

산채류 산지농법 실용화 연구(IV)
- P-V 곡선에 의한 곶취(Ligularia)속 3종의 수분특성 -

한상섭 · 이경철* · 전성렬

강원대학교 산림환경과학대학 산림자원조성학전공

Studies on the Agroforestry Methods of Wild Edible Greens (IV)
- Water Relations Parameters of Three Ligularia Species
Leaves Obtained from P-V Curves -

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

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

요 약: 본 연구는 P-V 곡선법을 적용하여 곶취, 곤달비, 한대리곶취의 내건성 진단과 적지재배 환경의 구명을 위해 수행되었다. 최대팽압시 삼투포텐셜 $\Psi_{\circ}^{\text{sat}}$ 은 곶취와 곤달비가 -0.8 MPa로 한대리곶취(-0.7 MPa)보다 낮았다. 초기원형 질분리점의 삼투포텐셜 Ψ_{\circ}^{tp} 은 곶취와 곤달비가 -0.9 MPa로 한대리 곶취(-0.8 MPa)보다 낮게 나타났다. 최대탄성계수 E_{max} 는 곶취와 곤달비가 29 MPa로 한대리곶취의 14.5 MPa 보다 약 2배 가량 높았다. 초기원형질분리점에서의 상대함수율은 곶취 95%, 곤달비 93%, 한대리곶취가 94%로 비슷한 값을 나타냈다. 따라서 곶취류는 비교적 내건성이 약하고, 함수율이 매우 높은 상태에서 초기원형질분리가 일어나므로 비교적 습윤한 지역이 생육에 적합함을 알 수 있었다.

Abstract: This study was carried out to establish a proper cultivation condition and diagnose the drought-tolerance of three wild edible greens belonging to genus of Ligularia by using pressure-volume curves methods. The result of the original bulk osmotic pressure at maximum turgor $\Psi_{\circ}^{\text{sat}}$ was -0.8 MPa in *Ligularia fischeri* and *L. stenocephala*, which was somewhat lower than the value, -0.7 MPa, in *L. fischeri* var. *spiciformis*. In addition, the values of the osmotic pressure at incipient plasmolysis Ψ_{\circ}^{tp} in *L. fischeri* and *L. stenocephala*, both of which were -0.9 MPa, These were slightly lower than that of -0.8 MPa in *L. fischeri* var. *spiciformis*. On the other hand, it appeared that the values of maximum bulk modulus of elasticity E_{max} of *L. fischeri* and *L. stenocephala* were approximately two times higher than that of *L. fischeri* var. *spiciformis*. However, There was a distinct difference between the values of the relative water contents in these three species. Therefore, *Ligularia* spp, occurring incipient plasmolysis in the high water contents, have a relatively low property of drought-tolerance, suggesting that growth of those *Ligularia* spp. are appropriate for relative moisture forest.

Key words : water relations parameter; p-v curves, Ligularia species, wild edible greens

서 론

최근 웰빙 붐을 타고 기능성 산채에 대한 관심이 높아져감에 따라 곶취류의 수요가 급증하고 있으며, 이로 인해 자연산 곶취류의 자원이 감소하고 있는 반면, 재배곶취 생산량이 급격히 늘어나고 있는 추세이다. 특히 곶취, 곤달비, 한대리곶취는 생엽과 묵나물로 먹을 수 있는 산나물로 독특한 향과 맛을 지니고 있어 식용으로서 그 가

치가 높다. 곶취(*Ligularia fischeri*)는 깊은 산 습지에서 자라는 다년초로서 왕곶취 또는 큰곶취라고도 하며 높이 1~2 m이고 근경이 굵다. 근생엽은 길이가 85 cm에 달하며 심장형이고, 길이 32 cm, 폭 40 cm로 잎가장자리에는 규칙적인 거치가 있다. 곤달비(*Ligularia stenocephala*)는 곤달유라 하기도 하며 높이가 1 m에 달하고 온대 남부의 고산 지역에서 자란다. 근생엽은 꽃이 필 때까지 남아 있으며 심장형이고, 끝이 갑자기 뾰족해지며 밑부분이 깊은 심장저에 길이 24 cm, 폭이 20 cm로서 표면에 털이 없으며 뒷면은 맥을 따라 털이 있고, 가장자리에 뾰족한 톱니가 있

