

P-V 곡선법에 의한 참취와 수리취의 수분포텐셜 비교

이경철, 전성렬, 한상섭*

강원대학교 산림환경과학대학 산림자원조성학전공

Comparison of Water Potential Parameters in *Aster scaber* and *Synurus deltooides* Leaves Obtained from P-V Curves

Kyeong-Cheol Lee, Seong-Ryeol Jeon and Sang-Sup Han*

Division of Forest Resources, College of Forest and Environmental Sciences,
Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

Abstract - This study was carried out to establish a proper cultivation site and diagnose the drought-tolerance of *Aster scaber* and *Synurus deltooides* leaves by using Pressure-volume curves. In order to measure pressure-volume (P-V) curves, *Aster scaber* and *Synurus deltooides* were cut off above ground part and the tip of the cutting were placed in water, which was covered with a plastic bag. Samples were kept overnight (about 12 hours) in darkness at room temperature (20~25°C) to achieve maximal turgor (full saturation). The pressure in the chamber was gradually increased from 0.3MPa to 1.8MPa by nitrogen gas. After measured, leaf samples were dried at 80°C for 48 hours and dry weight of each samples were determined. The result of the original bulk osmotic potential at maximum turgor Ψ_o^{sat} was lower -0.8 MPa in *Aster scaber* leaves than -0.7 MPa *Synurus deltooides* leaves. Also the osmotic potential at incipient plasmolysis Ψ_o^{ip} in *Aster scaber* leaf was -0.9 MPa. In contrast, the value of maximum bulk modulus of elasticity E_{max} of *Aster scaber* leaves were approximately two folds higher than that of *Synurus deltooides* leaves. The values of the relative water content at incipient plasmolysis RWC^{ip} are all above 90% showing that the function of osmoregulation is somewhat better, and V_o/DW , V_t/DW , N_s/DW of *Synurus deltooides* leaves were approximately 1~2 times higher than that of *Aster scaber* leaves. Thus, responses to water relations of *Aster scaber* and *Synurus deltooides* such as Ψ_o^{sat} , Ψ_o^{ip} , E_{max} , $\Psi_{P, max}$, RWC^{ip} were shown that the *Aster scaber* leaves was slightly higher drought-tolerance than *Synurus deltooides* leaves. However, in both of *Aster scaber* and *Synurus deltooides*, occurring incipient plasmolysis at the high water content, have a relatively lower drought-tolerance property indicating that growth of these plants are cultivated appropriate in high moisture soil sites.

Key words - Drought-tolerance, Maximum turgor, Osmoregulation, Proper cultivation

서 언

산채류는 전체 임산물 생산액의 약 5%를 차지하고 있으며(Korea Forest Service, 2008), 오래전부터 식량을 대신하는 구황작물로 이용하여 왔다. 최근에 다양한 산채 종류는 웰빙식단에 어울리는 청정함과 우수한 약리효능을 갖는 식품으로서 수요가 급증하고 있으며, 자연산 산채자원을 계속 채취하여 많은 종류가 고갈되고 있다. 이런 문제 때문에 산채를 산지나 밭에서 직접 채배하여 생산량을 증가시키고, 소비자의 기호와 요구에 맞는 산채를 공급하기

위한 노력이 계속 진행되고 있다.

산림에서 자생하는 산채의 경우 임지내 환경에 따라 분포하는 곳이 다르며, 이에 따라 경작지나 임내에서 채배 할 경우 적합한 광과 수분조건을 제공하는 것이 생장에 결정적인 요인으로 작용한다(Han *et al.*, 2010).

식물의 성장속도와 생리 과정의 속도는 세포의 팽압이 최고일 때 가장 빠르지만, 광합성을 하기 위하여 외부로부터 CO₂를 흡수해야 하므로 이때 잎의 기공을 통해 수분손실이 발생하게 된다(Kwon *et al.*, 2003). 잎에서의 증산은 세포의 수분포텐셜을 감소시켜 식물에 수분스트레스를 발생시키며, 그 결과, 생장의 정지, 기공폐쇄, 그리고 광합성

*교신저자(E-mail) : sshan@kangwon.ac.kr

저하 등이 발생하여 식물에 여러 가지 영향을 미친다(Hsiao, 1973).

