



본 연구에서는 냉온대림의 주요 구성 종으로 산지에 폭넓게 분포하며, 조경수로 이용되고 있는 느티나무(*Zelkoba serrata* Makino)와 자작나무(*Betula platyphylla* var. *japonica* Hara) 그리고 미국에서 도입되어 조경수로 많은 애호를 받고 있는 백합나무(*Liriodendron tulipifera* L.)를 재료로 하여 각종의 내건성 특성을 비교함으로써 임목 육종과 적지 선정에 대한 기본적인 정보를 제공하고자 한다.

**재료 및 방법**

재료 식물은 청주대학교 구내에 식재되어 있는 느티나무(*Z. serrata*), 자작나무(*B. platyphylla* var. *japonica*), 백합나무(*L. tulipifera*)를 사용하였으며, 실험은 7월에 실시하였다. 모든 실험 재료는 흉고 직경이 약 20 cm 전후의 개체로부터 채취하였다. 재료의 채취는 증산이 멈춘 일몰 직후에 실시하였다. 미리 산소를 제거시킨 물이 든 bucket을 준비한 다음, 식물 가지를 절단하여 물 속에서 다시 잘라 도관 내의 물기등을 연결시켜 실험실로 운반하였다. 이 가지를 polyethylene bag으로 덮어 씌워 암실에서 12시간 충분히 흡수시킨 뒤 잎을 채취하여 Pressure-volume (P-V) 해석에 이용하였다(Osonubi and Davies 1981, 한 1991). 분석을 끝낸 잎은 80℃에서 48 시간 건조시켜 건조 중량을 구하였으며, 이것을 바탕으로 P-V curve를 완성시키고, 이 그래프로부터 내건성과 관련한 수분 관계 특성을 구하였다(Maruyama and Morikawa 1983).

**결과 및 고찰**

Table 1은 3 종의 수분 관계 특성을 나타낸다. 상대함수량은 세포의 크기가 다른 종에서 수분 상태를 비교할 수 있는 좋은 지표로서, 아래와 같은 식으로 나타낸다(식 1). 상대함수량(RWC, relative water content)은 잎이 물로서 포화되었을 때(SW, saturation weight)와 건조하였을 때(DW, dry weight)의 수분 함량에 대해 채취 당시의 잎(FW, fresh weight)의 수분 함량(fresh weight - dry weight)을 백분율로 나타낸다.

$$RWC = \frac{FW - DW}{SW - DW} \times 100 (\%) \quad \text{----- (식 1)}$$

Table 1. Water relation parameters estimated from pressure-volume curves in the leaves of three tree species.  $\psi^{t_{lp}}$ , osmotic potential at turgor loss point;  $RWC^{t_{lp}}$ , relative water content at turgor loss point;  $\psi^{full}$ , osmotic potential at full turgor. Values (mean  $\pm$  SE) are based on data of three to five leaves.

Species	$\psi^{t_{lp}}$ (-MPa)	$RWC^{t_{lp}}$	$\psi^{full}$ (-MPa)
<i>Z. serrata</i>	2.54 $\pm$ 0.02	0.76 $\pm$ 0.07	2.10 $\pm$ 0.15
<i>B. platyphylla</i> var. <i>japonica</i>	2.24 $\pm$ 0.16	0.79 $\pm$ 0.04	1.90 $\pm$ 0.03
<i>L. tulipifera</i>	2.03 $\pm$ 0.11	0.82 $\pm$ 0.18	1.77 $\pm$ 0.18