*Corresponding author
E-mail: dlrud112@naver.com

으며 잎은 생채와 목나물료 이용하고 뿌리는 부인병에 사용한다(이창복, 2003). 한대리곰취(*Ligularia. fischeri* var. *spiciformis*)는 부진곰취 또는 이삭곰취라고 하며, 잎의 이면에 은색의 털이 있어 은색을 띄기 때문에 잎의 이면이 녹색인 곰취와 구별된다(국가표준식물목록, 2007). 또한 곰취보다 두상화서의 자루가 짧아 수상화서처럼 보인다(국가생물종지식정보시스템).

산림 내에서 성장하는 곰취는 토양과 환경의 변화에 크게 영향을 받는다. 환경요인 중에서 광, 온도, 수분 조건은 이들의 성장에 결정적인 요인으로 작용한다. 특히 토양수의 결자로 발생하는 엽의 water potential 저하는 초기에는 기공개폐작용에 의한 단순한 광합성속도의 감소에 그치나, 그 정도가 점점 커지면 잎 세포의 팽압이 0에 가까워져 마침내는 원형질 분리가 시작된다. 이때 엽은 물질생산능력을 잃고 장기간 계속되면 영구위조점에 달하여 고사하게 된다(한상섭과 김광륜, 1980). 이러한 수분손실의 대부분은 잎에서 일어나기 때문에 잎의 생세포막의 내건성에 관계하는 수분인자의 특성을 밝힐 필요가 있다. 잎의 수분특성을 측정하는 가장 효율적인 방법에는 P-V 곡선법(Tyree & Hammel, 1972)이 있다.

P-V 곡선에 의한 내건성 크기의 진단에서는 잎의 생세포막의 수분포텐셜이 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 것이 내건성 수종이라 한다(失幡, 1986; 水永, 1988; Parker *et al.*, 1982; 한상섭, 1991).

현재 곰취(*Ligularia*)속 식물에 대한 생리반응 연구는 주로 광합성에 관계된 것만 보고되고 있는데(김갑태, 2008; 권기원 등, 2009) 이번 연구는 산채류 산지재배 실용화 연구의 하나로써 곰취(*Ligularia*)속 3종의 적지재배환경의 판정 및 내건성의 크기 진단으로 곰취, 곤달비, 한대리곰취 엽의 수분특성을 P-V 곡선법을 적용하여 엽의 압포텐셜(Ψ_p), 최대포수시의 삼투포텐셜(Ψ_0^{sat}), 초기원형질분리점의 삼투포텐셜(Ψ_0^{up}), Osmole 수(Ns/DW), 세포막의 최대탄성계수(E_{max}), 세포막을 자유롭게 이동할 수 있는 삼투수의 총량에 대한 초기원형질분리점의 상대함수율(RWC^{up}), 잎의 총합수량에 대한 초기원형질분리점의 상대함수율(RWC*) 등을 측정하여 이를 비교 분석하였다.