이러한 수분스트레스에 대해 강한 내성을 가지는 식물을 내건성 식물이라 하며, 일반적으로 엽의 생세포막에 수분 포텐셜이 저하하여도 높은 팽압(Turgor Pressure)을 유지하여 원형질분리가 잘 일어나지 않고, 세포막의 탄성계수(Elastic Modulus, E) 및 세포용질의 Osmole 수가 크며, 원형질분리점의 삼투포텐셜이 낮고 상대함수율이 높은 식물을 말한다(Hiromi, 1988; Parker *et al.*, 1982; Han, 1991).

식물의 수분손실의 대부분은 잎에서 일어나기 때문에 잎의 생세포막의 내건성에 관계하는 수분인자의 특성을 밝힐 필요가 있다.

이 연구는 국화과 식물로 향산화, 항암 등 다양한 약리 효과가 알려져 있으며(Woo *et al.*, 2008; Woo *et al.*, 2009; Chon *et al.*, 2008; Jung *et al.*, 2008), 산채류의 일종인 참취(*Aster scaber*)와 수리취(*Synurus deltoides*)를 대상으로 잎의 내건성에 관계하는 수분특성을 알아보기로 P-V 곡선법(Pressure-volume curves)을 적용하여 최대포수시의 삼투포텐셜(Ψ_m^{sat}), 초기원형질분리점의 삼투포텐셜(Ψ_m^{tip}), Osmole 수(Ns/DW), 세포막의 최대탄성계수(E_{max}), 세포막을 자유롭게 이동할 수 있는 삼투수의 총량에 대한 초기원형질분리점의 상대함수율(RWC^{tip}), 잎의 총함수량에 대한 초기원형질분리점의 상대함수율(RWC*) 등을 측정하여 분석하였다.

재료 및 방법

본 연구의 시료는 외부 광환경과 비교해 70~80% 수준의 상대광도를 나타내는 강원대학교 구내 유리온실에서 평균온도 20 ± 3.0°C, 상대습도 40~60%를 유지하고 관수는 1일 2회 자동급수로 충분히 공급하면서 직경 20 cm 포트에 생육시킨 3년생 참취, 수리취를 대상으로 생육이 양호한 3분을 각각 사용하였으며, 주요 환경인자를 알아보기 위하여 온습도 측정기(HOBO H08-004-02, ONSET, USA)와 휴대용 광도측정기(HD 2102.1, Delta OHM, Italy)를 사용하였다. 측정은 2009년 4월 말부터~5월 말에 이루어졌으며, 측정시료의 지상부를 절단하고 20~25°C의 실온에서 빛을 차단시킨 상태로 최대 포수상태에 도달하도록 12 시간 이상 수분을 흡수시켰다. 실험을 시작하기 전에 시료

의 생체중을 측정하고 Pressure Chamber(Model 3100 SAPS Console, Soil Moisture Corp. USA.)에 넣은 후 질소가스를 이용하여 최초 0.3 MPa에서 0.3 MPa씩 증압하면서 각 압력단계별로 잎의 수분 침출량을 측정하였다. 수분 침출량 측정을 위해서 tissue paper를 넣은 silicon tube(내경 5 mm, 길이 6 cm)를 시료의 절단부에 접촉시켜 침출수를 흡수시킨 후 무게의 증가를 침출이 끝날 때까지 10 분 간격으로 측정하였다. 최대 1.8 MPa까지 침출량을 측정하였으며, 각 시료의 측정은 절단 후 24시간 이내에 완료하였다.

측정이 끝난 시료는 80°C에서 48시간 건조 후 건물중량을 측정하여 총수분량(Vt)을 산출하였다.

