J. of Practical Agriculture & Fisheries Research ISSN 2234-1129
2019 Jun: 21(1): 41-48

P-V 곡선법을 활용한 땃두릅나무의 내건성 평가

Evaluation of Drought Tolerance of *Oplopanax elatus* Obtained from Pressure-Volume Curves

이경철 K. C. Lee 국립한국농수산대학 산림학과[1]
권영휴 Y. H. Kwon 국립한국농수산대학 조경학과[2]
권윤구 Y. K. Kwon 국립한국농수산대학 조경학과[2]
한상균 * S. K. Han 국립한국농수산대학 산림학과[1]

Abstract

This study was carried out to establish a proper cultivation site and to diagnose the drought tolerance of *Oplopanax elatus* leaves by using pressure-volume curves. As a result of analysing data measured, the leaf of *Oplopanax elatus* showed the osmotic pressure at full turgor(Ψosat) was −0.77 MPa, and the osmotic pressure at incipient plasmolysis(Ψotlp) was −0.90 MPa. Then, the value of maximum bulk modulus of elasticity Emax was 3.7 MPa, showing that slightly lower drought tolerance of *Oplopanax elatus*. Furthermore, the values of relative water contents RWCtlp and RWC* were above 80%, showing that the function of osmoregulation is somewhat better. Thus, responses to water relations such as Ψosat, Ψotlp, Emax, RWCtlp and RWC* of *Oplopanax elatus* showed relatively lower drought-tolerance property indicating that those growth are appropriate in high moisture soil sites.

Key words : Water relations Parameters, Drought tolerance, Osmotic pressure, *Oplopanax elatus*

*교신저자: hsk5311@korea.kr
1 Department of Forestry, Korea National College of Agriculture and Fisheries
2 Department of Landscape Architecture, Korea National College of Agriculture and Fisheries

Ⅰ. 서 론

산림 내에서 생장하는 다양한 약용식물의 경우 토양과 주변 환경이 변화함에 따라 생육이 크게 영향을 받으며, 분포와 서식지의 크기를 결정하는 중요한 요인이 된다(Taiz와 Zeiger, 2006). 특히 수분조건과 관련하여 식물종 마다 각각 내건성 크기가 상이하며, 건조에 잘 견디지 못하는 수종은 기후변화와 이상기온 등으로 건조한 조건에 노출될 경우 심각한 손상이 나타날 수 있다(Han 등, 2010). 이러한 경우 생장 측면에서 팽압감소에 따른 줄기의 신장저하와 엽의 탈리 등을 유발할 수 있으며, 생리적인 측면에서는 현저한 광합성속도의 감소, 삼투조절기능(osmoregulation)의 상실 및 세포내 주요 대사 작용의 불균형 등이 나타나게 되어 점차 쇠퇴하게 된다(Taiz와 Zeiger, 2006).

일반적으로 내건성이 높은 식물은 엽의 생세포막에 수분포텐셜이 저하되어도 높은 팽압(Turgor Pressure)을 유지하고, 세포막의 탄성계수(Elastic Modulus, E)와 세포용질의 Osmole 수가 높으며, 원형질 분리점에서도 낮은 삼투포텐셜과 높은 상대함수율을 유지하는 식물을 의미한다(Parker 등, 1982; Han, 1991). 이러한 내건성 평가의 요인을 측정하는 데 있어 압력챔버를 이용한 P-V 곡선법이 흔히 사용되며, 특히 생태적 특성과 관련된 연구에서 광범위하게 이용되고 있다(Han, 1991; Kim 등, 2010; Han 등, 2010; Lee 등, 2011; Neil, 1988)

땃두릅나무는 두릅나무과의 낙엽관목으로 산림청 지정 희귀식물로 분류되고 있으며(Korea National Arboretum, 2013), 한방에서는 주로 해열, 기침, 염증의 치료 및 완화제로 사용되어 왔다(Kim 등, 2012). 최근 땃두릅나무와 관련하여 화학적 성분(Zhang 등, 1993), 에탄올 추출물의 독성시험(Kwon 등, 2007), 현탁배양을 통한 체세포배 유도(Kim 등, 2012) 등 기능성 소재로서의 가능성에 관한 연구가 이루어졌으나, 환경요인에 따른 생리적 반응 등 적지생육 조건에 대한 연구는 거의 거의 이루어지지 않은 실정이다.