재료 및 방법

본 연구의 시료는 강원대학교 구내 온실에서 평균온도 20±3.0°C, 상대광도 70~80% 유지하고 관수는 1일 2회 자동급수로 충분히 공급하여 직경 20 cm 포트에 생육시킨 곰취(*Ligularia fischeri*), 곤달비(*L. stenocephala*), 한대리

곰취(*L. fischeri* var. *spiciformis*)를 대상으로 생육이 양호한 2~3본을 각각 사용하였다. 측정은 2009년 5월말~6월초에 이루어졌으며, 시료의 지상부를 절단하고 20~25°C의 실온에서 빛을 차단시킨 상태에서 최대 포수상태에 도달하도록 12시간 이상 수분을 흡수시켰다. 실험을 시작하기 전에 시료의 생중을 측정하고 Pressure Chamber(Model 3100 SAPS Console, Soil Moisture Corp.)에 넣은 후 질소가스를 이용하여 최초 0.3 MPa에서 0.3 MPa씩 증압하면서 각 압력단계별로 수분의 침출량을 측정하였다. 잎의 수분 침출량 측정을 위해서 tissue paper를 넣은 silicon tube를(내경 5 mm, 길이 6 cm) 시료의 절단부에 접촉시켜 흡수시킨 후 무게의 증가를 침출이 끝날 때까지 10분 간격으로 측정하였다. 최대 1.5 MPa까지 침출량을 측정하였으며, 각 시료의 측정은 절단 후 24시간 이내에 완료하였다. P-V곡선법은 비교적 재현율이 높기 때문에(한상섭, 1991), 측정결과를 각 시료 별로 3회 반복측정한 평균값으로 나타냈다. 측정이 끝난 시료는 80°C에서 48시간 건조 후 건조량을 측정하였다.

엽의 생세포막내의 압포텐셜(= 팽압; Ψ_p), 최대포수시의 삼투포텐셜(Ψ_0^{sat}), 초기원형질분리점의 삼투포텐셜(Ψ_0^{up}), Osmole 수(Ns/DW), 세포막의 최대탄성계수(E_{max}), 세포막을 자유롭게 이동할 수 있는 삼투수의 총량에 대한 초기원형질분리점의 상대함수율(RWC^{up}), 잎의 총합수량에 대한 초기원형질분리점의 상대함수율(RWC*) 등 식물의 내건성에 관계되는 수분특성인자는 Tyree와 Hammel(1972)의 P-V 곡선이론을 적용하여 구하였다.

결과 및 고찰

P-V 곡선에 의해 얻은 곰취, 곤달비, 한대리곰취의 수분 특성인자를 Figure 1에 나타냈다. 원형질분리가 일어난 이후 침출수량(V_e)과 1/P의 직선관계는 모두 상관계수 0.99 이상의 높은 값으로 1%의 유의성을 나타냈다. 이 직선의 연장선과 종축의 교점은 최대포수시의 삼투포텐셜(Ψ_0^{sat}), 횡축과의 교점은 symplastic water의 총량(V_0), 곡선과의 교점은 초기원형질분리점의 삼투포텐셜(Ψ_0^{up}), 즉 압포텐셜(Ψ_p)이 0인 점을 각각 의미한다(Park S. Nobel, 2009). 또 이 직선으로 얻어진 수분특성인자의 값은 반복실험에서 재현성이 매우 높게 나타난다(失幡, 1986; 한상섭, 1991). 본 실험에서 3회 반복 측정된 결과도 재현성이 매우 높게 나타났다. P-V 곡선을 이용하여 얻어진 수분특성인자 값은 Table 1에 나타났다.

곰취와 곤달비, 한대리곰취 엽의 최대포수시의 삼투포텐셜(Ψ_0^{sat})은 곰취와 곤달비가 -0.8 MPa, 한대리곰취가 -0.7 MPa로 나타났으며, 곰취와 곤달비가 한대리곰취보다 약간 낮은 값을 나타냈으나 큰 차이가 나지는 않았다. 또,