잎의 생세포막내의 압포텐셜(= 팽압; Ψ_p), 최대포수시의 삼투포텐셜 Ψ_m^{sat} , 초기원형질분리점의 삼투포텐셜 Ψ_m^{tip} , Osmole 수 Ns/DW, 세포막의 최대탄성계수 E_{max} , 세포막을 자유롭게 이동할 수 있는 삼투수의 총량에 대한 초기원형질분리점의 상대함수율 RWC^{tip}, 잎의 총함수량에 대한 초기원형질분리점의 상대함수율 RWC* 등 내건성에 관계되는 수분특성인자는 Tyree와 Hammel(1972)의 P-V 곡선이론을 적용하여 구하였으며, 메트릭포텐셜 Ψ_m 은 다음의 Hellkvist 등(1974)의 (1)식에 의해 구하였다.

$$\Psi_m = \Psi_m^{sat} B(1-R)/R(R-B) \quad (1)$$

여기서 B는 apoplastic water로 (Vt-Vo)/Vt, R은 상대함수율로 (Vt-Ve)/Vt 이다.

P-V 곡선법은 비교적 재현율이 높기 때문에(Han, 1991), 각 시료 별로 3회 반복 측정하였으며, 측정결과는 SAS Program Version 8.2(SAS, 2000)를 이용하여 평균과 표준오차를 산출하였다.

결과 및 고찰

P-V 곡선에 의해 얻은 참취와 수리취의 수분특성인자를 Fig. 1에 나타냈다. 원형질분리가 일어난 이후 침출수량(Ve)과 압력의 역수 1/P의 직선관계는 모두 상관계수 0.99 이상의 높은 값으로 1%의 유의성을 나타냈다. 이 직선의 연장선과 종축의 교점은 최대포수시의 삼투포텐셜 Ψ_m^{sat} , 횡축과의 교점은 symplastic water의 총량 V_o , 곡선과의 교점은 초기원형질분리점의 삼투포텐셜 Ψ_m^{tip} , 즉 압포텐셜

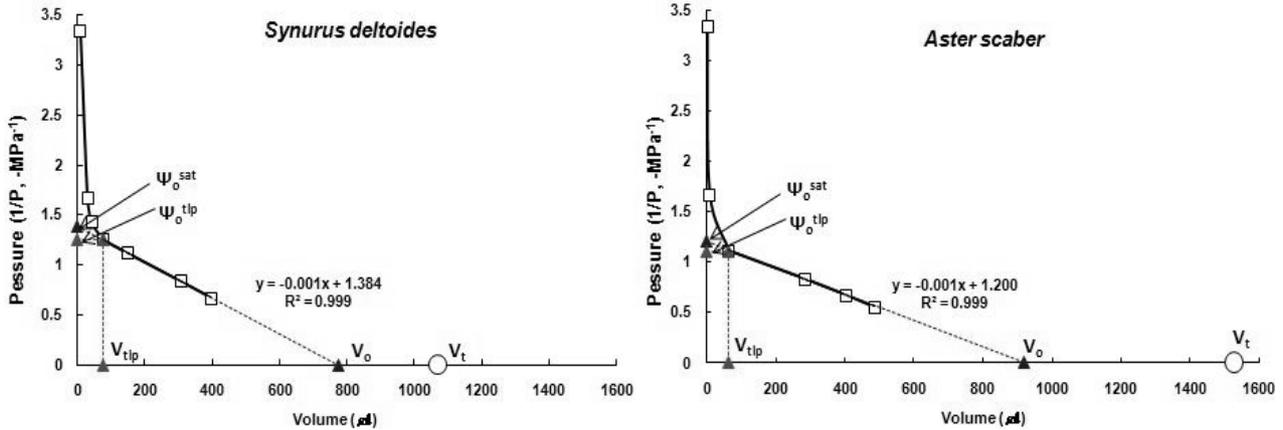


Fig. 1. The pressure-volume curves of *Aster scaber* and *Synurus deltooides* leaves. Ψ_o^{sat} is the inverse of the osmotic pressure at full turgor, Ψ_o^{tip} is the inverse of the osmotic pressure at incipient plasmolysis, V_{tip} is the expressed water volume at incipient plasmolysis, V_o is the total symplastic water volume, V_t is the volume of symplastic and apoplastic water at maximum turgor.

