Journal of Practical Agriculture & Fisheries Research
Vol.19(1). 2017. pp.91-97

P-V 곡선법을 활용한 어수리의 수분특성 분석

이경철[1]·권영휴[2]·이경민[2]·한상균[2*]

[1]국립생태원 생물관리연구본부 온실식물부
[2]한국농수산대학 산림조경학과

Water Relations Parameters of *Heracleum moellendorffii* Hance Obtained from Pressure-Volume Curves

K. C. Lee[1], Y. H. Kwon[2], K. M. Lee[2], and S. K. Han[2*]

[1]*National Institute of Ecology, Dept. of Ecorium Plant, 1210, Geumgang-ro, Maseo-myeon, Seocheon-gun, Chungcheongnam-do, Korea*
[2]*Korea National College of Agriculture and Fisheries, 1515, Kongjwipatjwi-ro, Wansan-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do, 54874, Korea*

Abstract

This study was carried out to establish a proper cultivation site and to diagnose the drought tolerance of *Heracleum moellendorffii* leaves by using pressure-volume curves. As a result of analysing data measured, the leaf of *H. moellendorffii* showed the osmotic pressure at full turgor (Ψ_o^{sat}) was −1.0MPa, and that at incipient plasmolysis (Ψ_o^{tlp}) -1.2MPa. Then, the value of maximum bulk modulus of elasticity E_{max} was 28MPa, showing the sightly strong drought tolerance of *H. moellendorffii*. Furthermore, the values of relative water contents RWC^{tlp} and RWC^{*} were above 88%, showing that the function of osmoregulation is somewhat better.
Thus, responses to water relations such as Ψ_o^{sat}, Ψ_o^{tlp}, E_{max}, RWC^{tlp} and RWC^{*} of *H. moellendorffii* showed it's slightly high drought tolerance property.

Key words : Water relations parameters, Drought tolerance, Osmotic pressure, *Heracleum moellendorffii*

2*교신저자 한국농수산대학 hsk5311@korea.kr

moellendorffii

Ⅰ. 서론

산채는 산에서 자생하는 식물로 그 종류는 다양하지만 기호성이 좋고 식품으로 가치가 높은 식물 80여종 정도만 산채로 이용되고 있다(Nam과 Baik, 2005). 최근에는 산채의 수요증가와 소비패턴의 변화에 대응하여 규격화되고 높은 품질의 산채를 공급하기 위하여 산지나, 농경지, 시설하우스 등에서 적극적으로 재배하고 있다(Lee 등, 2016). 산형과에 속하는 다년생 초본식물인 어수리도 우리나라의 산야에 비교적 흔하게 서식하고 있으며 산채로 이용되고 있다. 높이는 70-150cm 정도로 원줄기는 속이 빈 원주형이고 굵은 가지가 갈라지며, 뿌리에서 돋은 근생엽은 잎자루가 있고 3~5개의 소엽으로 구성되어 있다. 특히 잎의 뒷면과 잎자루에 털이 있는 것이 특징이다(Ko와 Jeon, 2003).

산림에서 자생하는 산채를 경작지나 임내에서 재배 할 경우 적합한 광과 수분조건을 제공하는 것이 생장에 결정적인 요인으로 작용하며(Han 등, 2010), 식물의 수분손실 대부분은 잎에서 일어나므로 잎의 내건성에 관계하는 수분특성인자를 밝힐 필요가 있다. 토양수분의 부족으로 발생하는 엽세포의 수분포텐셜(Water Potential) 저하는 광합성속도의 감소를 시작으로, 세포의 팽압이 0에 가까워져 원형질 분리가 일어날 정도로 심해지며, 잎이 물질생산능력을 잃게 되면서 장기간 계속되면 영구위조점에 달하여 고사하게 된다(Han과 Kim, 1980). 한편 수분스트레스에 내성을 가지는 내건성 식물도 있다. 내건성 식물은 엽의 생세포막의 수분포텐셜이 저하되도 높은 팽압(Turgor Pressure)을 유지하고, 세포막의 탄성계수(Elastic Modulus, E)와 세포용질의 Osmole 수가 크다. 그리고 원형질분리점에서도 낮은 삼투포텐셜과 높은 상대함수율을 유지한다(Parker 등, 1982; Han, 1991).

본 연구에서는 어수리의 수분특성에 따른 내건성 크기를 비교하기 위해 P-V 곡선법을 적용하여 엽의 압포텐셜(Ψ_p), 최대포수시의 삼투포텐셜(Ψ_o^{sat}), 초기원형질분리점의 삼투포텐셜(Ψ_o^{tlp}), Osmole 수(Ns/DW), 세포막의 최대탄성계수(E_{max}), 초기원형질분리점의 상대함수율(RWC^{tlp}) 등을 조사하였다.