본 연구에서는 땃두릅나무(*Oplopanax elatus)*의 수분특성에 따른 내건성 크기를 알아보기 위해 P-V 곡선법을 적용하여 엽의 압포텐셜(Ψp), 최대포수시의 삼투포텐셜(Ψosat), 초기원형질 분리점의 삼투포텐셜(Ψotlp), Osmole 수(Ns/DW), 세포막의 최대탄성계수(Emax), 초기원형질 분리점의 상대함수율(RWCtlp) 등을 조사하였다.

Ⅱ. 재료 및 방법

1. 실험재료

본 연구에는 강원도 평창군 발왕산에서 채취하여 삽목한 뒤 3년간 강원대학교 구내 온실에서 직경 20 cm 포트에 생육시킨 땃두릅나무(근원경 1.6±0.2 cm, 수고 18±1.3 cm) 3본을 사용하였다.

2. 실험방법

수분특성인자의 측정은 시료의 지상부를 절단하고 20~25℃의 실온에서 빛을 차단시킨 상태로 최대 포수상태에 도달하도록 12시간 이상 수분을 흡수시킨 뒤 실시하였다. 생체중을 측정한 시료를 Pressure Chamber(Model 3100 SAPS Console, Soil Moisture Corp., USA)에 넣은 후 질소가스를 이용해 0.3 MPa에서 시작하여 0.3 MPa씩 증압 하면서 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 10분 간격으로 측정하였다. 최대 1.8 MPa까지 침출량을 측정하였으며, 각 시료의 측정은 절단

후 24시간 이내에 완료하였다. 측정이 끝난 시료는 80℃에서 48시간 건조 후 건중량을 측정하여 총수분량(Vt)을 산출하였다. 측정결과는 각 시료별로 3회 반복 측정한 평균값으로 나타냈다. 잎의 생세포군내의 압포텐셜(=팽압; Ψ_p), 최대포수시의 삼투포텐셜(Ψ_o^{sat}), 초기원형질 분리점의 삼투포텐셜(Ψ_o^{tlp}), 세포내 용질의 Osmole 수(Ns/DW), 세포막의 최대탄성계수(E_{max}), 세포막을 자유롭게 이동할 수 있는 삼투수의 총량에 대한 초기원형질 분리점의 상대함수율(RWC^{tlp}), 잎의 총함수량에 대한 초기원형질 분리점의 상대함수율(RWC^*) 등 내건성에 관계되는 수분특성인자는 Tyree와 Hammel(1972)의 P-V 곡선이론을 적용하여 구하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

P-V 곡선에 의해 얻은 땃두릅나무의 수분특성인자를 Fig. 1에 나타냈다. 원형질분리가 일어난 이후 침출수량(Ve)과 압력의 역수 1/P는 고도의 유의성이 있는 직선관계를 나타냈다. 이 직선의 연장선과 종축의 교점은 최대포수시의 삼투포텐셜 Ψ_o^{sat}, 횡축과의 교점은 symplastic water의 총량 V_O, 곡선과의 교점은 초기원형질 분리점의 삼투포텐셜 Ψ_o^{tlp}, 즉 압포텐셜(Ψ_p)이 0인 점을 각각 의미한다(Neil, 1988; Park, 2009).