Table 1. The Ψ_o^{sat} , Ψ_o^{tip} , Ψ_m of *Aster scaber* and *Synurus deltooides* leaves

Species	Ψ_o^{sat} (MPa)	Ψ_o^{tip} (MPa)	Ψ_m (MPa)
<i>Aster scaber</i>	-0.8 ± 0.01	-0.9 ± 0.01	-0.008 ± 0.001
<i>Synurus deltooides</i>	-0.7 ± 0.01	-0.8 ± 0.01	-0.010 ± 0.001

Each value is mean \pm S.E.

(Ψ_p)이 0인 점을 각각 의미한다(Turner, 1988; Nobel, 2009). 또 이 직선으로 얻어진 수분특성인자의 값은 반복실험에서 재현성이 매우 높게 나타난다(Han, 1991). 본 실험에서 3회 반복 측정된 결과도 재현성이 매우 높게 나타났으며, P-V 곡선을 이용하여 얻어진 수분특성인자 값은 Table 1에 나타났다.

내건성이 강한 식물이란 잎이 낮은 삼투포텐셜을 갖고 있어 흡수력이 크고, 매우 낮은 삼투포텐셜에서 원형질 분리가 일어나며, 수분감소에 따른 신속한 수분포텐셜의 감소가 일어나고 상대습수율이 비교적 높을 때 초기원형질 분리가 발생하는 종이어야 한다(Parker *et al.*, 1982; Hiromi, 1988; Yutaka and Yasushi, 1983, 1984; Han, 1991). 이에 반해 내건성이 약한 잎은 삼투포텐셜이 높고, 높은 삼투포텐셜에서 원형질 분리가 일어나며, 수분함량의 저하에 따른 수분포텐셜의 감소가 천천히 일어난다(Han, 1991).

최대포수시의 삼투포텐셜 Ψ_o^{sat} 와 초기원형질분리점의 삼투포텐셜 Ψ_o^{tip} 은 낮은 값을 가질수록 내건성이 강하다고

하며(Han and Kim, 1980; Han and Choi, 1983; Han, 1991), 참취와 수리취 잎의 Ψ_o^{sat} 은 참취가 -0.8 MPa, 수리취가 -0.7 MPa, Ψ_o^{tip} 은 참취가 -0.9 MPa, 수리취가 -0.8 MPa의 값을 나타내어 참취가 수리취보다 약간 낮은 삼투포텐셜을 보였으나 큰 차이가 나지는 않았다(Table 1).

Salisbury와 Ross(1992)에 따르면 적습산림 초본류의 삼투포텐셜은 $-0.6 \sim -1.4$ MPa의 범위를 나타내며, 건조산림의 초본류는 $-1.1 \sim -3.0$ MPa의 범위를 나타낸다고 보고하였으며, 참취와 수리취는 비교적 내건성이 약한 편으로 건조한 지역보다 습윤한 지역이 생육에 더 적합함을 알 수 있었다.

또한 곰취속 3종에 대하여 Han 등(2010)이 보고한 바에 따르면 초기원형질분리점의 삼투포텐셜은 곰취, 곤달비가 -0.9 MPa, 한대리곰취는 -0.8 MPa로 나타났고, 최대포수시의 삼투포텐셜은 곰취, 곤달비가 -0.8 MPa, 한대리곰취는 -0.7 MPa로 나타났다. 따라서 참취는 곰취, 곤달비와 비슷한 결과를 나타냈으며, 수리취는 한대리곰취와 비슷한 결과를 나타낸 것을 알 수 있었다. 그러나 관목류의 꼬리진달래(Kim *et al.*, 2010), 교목류의 음나무(Han *et al.*, 2006)와 비교해보면 초본류인 참취와 수리취가 더 높은 삼투포텐셜 값을 보여 내건성이 더 약한 것으로 나타났다.