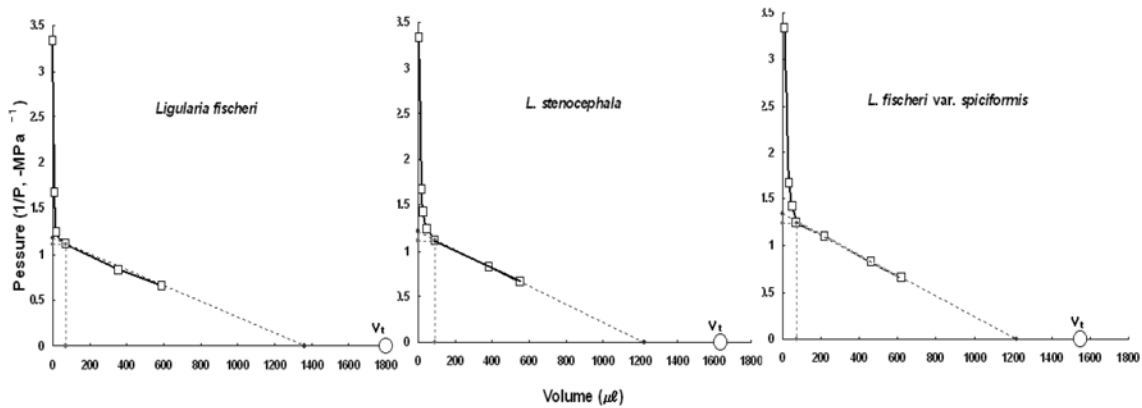


Figure 1. The pressure-volume curves of *Ligularia fischeri* and *L. stenocephala* and *L. fischeri* var. *spiciformis* leaves. V_t is the volume of symplastic and apoplastic water at maximum turgor.

Table 1. The Ψ_o^{sat} , Ψ_o^{tp} , E_{max} , of *Ligularia fischeri* and *L. stenocephala* and *L. fischeri* var. *spiciformis* leaves.

Sample	Ψ_o^{sat} (MPa)	Ψ_o^{tp} (MPa)	E_{max} (MPa)
<i>Ligularia fischeri</i>	-0.8	-0.9	29.0
<i>L. stenocephala</i>	-0.8	-0.9	29.0
<i>L. fischeri</i> var. <i>spiciformis</i>	-0.7	-0.8	14.5

초기원형질분리점의 삼투포텐셜 (Ψ_o^{tp})는 곱취와 곤달비 모두 -0.9 MPa로 같은 값을 나타냈고, 한대리곱취는 -0.8 MPa의 값을 나타냈다(Table 1). Ψ_o^{sat} 와 Ψ_o^{tp} 은 낮은 값을 가질수록 내건성이 강하다고 한다(한상섭과 김광륜, 1980; Han *et al.*, 1983; 한상섭, 1991).

내건성 식물이란 엽이 낮은 삼투포텐셜을 갖고 있어 흡수력이 크고, 매우 낮은 삼투포텐셜에서 원형질 분리가 일어나며 수분감소에 따른 신속한 수분포텐셜의 감소가 일어나고 상대함수율이 비교적 높을 때 초기원형질 분리가 발생하는 종이어야 한다고 한다(Parker *et al.*, 1982; 失幡, 1986; 한상섭 등, 1985; 水永, 1988; 丸山·森川, 1983, 1984; 한상섭, 1991). 이에 반해 내건성이 약한 잎은 삼투포텐셜이 높고, 높은 삼투포텐셜에서 원형질 분리가 일어나며, 수분함량의 저하에 따른 수분포텐셜의 감소가 천천

히 일어난다(한상섭, 1991).

Salisbury 와 Ross(1992)는 적습산림 초본류의 삼투포텐셜은 -0.6 MPa에서 -1.4 MPa의 범위를 나타내며, 건조산림의 초본류는 -1.1 MPa에서 -3.0 MPa의 범위를 나타낸다는 보고를 하였는데 이를 통해 곱취류는 비교적 내건성이 약한 편이고 건조한 지역보다 습윤한 지역이 생육에 적합함을 알 수 있었다.