내건성이 강한 식물이란 잎이 낮은 삼투포텐셜을 갖고 있어 흡수력이 크고, 매우 낮은 삼투포텐셜에서 원형질 분리가 일어나며, 수분감소에 따른 신속한 수분포텐셜의 감소가 일어나고 상대함수율이 비교적 높을 때 초기원형질 분리가 발생되는 종이어야 한다(Parker 등, 1982; Han, 1991; Lee와 Han, 2012). 최대포수시의 삼투포텐셜 Ψ_o^{sat}와 초기원형질 분리점의 삼투포텐셜 Ψ_o^{tlp}은 낮은 값을 가질수록 내건성이 강하다고 하며(Han과 Kim, 1980; Han과 Choi, 1983; Han, 1991), 땃두릅나무의 Ψ_o^{sat}은 -0.77 MPa이었으며, Ψ_o^{tlp}은 -0.90 MPa로 나타났다(Table 1).

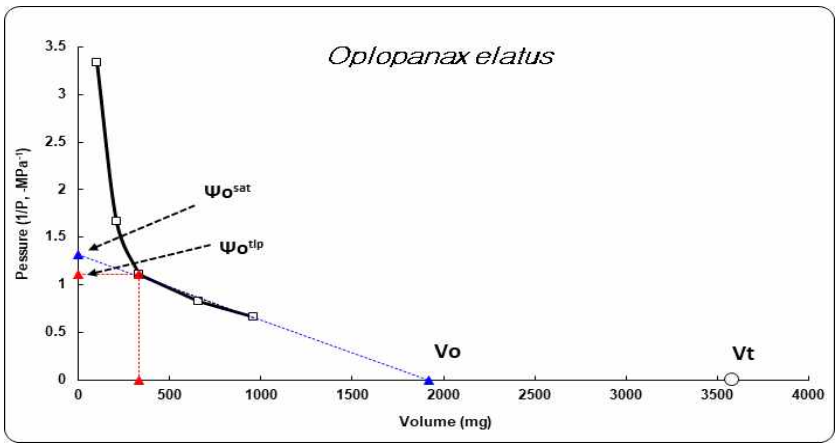

Fig. 1. The pressure-volume curves of *Oplopanax elatus* leaves. Ψ_o^{sat} is the inverse of the osmotic pressure at full turgor, Ψ_o^{tlp} is the inverse of the osmotic pressure at incipient plasmolysis, V_o is the total symplastic water volume, Vt is the volume of symplastic and apoplastic water at maximum turgor

Table 1. The water relations parameters of *Oplopanax elatus* leaves

Species	Ψ_o^{sat}(MPa)[1]	Ψ_o^{tlp}(MPa)[2]	Ψ_m(MPa)[3]
Oplopanax elatus	-0.77±0.03	-0.90±0.02	-0.015±0.0

[1]Ψ_o^{sat} is the osmotic potential at full turgor

[2]Ψ_o^{tlp} is the osmotic pressure at incipient plasmolysis

[3]Ψ_m is the matric potential

땃두릅나무와 마찬가지로 약용으로도 사용되고 목본식물인 음나무의 경우 Ψ_o^{sat}는 -1.44 MPa, Ψ_o^{tlp}는 -1.84 MPa로 알려져 있으며(Jeon, 2003), 이는 땃두릅나무가 음나무에 비해 비교적 건조환경에 더 취약한 수종임을 나타낸다. 초본식물인 산마늘(Lee 등, 2011)이나 곰취 및 곤달비(Han 등, 2010)의 경우 -0.7 MPa~-0.9 MPa 범위의 삼투포텐셜을 나타낸다고 보고된 바 있는데 땃두릅나무의 경우 이들 수종과 거의 유사한 내건성을 나타내고 있다. 식물의 메트릭포텐셜(matric potential = Ψ_m)은 무시할 정도로 낮기 때문에 종종 수분포텐셜 인자에서 제외되고 있으며(Park, 2009), 본 실험에서도 Ψ_m이 -0.015 MPa로 수분포텐셜에 큰 영향을 끼치지 않은 것을 알 수 있었다(Table 1).