일반적으로 식물의 매트릭포텐셜(matric potential = Ψ_m)은 무시할 정도로 낮기 때문에 종종 수분포텐셜에 포함시키지 않고 있다(Han and Sim, 1992; Yutaka and Yasushi,

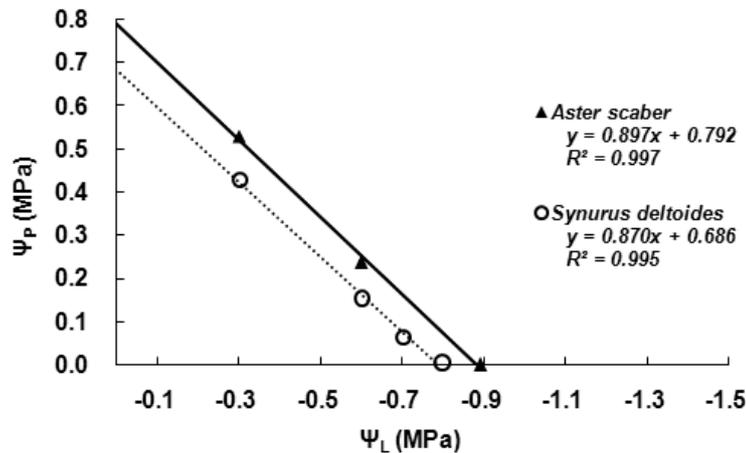


Fig. 2. Relationships between leaf water potential (Ψ_L) and pressure potential (Ψ_P) of *Aster scaber* and *Synurus deltooides* leaves.

1983; Nobel, 2009).

참취와 수리취의 메트릭포텐셜 Ψ_m 이 수분포텐셜에서 차지하는 비율을 알아보고자 각각의 Ψ_m 을 산출한 결과, 참취와 수리취 모두 $-0.008 \sim -0.01$ MPa의 범위를 보였으며, 수분포텐셜을 측정할 때 고려하지 않아도 될 만큼 삼투포텐셜과 압포텐셜에 비해 상대적으로 매우 작은 값을 나타내었다(Table 1).

참취와 수리취의 압포텐셜 Ψ_p 과 수분포텐셜 Ψ_L 관계를 Fig. 2에 나타냈다. Ψ_p 과 Ψ_L 의 관계는 직선으로 나타내며, 이 직선과 종축과의 교점이 최대포수시의 팽압, 즉 최대팽압 $\Psi_{p, max}$ 이고 횡축과의 교점이 팽압이 0인 점 즉 초기원형질분리가 일어나는 점이다.

잎의 수분포텐셜 저하에도 높은 팽압을 유지하는 종이 내건성이 더 강하다고 하며(Han, 1991), Fig. 2에서 나타난 참취와 수리취의 $\Psi_{p, max}$ 은 참취가 0.8 MPa, 수리취가 0.7 MPa로 참취가 약간 더 내건성이 강하다는 것을 알 수 있다.

잎의 생세포군에 팽압이 존재할 때에는 세포막에 체적탄성계수(bulk elastic modulus of the cell wall, E)가 삼투수량의 크기를 조절하며, 탄성계수 E는 팽압의 크기에 따라 변화하기 때문에 수중간의 E 값에 대한 특성을 비교할 때는 최대팽압일때 최대탄성계수 E_{max} 값을 이용해 수분특성 값을 비교한다(Tyree *et al*, 1978).

E_{max} 값이 크고 수분저하에 대하여 급속히 팽압이 저하되는 잎은 내건성이 강하다고 하며(Han, 1991), E_{max} 값이 클수록 내건성과 더불어 내동성(frost resistance)이 증가한다(Han and Sim, 1992).

Table 2. The E_{max} , $\Psi_{p, max}$ of *Aster scaber* and *Synurus deltooides* leaves

Species	E_{max} (MPa)	$\Psi_{p, max}$ (MPa)
<i>Aster scaber</i>	22.4 ± 1.11	0.8 ± 0.03
<i>Synurus deltooides</i>	9.3 ± 0.19	0.7 ± 0.01

Each value is mean \pm S.E.

참취와 수리취의 E_{max} 값은 참취가 22.4 MPa, 수리취가 9.3 MPa로 참취가 수리취에 비해 약 2.4배 정도 높은 값을 나타내고 있기 때문에 잎의 원형질 세포막의 수분조절기능이 더 좋다는 것을 알 수 있었다(Table 2). 또한 Han 등(2010)이 보고한 바에 의하면 곰취와 곤달비의 E_{max} 값은 약 29 MPa로 참취보다 약간 더 높았고, 한대리곰취가 14.5 MPa로 나타났기 때문에 결과적으로 산채류 5종 중 수리취가 가장 낮은 E_{max} 값을 나타냈다.