또 세포막의 최대탄성계수 E_{max} 의 값을 산출하여 Table 1에 나타내었다. 잎의 생세포군에 팽압이 존재할 때에는 세포막에 체적탄성계수(bulk elastic modulus of the cell wall, E)가 삼투수량의 크기를 조절한다. 탄성계수 E는 팽압의 크기에 따라 변화하기 때문에 수증간의 E 값에 대한 특성을 비교할 때는 최대팽압일때 최대탄성계수 E_{max} 값을 이용해 수분특성 값을 비교한다(Tyree 등, 1978). E_{max} 값이 크고 수분저하에 대하여 급속히 팽압이 저하되는 잎은 내건성이 강하다고 하는데(한상섭, 1991), E_{max} 값이 클수록 잎의 수분저하에 대하여 세포의 수축이 작고 급속히 팽압이 저하된다(丸山·森川, 1983). 곱취(*Ligularia*)속 3종의 E_{max} 값은 곱취와 곤달비 29.0 MPa으로 같은 값을 나타냈고, 한대리곱취가 14.5 MPa로 2배 정도 낮은 값을 나타내고 있다.

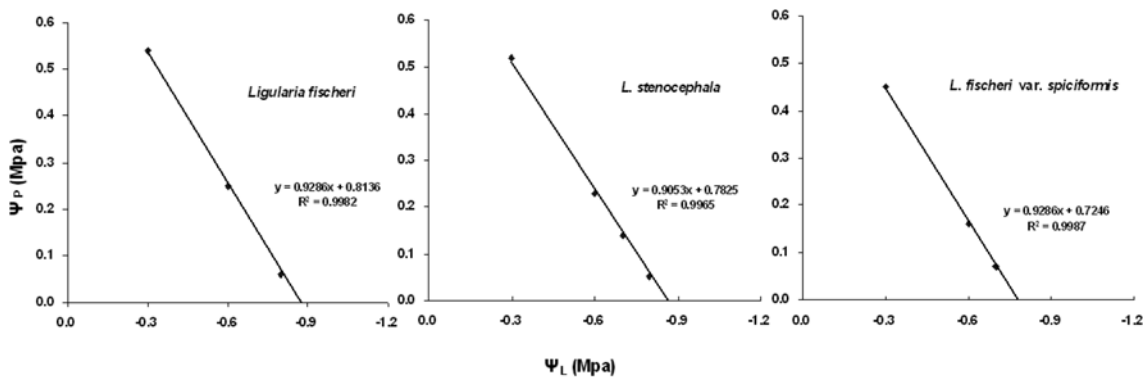


Figure 2. Relationships between leaf water potential (Ψ_L) and Pressure potential (Ψ_P) of *Ligularia fischeri* and *L. stenocephala* and *L. fischeri* var. *spiciformis* leaves.

Table 2. The RWC^{dp}, RWC*, Va/Vt, Vo/DW, Vt/DW and Ns/DW of *Ligularia fischeri* and *L. stenocephala* and *L. fischeri* var. *spiciformis* leaves.

Sample	RWC ^{dp} (%)	RWC* (%)	Va/Vt (%)	Vo/DW (gH ₂ O/gDW)	Vt/DW (gH ₂ O/gDW)	Ns/DW (gH ₂ O/gDW)
<i>Ligularia fischeri</i>	95	96	24.5	3.7	4.9	0.1
<i>L. stenocephala</i>	93	95	25.4	8.4	11.2	0.3
<i>L. fischeri</i> var. <i>spiciformis</i>	94	95	21.7	5.6	7.2	0.2

압포텐셜(Ψ_p)과 수분포텐셜(Ψ_L)의 관계를 Figure 2에 나타냈다. 모든 수종에서 Ψ_p 과 Ψ_L 의 관계는 직선으로 나타내며 이 직선과 종축과의 교점이 최대팽압이고 횡축과의 교점이 팽압이 0인 점 즉 초기원형질분리가 일어나는 점이다. 엽의 수분포텐셜 저하시 높은 팽압을 유지하는 종이 내건성이 더 강하다고 한다(한상섭, 1991). 최대포수시의 팽압은 곰취 0.81 MPa, 곤달비 0.78 MPa, 한대리곰취 0.72 MPa로 낮은 값을 나타낸다.