Ⅱ. 재료 및 방법

1. 실험재료

본 연구에는 강원대학교 구내 유리온실(평균온도 20 ± 3.0℃, 상대광도 70~80%), 1일 2회 자동급수로 생육시킨 2년생의 어수리(*Heracleum moellendorffii* Hance) 3개체를 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 증압하면서 각 압력단계별로 잎의 수분 침출량을 측정하였다. 수분 침출량 측정을 위해서 Tissue Paper를 넣은 Silicon Tube (내경 5mm, 길이 6cm)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. 측정결과

는 각 시료별로 3회 반복 측정한 평균값으로 나타냈다. 잎의 생세포군내의 압포텐셜 (=팽압; Ψ_p), 최대포수시의 삼투포텐셜 (Ψ_o^{sat}), 초기원형질분리점의 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.

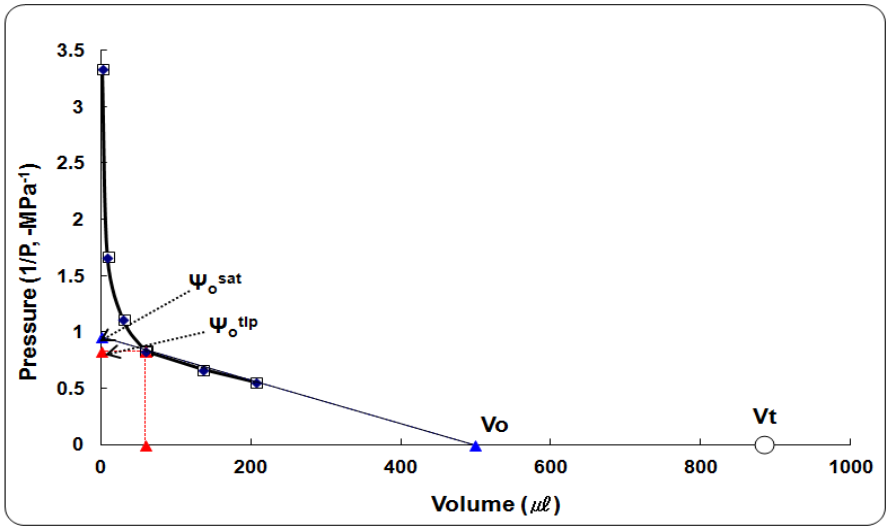

Fig. 1. The pressure-volume curves of *Heracleum moellendorffii* leaves. Ψ_o^{sat} is the inverse of the osmotic pressure at full turgor, Ψ_o^{tlp} is the inverse of the osmotic pressure at incipient plasmolysis, V_o is the total symplastic water volume, Vt is the volume of symplastic and apoplastic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

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 어수리의 수분포텐셜 특성

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 VO, 곡선과의 교점은 초기원형질분리점의 삼투포텐셜 Ψotlp, 즉 압포텐셜 (Ψ_p)이 0인 점을 각각 의미한다 (Neil, 1988; Park, 2009).

일반적으로 내건성 식물종은 삼투포텐셜이 낮아 흡수력이 크며, 초기 원형질 분리가 상대함수율이 비교적 높고, 삼투포텐셜은 낮은 상태에서 일어나므로 잎의 수분특성 인자 중 최대포수시의 삼투포텐셜 Ψ_o^{sat}및 초기원형질 분리시의 삼투포텐셜 Ψotlp이 낮은 값을 가질수록 그 수종은 내건성이 강하다고 볼 수 있다(Parker 등, 1982; Han, 1991; Lee와 Han, 2012).

어수리 엽의 Ψ_o^{sat}은 -1.0MPa이었으며, Ψ_o^{tlp})은 -1.2MPa로 나타났다(Table 1). 이는 산채의

일종인 산마늘(Lee 등, 2011), 곰취와 곤달비(Han 등, 2010)가 -0.7~-0.9MPa의 범위를 나타내는 것과 비교해 내건성이 비교적 높다는 것을 의미한다. Salisbury와 Ross(1992)는 적습산림 초본류의 삼투포텐셜은 -0.6 MPa에서 -1.4MPa의 범위를 나타내며, 건조산림의 초본류는 -1.1 MPa 에서 -3.0 MPa의 범위를 나타낸다고 보고하였는데 실제 목본인 음나무의 Ψosat는 -1.44MPa, Ψotlp는 -1.84MPa로 어수리보다 더 낮다(Jeon, 2003). 이를 통해 어수리는 음나무와 같은 목본 식물보다는 내건성이 다소 약한 편이나 다른 산채류에 비해서는 비교적 높다는 것을 알 수 있다.