초기원형질분리점에서의 상대함수율은 두 가지로 나타낼 수 있는데 최대포수시의 잎의 무게(turgid mass)에서 건물중량(dry mass)을 뺀 값인 총 함수량 V_t 에 대한 상대함수율 $RWC^* = (V_t - V_e) / V_t$ 과 총삼투수량(symplastic water) V_o 에 대한 상대함수율 $RWC^{tp} = V_p / V_o$ ($V_p = V_o - V_e$)이다(Han, 1991; Han *et al*, 2006; Turner, 1988). 참취와 수리취의 상대함수율 측정결과를 Table 3에 나타냈다.

초기원형질분리점에서 총삼투수량에 대한 상대함수율 RWC^{tp} 은 큰 값을 갖는 식물이 내건성이 크고, RWC^{tp} 가 80% 이상인 잎은 비교적 삼투조절기능(osmoregulation)이 좋다고 한다(Cheung *et al*, 1975; Han, 1991). 삼투조

Table 3. The RWC^{tp} , RWC^* , V_a/V_t , V_t/DW , V_o/DW and N_s/DW of *Aster scaber* and *Synurus deltooides* leaves. RWC^{tp} is the relative water content at incipient plasmolysis on the symplastic water volume, RWC^* is the relative water content at incipient plasmolysis on the total water volume, V_t is the volume of symplastic and apoplastic water at maximum turgor, DW is dry weight, V_o is total symplastic water content, N_s is number of osmoles in symplastic water

Species	RWC^{tp} (%)	RWC^* (%)	V_a/V_t (%)	V_t/DW (gH ₂ O/gDW)	V_o/DW (gH ₂ O/gDW)	N_s/DW (gH ₂ O/gDW)
<i>Aster scaber</i>	93.0 ± 0.74	95.8 ± 0.40	39.8 ± 2.75	7.2 ± 0.15	4.3 ± 0.03	0.2 ± 0.01
<i>Synurus deltooides</i>	90.1 ± 0.96	92.9 ± 0.27	27.8 ± 1.33	11.3 ± 0.21	8.2 ± 0.09	0.3 ± 0.01

Each value is mean ± S.E.

절기능이란 내염성 식물이나 건조나 결빙에 의해 초래되는 수분스트레스를 극복하기 위해 세포내에 삼투조절능이 있는 프롤린, 베타인 등을 축적해서 삼투포텐셜의 감소를 상쇄하여 수분포텐셜을 유지하는 것을 의미하며(Kwon *et al.*, 2003; Taiz and Zeiger, 2006), 참취와 수리취의 RWC^{tp} 은 참취가 93%, 수리취가 90.1%로 높게 나타났다. 총수분량에 대한 상대함수율 RWC^* 는 참취가 95.8%, 수리취가 92.9%로 RWC^{tp} 와 RWC^* 모두 참취가 수리취에 비해 약간 더 높은 값을 나타냈으며 삼투조절기능이 비교적 좋은 종임을 알 수 있었다.

P-V 곡선법에서 얻은 상대함수율인자에서 내건성에 크게 관계되는 인자는 RWC^{tp} 값이며, 그 밖에 상대함수율은 잎 고유의 특성만을 의미한다고 한다(Han, 1991).

세포내의 수분총량(V_t)에 대한 세포막에 강하게 흡착되어 있는 apoplastic water($V_a=V_t-V_o$)의 비율(Turner, 1988)은 참취가 39.8%, 수리취가 27.8%로 참취가 수리취에 비해 세포내의 수분총량에서 V_a 의 비율이 큰 것으로, 건성엽의 성질을 갖는 종임을 알 수 있었다.