세포가 수분을 잃고 원형질 분리가 일어나기 시작하는 turgor loss point에서의 삼투포텐셜은 느티나무에서 -2.54 MPa로 가장 낮은 값을 나타내었으며, 자작나무에서는 -2.24 MPa, 백합나무에서는 -2.03 MPa로 가장 높은 값을 나타내었다. 일반적으로 내건성이 강한 식물 종은 한계원형질분리점에서의 삼투포텐셜과 충분히 팽윤된 상태에서의 삼투포텐셜을 낮게 가짐으로서 잎의 함수량이 약간 저하할 때 수분포텐셜이 급격히 저하해서 흡수 능력을 높힘과 동시에 상당히 낮은 수분포텐셜까지 압력 포텐셜을 유지하고 있다. 반면, 내건성이 약한 수종은 수분포텐셜 저하가 완만하며 비교적 높은 수분포텐셜에서 압력포텐셜이 0이 되어 한계원형질분리가 시작되는 것이 알려져 있다(Hinckley et al. 1978). Fig. 1은 3 종의 수분포텐셜 저하에 따른 압력포텐셜의 변화를 나타낸 것으로, 한국과 같은 온대지방에서 토양 수분이 잘 공급될 때, 식물이 한 낮에 경험하는 수분포텐셜인 -1.5 MPa를 중심으로 비교해 보면, 백합나무는 약 0.3 MPa의 압력포텐셜을 기록하여 0.55 MPa의 자작나무에 비해서도 낮은 값을 나타내었다(Fig. 1). 이에 반해 같은 수분포텐셜 하에서 느티나무는 0.90 MPa의 비교적 높은 압력포텐셜을 유지하였다. 증산에 의해 세포의 함수량이 감소하면 수분포텐셜이 감소하여 잎에 수분스트레스가 발생하며(Hsiao 1973), 이에 대해 식물은 여러 가지 다양한 형태로 반응하고 적응하며 살아가고 있다(Schulze et al. 1987). 수분스트레스 하에서 세포의 팽압을 유지하는 것은 식물 세포의 생장이나 광합성에 있어서 매우 중요하다. 왜냐하면, 수분스트레스 하에서 팽압을 높

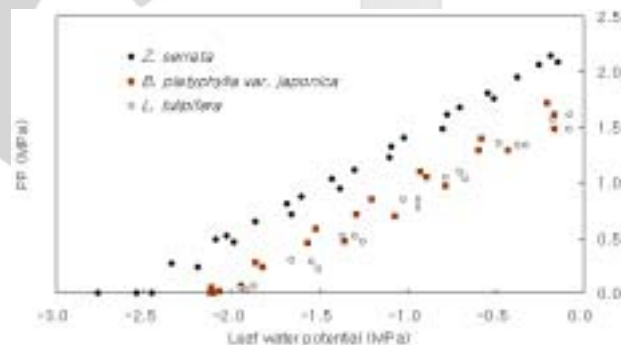


Fig. 1. Relationship between leaf water potential and pressure potential (PP) of *Z. serrata*, *B. platyphylla* var. *japonica* and *L. tulipifera*.

