potential of *C. laxiflora* significantly decreased. Flooding, however, did not have any effect on the xylem pressure potential of *C. cordata* throughout the experiment.

From these findings it is concluded that there is a difference in resistance to flooding between *C. cordata* and *C. laxiflora* and that one of the factors responsible for allopatric distribution in the two species is flooding.

**Key words:** Allopatric distribution, Flooding, Photosynthesis, Stomatal conductance, Xylem pressure potential.

### 서 론

야외에서 생활하고 있는 식물은 때때로 환경스트레스를 경험하며, 이들 환경스트레스에 대해 반응하고 적응하며 살아간다(Osmond *et al.* 1987, Park 1989). 환경스트레스에 대한 식물들의 반응은 종에 따라 다르게 나타나며, 이러한 다양한 반응은 때때로 야외에서의 국지적인 식물분포 범위를 결정하는

결정적 역할을 하기도 한다(Park 1989, Yura 1989). 그러므로 환경스트레스에 대한 식물의 반응을 평가하는 것은 야생식물의 생활을 이해하는 데 중요하다.

까치박달과 서어나무는 한국을 비롯하여 중국, 일본 등에 널리 분포하는 같은 속의 식물로서 까치박달이 비교적 계곡을 중심으로 습한 곳에 많이 분포하며, 물이 흐르는 계곡의 바닥에 까지도 분포하는 반면, 서어나무는 비교적 심하게 습한 곳을 제외한 경사지나 산등성이에 이르기 까지 비교적 넓은 범위에

결쳐서 분포하는 것이 알려지고 있다(박 1996, Masaki *et al.* 1992, Shibata and Nakashizuka 1995). 그러나 까치박달과 서어나무의 특성과 관련된 연구로는 내건성(박 1996), 종자생산(Shibata and Nakashizuka 1995), 균집구조(Masaki *et al.* 1992)에 관한 연구가 있을 뿐으로, 이들 종의 이소적 분포 기작은 아직 밝혀져 있지 않은 실정이다. 따라서 이들 종의 이소적 분포 기작을 밝히기 위한 두 종의 특성에 관한 보다 많은 연구가 요구되고 있다.

본 연구에서는 까치박달과 서어나무의 광합성과 수분관계에 미치는 침수(flooding)의 영향을 파악하고, 두 종의 야외분포와 이들 성질과의 관계를 고찰하고자 한다.

## 재료 및 방법

1989년 9월 일본의 이바라기현에 있는 오가와 학술보호림(Shibata and Nakashizuka 1995)에서 건강하고 크기가 비슷한 2~3년생의 까치박달과 서어나무 유목을 채취하여 토양(silty-clay loam)을 채운 직경 7 cm, 높이 80 cm의 화분에 이식시키고 이듬해 3월까지 25°C의 자연광 온실에서 순응시켰다. 이때 화분의 겉을 알루미늄 호일로 감싸서 뿌리생장에 미치는 광의 영향을 차단하였다. 이들 식물을 상대습도 70%, 온도 25°C, 500  $\mu\text{mole m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (명기: 14시간, 암기: 10시간) 광조건의 환경조절실로 옮겨 2주일간 다시 순응시킨 후 실험재료로 사용하였다. 이 중에서 받은 처리를 하지 않은 대조구로, 나머지 받은 침수처리를 실시하였다. 침수처리는 직경 70 cm, 높이 100 cm의 대형 플라스틱 통에 수돗물을 채우고, 상기의 아크릴 화분을 침수시켜 토양표면에서 1 cm 높이까지 수위가 유지되도록 하였으며 물은 실험이 끝날 때까지 갈지 않았다. 실험은 12일간 실시하였으며 침수 처리 후 매일 정해진 시각(명기 시작 2시간 후)에 기공전도도(stomatal conductance)와 광합성을 측정하였다. 또한 침수에 의한 건조효과를 파악하기 위하여 처리 단계의 3회에 걸쳐서 식물체의 수분포텐셜(xylem pressure potential)을 측정하였다. 광합성은 휴대용 광합성 측정시스템(LCA-2, ADC, UK)을 이용하여 측정하였으며, 기공전도도는 steady state porometer(LI-1600, Li-Cor, USA)를 이용하여, 그리고 식물의 수분포텐셜은 압력통(M-600, PMS, USA)을 이용하여 측정하였다. 각 측정은 6~8회 반복하여 실시하였다.