건중량에 대한 수분총량 V_t/DW , 최대포수시의 삼투수량에 녹아있는 용질의 osmole 수(N_s/DW)는 단위중량당 잎세포가 가지는 수분으로 작은 값일수록 수분을 적게 갖는 건성잎을 의미하고(Han, 1991), V_o/DW 와 V_t/DW , N_s/DW 의 값은 계절변화가 심하며, 잎령이 증가하면 잎 세포막의 노화로 세포막의 반투성 기능이 감소하는 반면 침투성이 증가하여 이들 값은 감소한다고 한다(Parker *et al.*, 1982; Han and Sim, 1992; Han, 1991).

V_t/DW , V_o/DW , N_s/DW 는 수리취가 참취에 비해 약 1.5~2배 정도 높은 값을 나타냈으며, 참취가 수리취보다 건성잎의 특성을 갖는 종임을 알 수 있었다.

적 요

P-V 곡선을 적용하여 참취와 수리취의 수분특성인자를 측정한 결과 최대포수시의 삼투포텐셜 Ψ_o^{sat} 과 초기원형질 분리점의 삼투포텐셜 Ψ_o^{tp} 은 참취가 수리취보다 낮은 값을 나타냈으나 큰 차이를 보이지는 않았다. 최대팽압 $\Psi_{P, max}$ 는 참취가 수리취에 비해 높게 나타났으며, 최대탄성계수 E_{max} 는 참취가 수리취에 비해 약 2.4배 정도 높은 값을 나타냈다. 초기원형질분리점에서의 상대함수율 RWC^{tp} 은 참취와 수리취 모두 90% 이상의 함수율을 보여 비교적 삼투조절기능이 좋은 것을 알 수 있었고, apoplastic water의 비율은 참취가 더 크며, V_o/DW , V_t/DW , N_s/DW 은 수리취가 참취에 비해 약 1.5~2.0배 정도 큰 경향을 보였다.

위 결과를 통해 참취와 수리취 모두 초기원형질분리점과 최대포수시의 삼투포텐셜이 높은 편으로 내건성은 비교적 약한 것으로 나타났으며, 습윤한 지역이 생육에 적합함을 알 수 있었다. 또한, 참취와 수리취를 비교할 때 참취가 수리취에 비해 건성잎의 특성을 가지고 있으며, 최대탄성계수와 삼투포텐셜이 높아 내건성이 약간 더 강한 것을 알 수 있었다.

사 사

본 연구는 2008년도 강원대학교 학술연구조성비에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

인용문헌

Cheung, Y.N.S., M.T. Tyree and J. Dainty. 1975. Water relation parameters on single leaves obtained in a pressure bomb and some ecological interpretations. Canadian J. Bot. 53:1342-1346.