게 유지할수록 높은 기공개도를 유지하여 광합성을 유지할 수 있을 뿐만 아니라 세포의 생장은 잎의 광합성보다 수분스트레스에 더욱 민감하므로 생장에 있어서 팽압의 유지는 필수적이기 때문이다(Boyer 1970, Turner and Jones 1980). 따라서 수분스트레스 하에서 식물이 어떻게 팽압을 유지해 가는가 하는 것은 식물의 중요한 적응 전략의 하나로 평가된다(Turner and Jones 1980, Osonubi and Davies 1981). 이런 점을 고려할 때 본 연구에서 보여진 느티나무와 백합나무에서의 한계원형질분리점에서의 삼투포텐셜의 차이는 팽압의 유지 능력을 나타낼 뿐만 아니라 수분스트레스에 대한 저항성의 차이를 나타내 준다고 할 수 있다. 일반적으로 내건성이 강한 품종은 한계원형질분리점과 팽윤 상태에서의 삼투포텐셜을 낮게 가지는 특징이 있다(Hinckley et al 1978). 또한 세포벽의 뛰어난 신축성에 의해 잎의 수분포텐셜이 저하할 때 세포벽이 신속하게 수축할 수 있는 능력도 강한 내건성으로 설명된다(Maruyama and Morikawa 1983). 수분스트레스 하에서 팽압을 높게 가지는 방법으로는 서서히 수분스트레스가 진행될 때 세포내에 당이나 염류와 같은 삼투 조절 물질을 능동적으로 세포내에 축적하여 삼투조절을 행함으로써 삼투포텐셜을 낮추거나 탄성이 높은 세포벽을 가짐으로서 잎의 수분포텐셜이 저하할 때 세포벽을 수축시켜 낮은 수분포텐셜 하에서도 팽압을 유지하는 방법이 알려져 있다(Nunes et al. 1989, Fan et al. 1994). 또한 식물에 따라서는 항상 세포 속에 삼투적으로 작용하는 물질을 다량 함유하고 있는 식물이 있으며, 염생식물이 그 대표적인 예가 될 것이다. 본 연구에서는 비록 잎의 수분포텐셜이 감소할 때 느티나무와 백합나무에서 압력포텐셜의 큰 차이가 보여졌다 하더라도 단기적인 삼투조절에 의한 차이는 아닌 것으로 판단된다(Table 1, Fig. 1). Fig. 2는 삼투적으로 작용하는 수분량에 대한 상대치를 나타내 주는 세포의 자유수 함량 변화에 대한 압력포텐셜의 변화를 나타낸 것이다. 이것을 보면 자유수 함량의 감소에 따라 세 종 모두가 압력포텐셜의 감소를 보여 주고 있다. 자유수가 약 5% 감소하였을 때 백합나무의 압력포텐셜은 0.58 MPa를 유지하였

지만 자작나무는 0.81 MPa, 느티나무는 0.84 MPa로 자작나무와 느티나무는 비슷한 정도의 압력포텐셜을 유지하였다. 그러나 자유수 함량이 10%로 감소하였을 때는 3 종의 차이는 더욱 분명해져 느티나무가 0.52 MPa, 자작나무가 0.32 MPa, 백합나무가 0.25 MPa를 나타내었다. 그 결과 전체적으로는 느티나무가 가장 완만한 곡선을 나타내고, 그 다음이 자작나무, 백합나무 순이었다. 따라서 삼투적인 세포 용량이 줄어들 때 세포벽이 함께 수축하는 정도가 백합나무에 비해 느티나무에서 크다는 것을 의미한다. 이것은 수분스트레스에 의해 세포의 함수량이 감소할 때 백합나무의 팽압 감소가 느티나무에 비해 크다는 것을 나타낸다. 이러한 결과는 또한 한계원형질분리점에서의 상대 함수량 결과로부터도 뒷받침되고 있다(Table 1). 그러므로 3 종 중에서는 백합나무가 내건성이 가장 약한 식물이며, 느티나무와 자작나무는 백합나무에 비해 내건성이 강한 식물임을 알 수 있다. 이 결과는 토양의 수분 상태가 나빠 수분스트레스가 발생하기 쉬운 조립지에서 백합나무의 성장상태가 나쁘다고 보고된 결과와 잘 일치한다(류 등 2003). 또한, 자작나무는 비록 느티나무에 비해서는 내건성이 낮다 할지라도 백합나무에 비해서는 내건성이 강하며 내건성의 특성도 느티나무와는 다른 성질로부터 유래되고 있다는 것을 보여주고 있다. 즉, 느티나무의 내건성은 낮은 삼투포텐셜과 세포벽 성질에 기인하는 데 비해 자작나무의 내건성은 세포벽 성질에 기인하는 바가 큰 것으로 보인다(Table 1, Figs 1, 2). 실제로 식물에 따라서는 느티나무와 같이 삼투적인 성질과 세포벽의 성질에 의해 팽압을 유지하기도 하지만(Clifford et al. 1998) 일부는 세포벽 성질에만 의존하기도 한다(Nunes et al. 1994, Fan et al. 1998). 이것은 자작나무와 느티나무가 서로 다른 방법으로 적응하고 있다는 것을 시사하고 있다. 이처럼 식물 종에 따른 환경에 대한 적응의 차이는 각각의 종의 생활사 전략 위에 성립된 것이므로 환경에 대한 식물의 적응 방법을 연구하는 것은 종의 생활사 전략뿐만 아니라 나아가서는 종의 분포, 다양성을 이해하는 데도 좋은 실마리를 제공하는 수단이 될 것이다(Kawano 1990).