## 결과 및 고찰

침수처리에 의한 기공전도도의 반응은 까치박달과 서어나무에서 현저한 차이를 나타내었다(Fig. 1). 까치박달의 기공전도도는 전 실험기간을 통하여 대조구와 침수처리구 사이에 유의

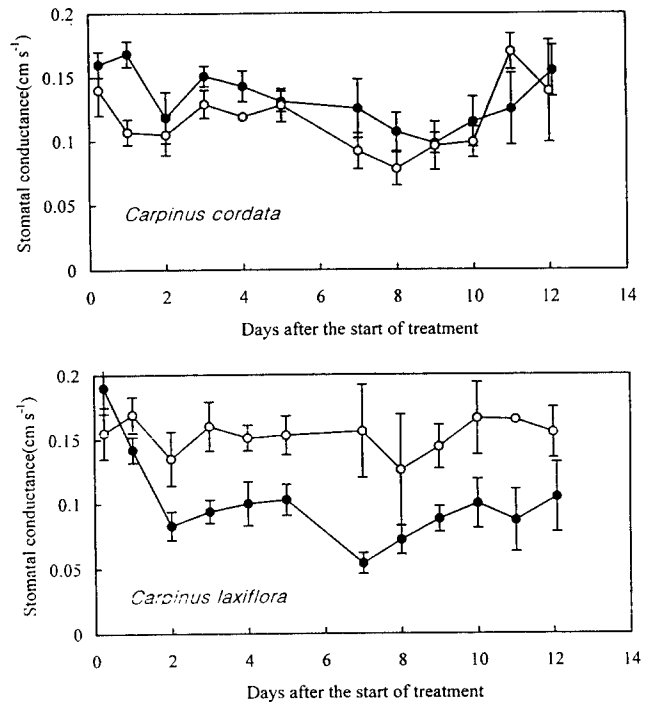
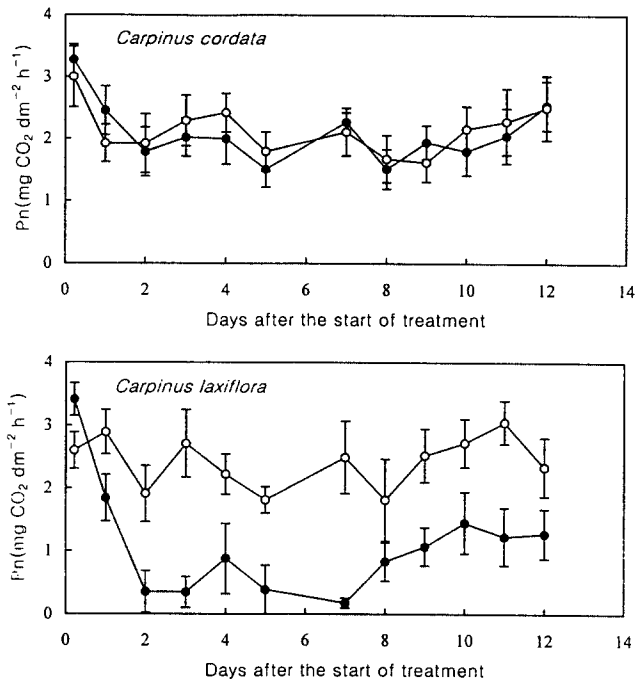
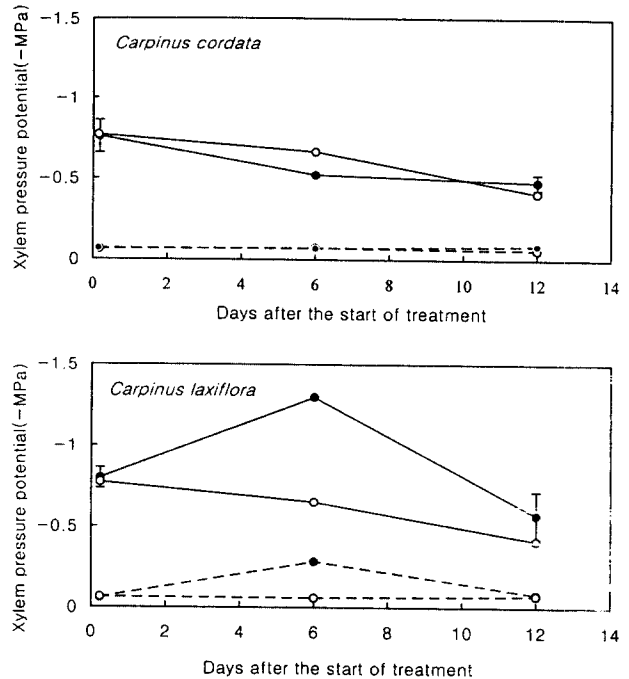