한편 초기원형질분리점에서의 상대함수율은 두 가지로 나타낼 수 있다. 즉 잎의 총함수율 Vt에 대한 상대함수율 $RWC^* = Vp/Vt$ ($Vp = Vo - Ve$)과 총삼투수량 Vo에 대한 상대함수율 $RWC^{dp} = Vp/Vo$ 이다(한상섭, 1991; 한상섭 등, 2006).

초기원형질분리점에서 총삼투수량에 대한 상대함수율 RWC^{dp} 은 큰 값을 갖는 식물이 내건성이 크고, RWC^{dp} 가 80% 이상인 잎은 비교적 수분보존기능이 좋다고 한다(Cheung 등, 1975; 한상섭, 1991). RWC^{dp} 는 곰취 95%, 곤달비 93%, 한대리곰취가 94%의 값을 나타내었고, 총수분량에 대한 상대함수율 RWC^* 은 곰취 96%, 곤달비 95%, 한대리곰취가 95%로 나타나 곰취, 곤달비, 한대리곰취 모두 수분보유기능이 좋은 것을 알 수 있었으며, 곰취는 곤달비, 한대리곰취와 비교해 RWC^{dp} 와 RWC^* 모두 조금 더 높은 값을 나타냈다(Table 2).

P-V 곡선법에서 얻은 상대함수율인자에서 내건성에 관계되는 인자는 RWC^{dp} 뿐이며, 그 밖에 인자는 엽 고유의 상대함수율의 특성만을 의미한다고 한다(한상섭, 1991). 엽 고유의 상대함수율의 특성 중 4가지를 Table 2에서 비교해 보았다. 세포내의 수분총량(Vt)에 대한 세포막을 통과 할 수 없는 apoplastic water(Va)의 비율은 곰취 24.5%, 곤달비 25.4%로 거의 비슷한 값을 나타내었으나, 한대리곰취는 21.4%로 곰취와 곤달비와 비교해 세포내의 수분총량에서 Va의 비율이 작은 것을 알 수 있었다. Vo/DW는 건중량에 대하여 세포막을 자유로이 이동할 수 있는 삼투수량의 크기를 의미하는데 본 연구에서는 곰취가 3.7로 가장 낮게 나타났다. Vt/DW는 건중량에 대한 수분총량으로 곤달비가 곰취, 한대리곰취와 비교해 약 1.5배에서 2배정도 더 큰 값을 보였다. 건중량에 대한 최대포수시의 삼투수량에 녹아있는 용질의 Osmole 수(Ns/DW)는 곰취가 0.1, 곤달비가 0.3, 한대리곰취가 0.2의 값을 나타냈다.

결론

P-V 곡선을 적용하여 곰취, 곤달비, 한대리곰취의 수분 특성인자를 측정할 결과 최대포수시의 삼투포텐셜(Ψ_s^{sat})과 초기원형질분리점의 삼투포텐셜(Ψ_s^{dp})은 곰취와 곤달비가 한대리곰취보다 약간 낮은 값을 나타냈으며, 최대탄성계수(E_{max})는 곰취와 곤달비가 한대리곰취에 비해 약 2배 정도 높은 값을 나타냈다. 초기원형질분리점에서의 상대함수율(RWC)은 3종 모두 비슷한 결과를 보였으나 그중 곰취가 가장 높았다. 세포막에 부착되어 이동이 어려운 수분의 비율(Va/Vt)은 곰취와 곤달비에 비해 한대리곰취가 비교적 낮은 값을 나타내었고, Vo/DW, Vt/DW, Ns/DW은 곤달비가 곰취와 한대리곰취에 비해 1.5~2배 정도 큰 경향을 보였다.