이상의 결과로부터 느티나무와 자작나무는 백합나무에 비해 내건성이 강하지만 두 종의 내건성은 서로 다른 성질에 바탕을 두고 있으며, 이들 결과는 수분 조건이 나쁜 입지에서 생장이 저하된 백합나무의 결과와 일치하였다. 그러나 이들 종에 대한 수분스트레스에 관한 전체적 적응 특성을 알기 위해서는 두 종의 수분 관계 일반화를 바탕으로 수분 관계 지표들의 계절 변화와 함께 실험실에서의 보다 생리적인 연구도 필요할 것이다.

적 요

냉온대림의 주요 구성종으로 산지에도 분포하며 정원수로도 식재되고 있는 느티나무와 자작나무 그리고 미국에서 도입되어 조경수로 많이 활용되는 백합나무에서 내건성과 관련한 식물의 조직 수분 특성을 비교하였다. 한계원형질분리가 일어나는 점에서의 삼투포텐셜은 느티나무에서 -2.54 MPa로 가장 낮

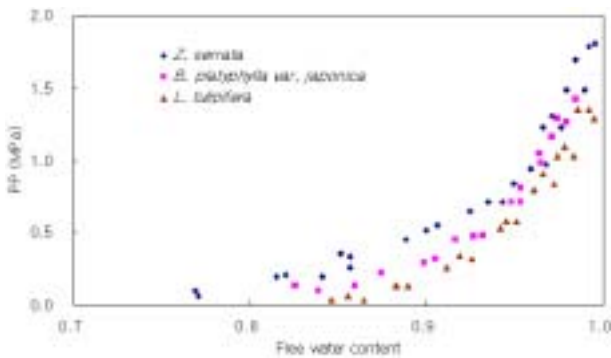


Fig. 2. Relationship between Free water content and Pressure potential (PP) of *Z. serrata*, *B. platyphylla* var. *japonica* and *L. tulipifera*.

은 값을 나타내었으며, 백합나무에서  $-2.03$  MPa로 가장 높은 값을 나타내었다. 잎의 수분포텐셜 변화에 대한 압력 포텐셜의 변화에서도 느티나무가 가장 높은 압력포텐셜을 유지하였다. 세포의 자유수 함량 저하에 대한 압력포텐셜 변화 곡선은 전체적으로는 비슷한 패턴의 곡선을 나타내었지만 세포의 자유수 감소 시, 느티나무와 자작나무는 백합나무보다 높은 압력포텐셜을 유지하였다. 따라서 이들 세 종 중에서는 백합나무가 내건성이 가장 낮았으며, 느티나무는 다른 두 종에 비해 내건성이 가장 강하였다.