Fig. 1. Stomatal conductance of flooded(●) and non-flooded(○) *Carpinus* saplings. Bars give  $\pm$  standard error of the mean ( $n = 6$  to 8).

차가 보이지 않았으며, 최고 0.17  $\text{cm/s}$ 에서 최저 0.07  $\text{cm/s}$ 사이에서 변화하였다(Fig. 2). 반면, 서어나무는 침수처리 2일째부터 대조구에 비해 기공전도도가 현저하게 저하하여 대조구의 약 50% 수준을 유지하였으며, 0.05  $\text{cm/s}$ 를 나타낸 처리 7일째에 최저치를 기록하였다(Fig. 1). 많은 농작물에서는 침수 후 수 시간 이내에 앱시스산(abscisic acid)이 증가하여 기공을 닫게 하는 것이 알려지고 있다(Miborrow 1974). 따라서 서어나무에서 보여진 기공전도도의 급격한 저하는 앱시스산의 증가에 의한 것으로 추측된다. 두 종의 침수에 대한 기공전도도의 차는 광합성 속도에 그대로 반영되어 나타났다. 까치박달의 광합성 속도가 침수처리에 관계없이 대조구와 처리구에서 비슷한 값을 나타낸데 비해, 서어나무는 처리 2일째부터 처리구의 광합성 속도가 현저하게 저하하여 3일째는 처리 시작일에 비해 약 90%나 저하하였으며, 처리 후 7일째는 초기 광합성의 95%까지 저하하였다(Fig. 2). 저하하였던 서어나무의 광합성 속도는 처리 후 7일을 기점으로 회복하기 시작하여 처리 10일 이후 대조구의 약 50%까지 회복하였으나 더 이상의 회복은 보여지지 않았다. 식물체가 침수되었을 때 나타나는 전형적인 현상은 기공전도도의 감소에 의한 광합성 속도의 감소로(Kozlowski 1984, Kozlowski and Pallardy 1984), 침수 후 하루 혹은 2일 내에 나타난다(Bazzaz and Peterson 1984,



**Fig. 2.** Net photosynthesis(Pn) of flooded(●) and nonflooded(○) *Carpinus* saplings. Bars give  $\pm$  standard error of the mean(n = 6 to 8).



**Fig. 3.** Xylem pressure potential of flooded(●) and nonflooded(○) *Carpinus* saplings at dark(---) and light(---) conditions. Bars give  $\pm$  standard error of the mean(n = 6 to 8).

Davies and Flore 1986, Pezeshiki and Chambers 1985a, b, Regehr *et al.* 1975). 그러나 이처럼 저하한 기공전도도와 광합성 속도의 회복은 식물 종에 따라 크게 달라, 어떤 종은 2 주 이내에 약 90%까지 회복하는 종도 있지만, 어떤 종은 회복하지 못하는 종도 있다(Bradford 1983a, b). 서어나무에서 보여진 침수에 의한 광합성 속도의 변화는 침수 민감성 식물에서 보여지는 전형적인 현상이며(Kozlowski and Pallardy 1984, Zaerr 1983), 이러한 원인으로서는 기공전도도의 저하, 광합성 효소의 활성 변화, 클로로필 함량의 저하 등에 의한 것이 알려지고 있다(Kozlowski 1982). 그 결과 침수 민감성 식물은 뿌리와 지상부의 생장이 급격하게 감소하며, 특히 뿌리의 선단 부분이 크게 상해를 받는 것으로 알려지고 있다(Jackson 1979). 반면, 침수 내성식물에서는 기공전도도나 광합성에 침수의 영향이 거의 없으며, 일부 식물에서는 오히려 생장이 개선된 것이 알려지고 있다(Dickson and Broyer 1972).