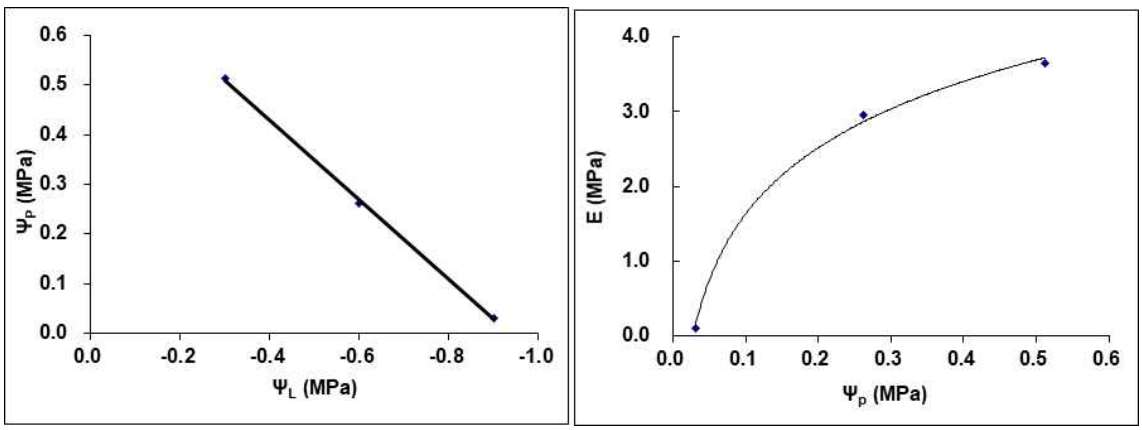

Fig. 2. Relationships between leaf water potential;(Ψ_L) and pressure potential;(Ψ_P)(Right), bulk modulus of elasticity;(E) and pressure potential;(ΨP)(Left) of *Oplopanax elatus* leaves

식물의 수분포텐셜 저하시 높은 팽압을 유지하는 종의 내건성이 강하다(Han, 1991). 땃두릅나무의 압포텐셜 Ψ_P과 수분포텐셜 Ψ_L 관계는 직선으로 나타났는데(Fig. 2), 이 직선과 종축과의 교점이 최대포수시의 팽압 즉 최대팽압 $\Psi_{P,max}$ 이고 횡축과의 교점은 팽압이 0인 점 즉 초기원형질분리가 일어나는 점이다(Lee와 Han, 2012). 땃두릅나무의 $\Psi_{P,max}$은 0.75 MPa로 산채의 일종인 누룩치(1.03 MPa), 고려엉겅퀴(0.90 MPa) 보다 낮았으며, 곤달비(0.78 MPa)나 곰취(0.81 MPa)와 유사

Table 2. The water relations parameters of *Oplopanax elatus* leaves

Species	E_{max}(MPa)[1]	$\Psi_{P,\ max}$(MPa)[2]
Oplopanax elatus	3.7±0.2	0.75±0.01

[1] E_{max} is the maximum bulk modulus of elasticity
[2] $\Psi_{P,\ max}$ is maximum the pressure potential

Table 3. The water relations parameters of *Oplopanax elatus* leaves

RWC^{tlp}(%)[1]	RWC^{*}(%)[2]	Va^{3}/Vt^{4} (%)	Vt/DW^{5} (gH_2O/gDW)	Vo^{6}/DW (gH_2O/gDW)	Ns^{7}/DW (gH_2O/gDW)
82.6±0.5	90.7±1.5	46.4±5.8	4.2±0.3	2.3±0.1	0.08±0.01

[1]RWC^{tlp} is the relative water content at incipient plasmolysis on the symplastic water volume
[2]RWC^{*} is the relative water content at incipient plasmolysis on the total water volume
[3]Va is apoplastic water content
[4]Vt is the volume of symplastic and apoplastic water at maximum turgor
[5]DW is dry weight
[6]Vo is total symplastic water content
[7]Ns is number of osmoles in symplastic water

한 수준이었다(Lee와 Han, 2012; Han 등, 2010).