### 인용문헌

- 김기호, 김수봉, 정응호. 2004. 도시열섬현상 저감을 위한 그린네트 워크 구축 방안에 관한 연구 -대구광역시 달서구를 대상으로-. 한국환경과학회지 13: 527-535.
- 김수봉, 정응호, 김기호. 2006. 대구광역시 중구의 가로수 및 열섬모자이크 현황분석. 한국환경과학회지 15: 325-332.
- 류근옥, 장석성, 최완용, 김홍은. 2003. 우리나라에 식재한 백합나무의 적응력과 생장에 관한 연구. 한국임학회지 92: 515-525.
- 손석규, 문홍규, 김용욱, 김지아. 2005. 백합나무 체세포 배 발생에 미치는 모수 및 암배양 효과. 한국임학회지 94: 39-44.
- 심경구, 하유미, 이종구. 2000. 교목성 나무박태기의 조경수 이용을 위한 특성 및 번식방법. 한국원예과학기술지 18: 740-748.
- 안지숙, 김해동. 2006. 대구지역의 기상조건에 따른 도시열섬강도의 계절별 변화특성. 한국환경과학회지 15: 527-532.
- 유근옥, 김홍은. 2003. 백합나무 양묘기술에 관한 연구. 한국임학회지 92: 236-245.
- 윤용한. 2001. 녹지에 의한 열섬현상의 저감효과에 관한 연구 - 풍속과의 관련성에 관해서 -. 대한국토도시계획학회 36: 187-196.
- 이재순, 문홍규, 김용욱. 2003. 체세포 배 발생에 의한 백합나무의 대량 증식. 한국식물생명공학회지 30: 359-363.
- 이정웅. 2002. 도시열섬현상, 숲을 통한 기온저감 사례 -대구광역시 사례-. 도시문제 37: 47-57.
- 이준복, 심경구, 노의래, 하유미. 1998. 조경수 이용을 위한 자생 팔배나무의 생태 및 생육특성에 관한 조사연구. 한국조경학회지 26: 229-239.
- 한상섭. 1991. 수목의 수분특성에 관한 생리생태학적 연구(VI). -P-V 곡선법에 의한 활엽수 20종의 내건성 진단. 한국임학회지 80: 210-219.
- 한영호, 김보현, 이동인. 1993. 부산지역 도심지의 열섬현상과 기온 변화에 관한 연구. 한국기상학회지 29: 205-216.
- Boyer JS. 1970. Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soybean, and sunflower at various leaf water potentials. Plant Physiol 46: 233-235.
- Chapin FS, Bloom AJ, Field CB, Waring RH. 1987. Plant responses to multiple environmental factors. BioScience 37: 49-57.
- Clifford SC, Arndt SK, Corlett JE, Joshi S, Sankhla N, Popp M, Jones HG. 1998. The role of solute accumulation, osmotic adjustment and changes in cell wall elasticity in drought tolerance in *Ziziphus mauritiana* (Lamk.). J Expt Bot 49: 967-977.
- Fan S, Blake TJ, Blumwald E. 1994. The relative contribution of elastic and osmotic adjustments to turgor maintenance in conditions. woody species. Physiol Plant 90: 408-413.
- Fischer RA, Turner NC. 1978. Plant production in the arid and semiarid zones. Ann Rev Pl Physiol 29: 277-317.
- Hsiao TC. 1973. Plant responses to water stress. Annu Rev Plant Physiol 24: 519-570.
- Hinckley TM, Lassoie JP, Running SW. 1978. Temporal and spatial variations in the water relations of forest trees. For Sci Monogr 20: 1-72.
- Kawano S. 1990. Biological Approaches and Evolutionary Trends in Plants. London, Academic Press.
- Nunes MA, Catarino F, Pinto E. 1989. Strategies for acclimation to seasonal drought in *Ceratonia siliqualeaves*. Physiol Pl 77: 150-156.
- Maruyama Y, Morikawa Y. 1983. Method of leaf water relations characteristics using P-V relationship. Jap For 65: 23-28. (in Japanese)
- Osonubi O, Davies WJ. 1981. Root growth and water relations of Oak and Birch seedlings. Oecologia 51: 343-350.
- Schulze ED, Robichaux RH, Grace J, Rundel PW, Ehleringer JR. 1987. Plant water balance. - In diverse habitats, where water often is scarce, plants display a variety of mechanisms for managing this essential resource -. BioScience 37: 30-37.
- Turner NC, Hones MM. 1980. Turgor maintenance by osmotic adjustment: A review and evaluation. In: Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress, (Turner NC, Kramer PJ eds). John Wiley & Sons, New York, pp 87-103.
- Wong CS. 1978. Atmospheric input of carbon dioxide from burning wood. Science 200: 197-200.

(2006년 11월 25일 접수, 2006년 12월 21일 채택)