침수에 따른 xylem pressure potential(XPP<sub>dark</sub>)의 변화를 보면, 까치박달에서는 낮 동안 저하한 xylem pressure potential(XPP<sub>light</sub>)이 암조건에서의 XPP<sub>dark</sub>에서 완전히 회복되었음을 나타내어 침수처리의 영향을 전혀 받지 않은 것으로 나타났다(Fig. 3). 그러나 서어나무에서는 기공전도도와 광합

성 속도가 최저로 저하한 침수처리 7일째에 대조구의 XPP<sub>dark</sub>가 -0.05 MPa, XPP<sub>light</sub>가 -0.72 MPa를 나타내는데 비해 침수처리구에서는 각각 -0.23, -1.33 MPa를 나타내었다(Fig. 3). 이것은 광조건하에서 증산에 의해 저하한 수분포텐셜이 밤 동안에도 회복하지 못한 것을 나타내며 수분흡수 장애에 의한 심한 수분 스트레스 상태를 나타낸다. 식물이 침수되어 뿌리가 혐기적인 조건에 놓이게 되면 뿌리로부터의 물 이동의 저항이 커져 지상부에 수분스트레스가 발생하며, 그 결과 침수 민감성 식물에서는 침수 초기부터 생장이 감소한다(Jackson 1979, Kramer and Jackson 1954, Mees and Weatherley 1954). 서어나무에서 저하한 수분포텐셜(XPP<sub>dark</sub>와 XPP<sub>light</sub>)은 침수처리 12일째에 회복하여 대조구와 유사한 값을 나타내었다. 이러한 수분포텐셜의 회복에도 불구하고 기공전도도와 광합성 속도는 거의 변하지 않았다(Fig. 1, 2).

본 실험 종료 후 서어나무의 지하부 관찰에서 일부의 가는 뿌리가 발생한 것이 발견된 것(미발표)을 고려할 때, 새롭게 발생한 가는 뿌리가 수분 흡수를 일부 개선시킨 결과, 서어나무의 수분포텐셜이 회복되었을 가능성이 있다. 그러나 침수처리 12일째의 수분포텐셜의 회복에도 불구하고 기공전도도와 광합성 속도는 완전히 회복되지 않았다. 따라서 서어나무에서

가는 뿌리 발생에 의한 침수 개선효과는 적다고 할 수 있을 것이다. 이러한 예는 가는 뿌리의 발생에 의해 일시적인 기공전도도의 개선이 보여졌지만 전체적인 생장효과는 없었던 토마토에서도 나타난다(McNamara and Mitchell 1989). 따라서 본 연구 결과로 볼 때 까치박달은 침수 내성형, 서어나무는 침수 민감형 식물에 가깝다고 사료되며, 야외에서의 두 종의 분포와 잘 부합되는 결과로 생각된다. 그러나 이들 분포에 기여하는 침수의 영향을 완벽하게 설명하기 위해서는 종의 생존 차원에서 보다 장기적인 연구가 필요할 것이다.

## 적 요

같은 속으로 계곡의 물가에 주로 분포하는 까치박달과 물가 주위에 분포하지 않는 서어나무의 이소적 분포 특성을 규명하기 위한 기초적 연구로서, 두 종의 분포지에서 채취한 유목을 재료로 기공전도도, 광합성 그리고 수분관계 미치는 침수의 영향을 연구하였다. 그 결과 침수처리 2일째부터 서어나무의 기공전도도와 광합성은 대조구에 비해 현저히 감소하여 처리 7일째는 대조구의 95%까지 광합성이 감소하였다. 또한 이 기간의 xylem pressure potential도 현저한 저하를 나타내었다. 반면, 까치박달의 기공전도도와 광합성 속도는 대조구와 처리구 사이에 차가 나타나지 않았으며 xylem pressure potential에서도 처리간의 차가 없었다. 따라서 이러한 침수에 대한 반응의 차는 적어도 두 종의 야외에서의 분포에 기여하고 있다는 것을 시사하고 있다.