세포막의 체적탄성계수(bulk elastic modulus of the cell wall, E)는 삼투수량의 크기를 조절하며, 수종간의 탄성계수 특성을 비교할 때는 최대팽압일 때의 최대탄성계수 E_{max}값을 이용한다(Tyree 등, 1978). 특히 높은 E_{max}값은 내건성과 더불어 내동성(frost resistance)의 증가에도 영향을 미친다(Han과 Sim, 1992). 땃두릅나무의 경우 압포텐셜 즉 팽압이 증가하는 초기에 탄성계수의 변화가 크게 나타나 즉각적으로 팽압을 유지하려는 경향을 보였다(Fig 2). 이후 탄성계수 변화 폭이 줄어드는 것을 관찰 할 수 있었다(Table 2).

초기원형질 분리점에서의 상대함수율은 세포막을 자유롭게 이동할 수 있는 삼투수의 총량에 대한 상대함수율(RWC^{tlp})과 잎의 총함수량에 대한 상대함수율(RWC^{*})로 나타낼 수 있다. 보통 RWC^{tlp}가 큰 값을 갖는 식물이 내건성이 크고, RWC^{tlp} 가 80% 이상인 잎은 비교적 삼투조절기능(osmoregulation)이 좋다고 알려져 있다(Cheung 등, 1975; Han, 1991). 땃두릅나무의 상대함수율 RWC^{tlp}는 82.6%로 비교적 삼투조절기능이 좋은 편으로(Table 3), 누룩치나 고려엉겅퀴, 음나무 등 다른 산채류와 비슷한 수준이었다(Jeon, 2003; Lee와 Han, 2012).

P-V 곡선법으로 RWC^{*}와 RWC^{tlp} 이외에도 단위건중량에 대한 상대함수율인 Vo/DW, Vt/DW, Ns/DW 등을 알 수 있다. 세포내의 수분총량(Vt)에 대한 세포막을 통과 할 수 없는 apoplastic water(Va=Vt-Vo)의 비율(Neil C, 1988)인 Va/Vt는 땃두릅나무가 46.4 %를 나타냈는데 이는 곰취, 곤달비가 20 ~ 25% 수준인 것과 비교해 다소 많은 것으로 어수리와 유사한 수준인 것으로

나타났다. Vt/DW는 건중량에 대한 수분총량, Vo/DW는 건중량에 대한 세포막을 자유로이 이동할 수 있는 삼투수량의 크기를 의미하고, Ns/DW는 최대포수시의 삼투수량에 녹아있는 용질의 osmole 수를 의미한다. 이 중 Vt/DW와 Ns/DW는 단위중량당 엽세포가 가지는 수분으로 값이 작을수록 수분을 적게 갖는 건성엽이다(Han, 1991). Vo/DW, Vt/DW와 Ns/DW의 값은 계절변화가 심한 것으로 알려져 있다(Parker 등, 1982; Han과 Sim, 1992; Lee와 Han, 2012). 땃두릅나무의 경우 Table 3에서 나타난 항목 값이 곰취 및 고려엉겅퀴와 비슷한 경향을 보였으며, 누룩치보다는 다소 높았다(Han 등 2010; Lee과 Han, 2012).

Ⅳ. 결론

P-V 곡선법을 적용하여 땃두릅나무의 수분특성인자를 측정하여 분석한 결과 최대포수시의 삼투포텐셜 Ψ_o^{sat}과 초기원형질 분리점의 삼투포텐셜 Ψ_o^{tlp}은 -0.77 MPa ~ -0.90 MPa로 곰취, 곤달비, 누룩치 등 일부 초본류 식물과 유사한 경향을 보였으나 목본류인 음나무에 비해 다소 높은 수준으로 나타났다. 최대포수시의 팽압 $\Psi_{P,max}$과 최대탄성계수 E_{max}값 역시 비교적 낮은 편으로 수분스트레스에 따른 팽압을 유지하기 위한 기작이 상대적으로 낮은 수준이고, 원형질분리시의 상대함수율 RWC^{tlp}은 82%로 삼투조절기능은 비교적 양호한 것으로 나타났다. 위 결과를 통해 땃두릅나무는 상대적으로 내건성이 약한 편으로 비교적 습윤한 지역이 생육에 적합함을 알 수 있다.