식물의 메트릭포텐셜 (matric potential = Ψ_m)은 무시할 정도로 낮기 때문에 종종 수분포텐셜 인자에서 제외되고 있으며(Park, 2009), 본 실험에서도 Ψ_m이 -0.017 MPa로 수분포텐셜에 큰 영향을 끼치지 않은 것을 알 수 있었다(Table 1).

Table 1. The water relations parameters of *Heracleum moellendorffii* leaves

Species	Ψ_o^{sat} (MPa)[1]	Ψ_o^{tlp} (MPa)[2]	Ψ_m (MPa)[3]
Heracleum moellendorffii	-1.0±0.02	-1.2±0.01	-0.017±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

2. 압포텐셜과 최대탄성계수

식물의 수분포텐셜 저하시 높은 팽압을 유지하는 종의 내건성이 강하다(Han, 1991). 어수리의 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). 어수리의 $\Psi_{p,max}$은 1.0MPa로 산채의 일종인 누룩치(1.03MPa), 고려엉겅퀴 (0.90MPa)와 유사하며, 곤달비(0.78MPa)나 곰취(0.81MPa) 보다는 높은 수준이었다(Lee와 Han, 2012; Han 등, 2010).

잎에 팽압이 존재할 때에는 세포막의 체적탄성계수(bulk elastic modulus of the cell wall, E)가 삼투수량의 크기를 조절하며, 탄성계수 E는 팽압의 크기에 따라 변화하기 때문에 수종간의 E 값에 대한 특성을 비교할 때는 최대팽압일 때의 최대탄성계수 E_{max}값을 이용해 비교한다(Tyree 등, 1978). 특히 E_{max}값이 클수록 내건성과 더불어 내동성(frost resistance)이 증가하게 된다(Han과 Sim, 1992). 어수리의 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. 특히 E_{max}값은 28.4MPa로 Han 등(2010)이 보고한 곰취와 곤달비의 29.0 MPa과 유사한 것으로 나타났다(Table 2).

Table 2. The water relations parameters of *Heracleum moellendorffii* leaves

E_{max} (MPa)[1]	$\Psi_{P,\ max}$ (MPa)[2]
28.4±1.15	1.0±0.01

[1] E_{max} is the maximum bulk modulus of elasticity

[2] Ψ_P, max is maximum the pressure potential

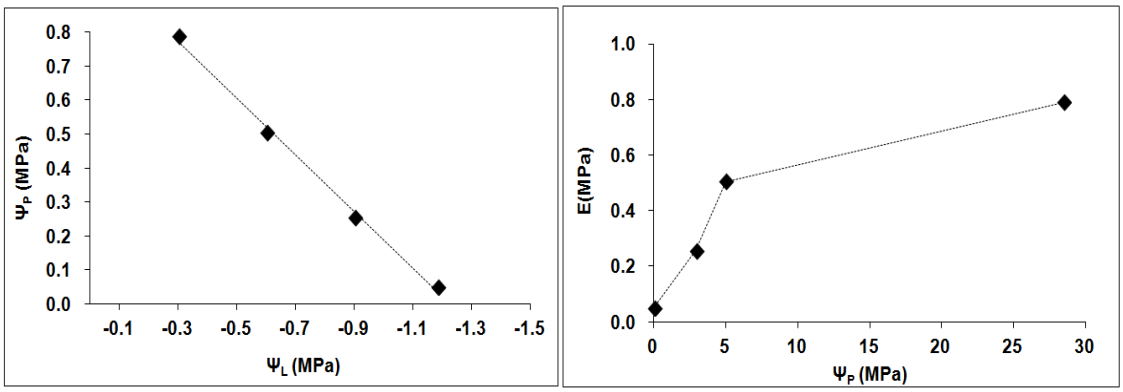

Fig. 2. Relationships between leaf water potential; (Ψ_L) and pressure potential; (Ψ_P) (Right), bulk modulus of elasticity; (E) and pressure potential; (Ψ_P) (Left) of *Heracleum moellendorffii* leaves

Table 3. The water relations parameters of *Heracleum moellendorffii* leaves

RWC^{tlp} (%)[1]	RWC^{*} (%)2	Vt^3/DW^4 (gH_2O/gDW)	Vo^5/DW (gH_2O/gDW)	Ns^6/DW (gH_2O/gDW)
88.1±0.8	93.3±2.3	4.5±0.2	2.5±0.1	0.1±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] Vt is the volume of symplastic and apoplastic water at maximum turgor
[4] DW is dry weight
[5] Vo is total symplastic water content
[6] Ns is number of osmoles in symplastic water

3. 상대함수율

초기원형질분리점에서의 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). 어수리의 상대함수율 RWC^{tlp}는 88.1%로 비교적 삼투조절기능이 좋았으며(Table 3), 이는 누룩치나 고려엉겅퀴 등 다른 산채류와 비슷한 수준이었다(Lee와 Han, 2012).