## 인 용 문 헌

- 박용목. 1996. 이소적 두 수종의 수분관계 일변화. 한국 생태학회지 19: 453-463.
- Bazzaz, F.A. and D.L. Peterson. 1984. Photosynthetic and growth responses of silver maple(*Acer saccharinum* L.) seedlings to flooding. Am. Midl. Nat. 112: 261-272.
- Bradford, K.J. 1983a. Effects of soil flooding on leaf gas exchange of tomato. Pl. Physiol. 73: 475-479.
- Bradford, K.J. 1983b. Involvement of plant growth substances in the alteration of leaf gas exchange of flooded tomato plants. Pl. Physiol. 73: 480-483.
- Davies, F.S. and J.A. Flore. 1986. Gas exchange and flooding stress of highbush and rabbit eye blueberries. J. Am. Soc. Hort. Sci. 111: 565-571.
- Dickson, R.E. and T.C. Broyer. 1972. Effect of aeration, water supply and nitrogen source on growth and development of tupelo gum and bald cypress. Ecology 53: 626-634.
- Jackson, M.B. 1979. Rapid injury to peas by soil waterlogging. J. Sci. Food Agri. 30: 143-152.
- Kozlowski, T.T. 1984. Responses of woody plants to flooding. In T.T. Kozlowski(ed.), Flooding and Plant Growth. Academic Press, New York. pp. 129-163.
- Kozlowski, T.T. 1982. Water supply and tree growth. Part II. Flooding. For. Abstr. 43: 145-161.
- Kozlowski, T.T. and S.G. Pallardy. 1984. Effect of flooding on water, carbohydrate and mineral relations. In T.T. Kozlowski(ed.), Flooding and Plant Growth. Academic Press, New York. pp. 165-194.
- Kramer, P.J. and W.T. Jackson. 1954. Causes of injury to flooded tobacco plants. Pl. Physiol. 29: 241-245.
- McNamara, S.T. and C.A. Mitchell. 1989. Differential flood stress resistance of two tomato genotypes. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 114: 976-980.
- Masaki, T., W. Suzuki, K. Niiyama, 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.
- Mees, G.C. and P.E. Weatherley. 1957. The mechanism of water absorption by roots. II. The role of hydrostatic pressure gradients. Proc. R. Soc. London Ser. B 147: 381-391.
- Milborrow, B.V. 1974. The chemistry and physiology of abscisic acid. Annu. Rev. Pl. Physiol. 25: 259-307.
- Osmond, C.B., M.P. Austin, J.A. Berry, W.D. Billings, J.S. Boyer, J.W.H. Dacey, 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 *Elusine indica* on coastal sand dunes in Japan. Ecol. Res. 4: 131-144.
- Pezeshki, S.R. and J.L. Chambers. 1985a. Stomatal

- and photosynthetic response of sweet gum(*Liquidambar styraciflua*) to flooding. Can. J. For. Res. 15: 371-375.
- Pezeshki, S.R. and J.L. Chambers. 1985b. Responses of cherrybark oak (*Quercus falcata* var. *pagodaefolia*) seedlings to short-term flooding. Can. J. For. Res. 31: 760-771.
- Regehr, D.L., F.A. Bazzaz and W.R. Boggess. 1975. Photosynthesis, transpiration and leaf conductance of *Populus deltoides* in relation to flooding and drought. Photosynthetica 9: 52-61.
- Shibata, M. and T. Nakashizuka. 1995. Seed and seedling demography of four co-occurring *Carpinus* species in a temperate deciduous forest. Ecology 76: 1099-1108.
- Yura, H. 1989. Comparative ecophysiology of *Larix kaempferi*(Lamb.) Carr. and *Abies veitchii* Lindl. I. Seedling establishment on bare ground on Mt. Fuji. Ecol. Res. 3: 67-73.
- Zaerr, J.B. 1983. Short-term flooding and growth net photosynthesis in seedlings of three conifers. For. Sci. 29: 71-78.

(1997년 4월 11일 접수)