Ⅴ. 참고문헌

1. 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 Journal of Botany. 53:1342-1346
2. Han S. S. and K. R. Kim. (1980). Ecophysiological interpretations on the water relations parameters of trees(1) the diagnosis of tolerant tree to drought by the pressure chamber technique. Journal of Korean Forest Society. 50:25-28
3. 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. Journal of Korean Forest Society. 80:210-219
4. Han S. S. and J. S. Sim. (1992). Characteristics of water relations parameters obtained from pressurevolume curves in *Pinus koraiensis* needles. Korean Journal of Ecology. 15:47-58
5. Han S. S., K. C. Lee and S. R. Jeon. (2010). Studies on the agroforestry methods of wild edible greens(Ⅳ) water relations parameters of three *Ligularia* species leaves obtained from p-v curves. Journal of Korean Forest Society. 99:131-135
6. Jeon D. S. (2003). Effect of ligth, temperature, water changes on the physiological responese of *Kalopanax pictus* leaves. Ph. D. thesis. Univ. of Kangwon. Chun-Cheon.

Korea. pp.74

7. Kim H. Y., E. S. Seong, J. G. Lee, J. H. Yoo, I. S. Hwang, M. J. Kim, J. D. Lim, N. Y. Kim and C. Y. Yu. (2012). Establishment of suspension culture system to induce somatic embryo in *Oplopanax elatus* Nakai. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 20:461-465.
8. 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 Journal of Plant Resources. 23:374-378
9. Ko K. S. and E. S. Jeon. (2003). Ferns, fern-allies and seed-bearing plants of Korea. Iljinsa, Seoul, p.489.
10. Korea National Arboretum. (2013). Korea biodiversity information system. http://www.nature.go.kr/.
11. Kwon H. S., D. H. Kim, H. K. Shin, C. Y. Yu, M. J. Kim, J. D. Lim, J. K. Park and J. K. Kim. (2007). Fourteen-day repeated-dose oral toxicity study of the ethanol extracts isolated from *Oplopanax elatus* in sprague-dawley rat. Korean Journal of Food Science and Technology. 39:470 -475.
12. Lee K. C., H. S. Kim and S. S. Han. (2011). Water relations parameters in the leaves of *Allium ochotense* and *Allium microdictyon*. Journal of Forest Science. 27:33-37
13. Lee K. C. and S. S. Han. (2012). Evaluation of drought tolerance of *Pleurospermum camtschaticum, Cirsium setidens* and *Parasenecio firmus* obtained from pressure-volume curves. Korean J. Medicinal Crop. Sci. 20:36-41
14. Lee K. C., Y. H. Kwon, K. M. Lee and S. K. Han. (2016). Co MParison of photosynthetic responses in *Heracleum moellendorffii* and *Aruncus dioicus* var. *kamtschaticus* from atmosphere-leaf vapor pressure deficit. J. of Practical Agriculture & Fisheries Research. 18:63 -70
15. Neil C. T. (1988). Measurement of plant water status by the pressure chamber technique. Irrigation Science. 9:289-308
16. Park S. N. (2009). Physicochemical and Environmental Plant Physiology. 4th ed. Academic Press. San Diego. USA. p.78 -86.
17. 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. Ecology. 63: 1259-1267
18. 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. Journal of Experimental Botany. 23:267 -282
19. 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 Journal of Botany. 56: 635-647
20. Zhang H. G., G. X. Wu and Y. M. Zhang. (1993). Chemical constituents from stems of *Oplopanax elatus* Nakai.

Journal of Chinese materia medica. 18: 104-105.

논문접수일 : 2019년 3월 15일
논문수정일 : 2019년 4월 29일
게재확정일 : 2019년 5월 7일