- Chon, S.U., T.S. Kim and H.O. Boo. 2008. *In vitro* assessment on biological activities of methanol extracts from several Compositae edible plants. Korean J. Plant Res. 21(3):196-203.
- Han, S.S. and Kim, K.R. 1980. Ecophysiological interpretations on the water relations parameters of trees(I)-The diagnosis of tolerant tree to drought by the pressure chamber technique-. J. Korean For. Soc. 50:25-28 (in Korean).
- Han, S.S. and Choi, H.S. 1983. Ecophysiological interpretations on the water relations parameters of trees(II)-Seasonal changes in tissue-water relations parameters obtained from P-V curves on the *Pinus koraiensis* and *Abies holophylla* shoots. J. Korean For. Soc. 61:8-14 (in Korean).
- Han, S.S. 1991. Ecophysiological interpretations on the water relations parameters of trees(VI)-Diagnosis of drought tolerance by the P-V curves of twenty broad leaved species-. J. Korean For. Soc. 80(2):210-219 (in Korean).
- Han, S.S. and Sim, J.S. 1992. Characteristics of water relations parameters obtained from pressure - Volume curves in *Pinus koraiensis* Needles. J. Korean Ecol. 15(1):47-58 (in Korean).
- Han, S.S., J.S. Sim and S.R. Jeon. 2006. Effects of light, temperature, water changes on physiological responses of *Kalopanax pictus* leaves(4)-Characteristics of leaf water relations obtained from P-V curve-. J. For. Sci., Kangwon Nat'l Univ. 22:71-75 (in Korean).
- Han, S.S., K.C. Lee and S.R. Jeon. 2010. Studies on the Agroforestry Methods of Wild Edible Greens(4)-Water relations parameters of three *Ligularia* species leaves obtained from P-V curves- J. Korean For. Soc. 99(1): 131-135 (in Korean).
- Hellkvist, J., G.P. Richards and P.G. Jarvis. 1974. Vertical gradients of water potential and tissue water relations in *Sitka spruce* trees measured with the pressure chamber. J. Appl. Ecol. 11:637-667.
- Hsiao, T.C. 1973. Plant responses to water stress. Ann. Rev. Plant Physiol. 24:519-570.
- Jung, M.J., S.I. Heo and M.H. Wang. 2008. Antioxidant activities of different parts of *Synurus deltoids* Nakai extracts *in vitro*. Food Sci Biotechnol 17(6):1156-1159.
- Kim, N.Y., K.C. Lee, S.S. Han and W.G. Park. 2010. Water relations parameters of *Rhododendron micranthum* Turcz. from P-V curves. Korean J. Plant Res. 23(4):374-378 (in Korean).
- Korea Forest Service. 2008. Production of Forest Products. pp. 6 (in Korean).
- Kwon, Y.M., S.C. Ko, J.C. Kim, B.Y. Moon, M.C. Park, H.B. Park, I.H. Park, Y.S. Lee, I.H. Lee, J.S. Lee, J.B. Lee, C.H. Lee, B.U. Jeon, S.H. Jo and J.B. Hong. 2003. Plant Physiology. Academybook. Seoul. pp. 429 (in Korean).
- Hiroimi, M. 1988. Applying the P-V curve method to studying drought-resistance differences of *Chamaecyparis obtusa* trees. J. Japanese For. Soc. 70:362-366 (in Japan).
- Yutaka, M. and M. Yasushi. 1983. Measurement of leaf water relations using the pressure-volume technique. J. Japanese For. Soc. 65(1), 23-28 (in Japan).
- Yutaka, M. and M. Yasushi. 1984. Seasonal changes of several water relations parameters in *Quercus crispula*, *Betula ermani*, and *Abies homolepis*. J. Japanese For. Soc. 66: 499-505 (in Japan).
- Neil C. Turner. 1988. Measurement of plant water status by the pressure chamber technique. Irri. Sci 9:289-308.
- Park S. Nobel. 2009. Physicochemical and Environmental Plant Physiology. 4th ed. Academic Press. California. pp. 81-84.
- Parker, W.C., S.G. Pallardy, T.M. Hinckley and R.O. Tesky. 1982. Seasonal changes in tissue water relations of three woody species of the *quercus-Carya* forest type. Ecol. 63:1259-1267.
- Salisbury, F.B. and C.W. Ross. 1992. Plant Phisiology. 4th ed., Wadsworth Publ. Co. Belmont, California pp. 682.
- Taiz. L. and E. Zeiger. 2006. Plant Physiology. 4th ed. Sinauer Associates. Sunderland. pp. 674-677.
- 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.
- Tyree, M.T., Y.N.S. Cheung, M.E. Macgregor and A.J.B. Talbit. 1978. The characteristics of seasonal and ontogenetic changes in the tissure-water relations of *Acer*, *Populus*, *Tsuga*, and *Picea*. Canadian J. Bot. 56:635-647.
- Woo, J.H., H.S. Jeong, J.S. Yu, Y.D. Chang and C.H. Lee. 2008. Antioxidant effect of extracts obtained from four *Aster* species native to Korea. Korean J. Plant Res. 21(1): 52-59 (in Korean).
- Woo, J.H., S.L. Shin, Y.D. Chang and C.H. Lee. 2009. Comparison of antioxidant effects by different extraction methods in flowers of *Aster scaber*, *Aster maackii*, *Coreopsis lanceolata* and *Coreopsis tinctoria*. Korean J. Plant Res. 22(5):381~388 (in Korean).

(접수일 2011.1.6; 수정일 2011.4.13; 채택일 2011.6.14)