위 결과를 통해 곰취(*Ligularia*)속 3종 잎의 수분특성인자를 판단할 때 곰취류는 비교적 내건성이 약하고, 함수율이 매우 높은 상태에서 초기원형질분리가 일어나며, 최대포수시의 삼투포텐셜이 높아 비교적 습윤한 지역이 생육에 적합함을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 농진청 산채류 산지농법 실용화 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

인용문헌

- 권기원, 김길남, 조민석. 2009. 광도변화에 따른 산미늘, 곰취, 곤달비의 생리적 반응. 한국임학회지. 98(1): 106-114.
- 국립수목원, 한국식물분류학회. 2007. 국가표준식물목록. pp. 534.
- 국립수목원. 국가생물종지식정보시스템. (2010. 3. 2).
- 김갑태. 2008. 임간재배지에서 세 종 곰취(*Ligularia*)속 식물의 광합성 특성 비교. 한국 자원식물학회지. 21(5): 357-361.
- 이창복. 2003. 원색 대한식물도감. 향문사, 서울. pp. 910.
- 한상섭, 김광륜. 1980. 수목의 수분특성에 관한 생리생태학적 해석 I -Pressure Chamber Technique에 의한 내건성 수종의 진단- 한국임학회지. 50: 25-28.
- 한상섭, 전두식, 최여선. 1985. 수목의 내건성에 관한 연구. 강원대 연습림보고 5: 3-7.

8. 한상섭. 1991. 수목의 수분특성에 관한 생리·생태학적 해석(VI). -P-V 곡선법에 의한 활엽수 20종의 내건성 진단- 한국임학회지. 80(2): 210-219.
9. 한상섭, 전두식, 심주석. 2006. 광, 온도, 수분 변화에 따른 음나무 잎의 생리반응(IV) -P-V 곡선에 의한 잎의 수분특성-. 森林科學研究 22: 71-75.
10. 丸山温・森川靖. 1983. 葉の水分特性の測定-P-V 曲線法-. 日本誌. 65: 23-28.
11. 丸山温・森川靖. 1984. ミズナラ, ダケカンバ ウラジロモミの葉の水分特性の季節變化. 日本誌. 66: 499-505.
12. 水泳傳己. 1988. P V 曲線法を用いたヒノキの耐乾性檢定. 日本誌. 70: 362-366.
13. 失幡久. 1986. 樹木における水の吸収, 移動, 排出に関する研究. 九州大學. 博士學位論文. pp. 134.
14. Cheung, Y.N.S., Tyree, M.T. and Dainty, J. 1975. Water relation parameters on single leaves obtained in a pressure bomb and some ecological interpretations. Can. J. Bot 53: 1342-1346.
15. Han, S.S and Choi, H.S. 1983. Ecophysiological interpretations on the water relations parameters of trees(II). Jour. Korean For. Soc. 61: 8-14.
16. Park S. Nobel. 2009. Physicochemical and Environmental Plant Physiology. 4th ed. Academic Press. pp. 81-84.
17. Parker, W.C., Pallardy, S.G., Hinckley, T.M. and Tesky, R.O. 1982. Seasonal changes in tissue water relations of three woody species of the *Quercus-Carya* forest type. Ecol. 63: 1259-1267.
18. Salisbury, F.B. and Ross, C.W. 1992. Plant Physiology. 4th ed., Wadsworth Publ. Co. Belmont, California, pp. 682.
19. Tyree, M.T. and Hammel, H.T. 1972. The measurement of the turgor pressure and the water relations of plants by the pressure-bomb technique. J. Exp. Bot. 23: 267-282.
20. Tyree, M.T., Cheung, Y.N.S., Macgregor, M.E. and Talbit, A.J.B. 1978. The characteristics of seasonal and ontogenetic changes in the tissue-water relations of *Acer*, *Populus*, *Tsuga*, and *Picea*. Can. J. Bot. 56: 635-647.

(2010년 2월 2일 접수; 2010년 2월 24일 채택)