P-V 곡선법으로 RWC^{*}와 RWC^{tlp} 이외에도 단위건중량에 대한 상대함수율인 Vo/DW, Vt/DW, Ns/DW 등을 알 수 있다. Vt/DW는 건중량에 대한 수분총량, Vo/DW는 건중량에 대한 세포막을 자유로이 이동할 수 있는 삼투수량의 크기를 의미하고, Ns/DW는 최대포수시의 삼투수량에 녹아 있는 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). 어수리의 경우 항목 값이 곰취 및 고려엉겅퀴와 비슷한 경향을 보였으며, 누룩치보다는 다소 높았다(Han 등 2010; Lee과 Han, 2012).

Ⅳ. 결론

잎의 수분특성인자 중 최대포수시의 삼투포텐셜 Ψ_o^{sat} 및 초기원형질 분리시의 삼투포텐셜 Ψ_o^{tlp}이 낮은 값을 가질수록 그 식물은 내건성이 강하다고 볼 수 있다. 어수리의 수분특성인자를 측정한 결과 최대포수시의 삼투포텐셜 Ψ_o^{sat}과 초기원형질 분리점의 삼투포텐셜 Ψ_o^{tlp}은 -1.0MPa~-1.2MPa로 곰취, 곤달비, 누룩치 등 다른 산채류와 비교해 다소 낮게 나타나 흡수력이 높고 초기원형질 분리가 늦게 나타나는 종임을 알 수 있다. 최대포수시의 팽압 즉 최대팽압 $\Psi_{P,max}$과 최대탄성계수 E_{max}값은 높은 편으로 수분스트레스에 따른 팽압을 유지하기 위한 기작이 나타남을 알 수 있었다. 또한 원형질분리시의 상대함수율 RWC^{tlp}이 88.1%로 삼투조절기능 역시 좋은 종임을 알 수 있었다. 이상의 결과로 어수리는 곰취, 곤달비, 누룩치, 고려엉겅퀴와 비교해 내건성이 높은 종으로, 비교적 건조한 곳에서도 생육이 가능할 것으로 판단된다.

Ⅴ. 참고문헌

1. 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. Canadian Journal of Botany. 53:1342-1346.
2. 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.
3. Han, S. S., and Kim, K. R. (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.
4. Han, S. S., and Sim, J. S. (1992). Characteristics of water relations parameters obtained from pressure volume curves in *Pinus koraiensis* needles. Korean Journal of Ecology. 15: 47-58
5. Han, S. S., Lee, K. C., and Jeon S. R. (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. Ko, K. S., and Jeon, E. S. (2003). Ferns, fern-allies and seed-bearing plants of

Korea. Iljinsa, Seoul, p.489.

8. Lee, K. C., and Han, S. S. (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.
9. Lee, K. C., Kim, H. S., and Han S. S. (2011). Water relations parameters in the leaves of *Allium ochotense* and *Allium microdictyon*. Journal of Forest Science. 27:33-37
10. Lee, K. C., Kwon, Y. H., Lee, K. M., and Han, S. K. (2016). Comparison 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.
11. Nam, Y. K., and Baik, J. A. (2005). Status of research and possibility of development about endemic wild vegetables in Korea. Journal of Korean Society People, Plants, Environment. 8:1-10.
12. Neil, C. T. (1988). Measurement of plant water status by the pressure chamber technique. Irrigation Science. 9:289-308.
13. Park, S. N. (2009). Physicochemical and Environmental Plant Physiology. 4th ed. Academic Press. San Diego. USA. p.78-86.
14. 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. Ecology. 63:1259-1267.
15. Salisbury, F. B., and Ross, C. W. (1992). Plant Physiology. 4th ed., Wadsworth Publ. Co. Belmont. USA. pp. 35-53.
16. 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 tissure-water relations of *Acer, Populus, Tsuga,* and *Picea*. Canadian Journal of Botany. 56:635-647.
17. 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. Journal of Experimental Botany. 23: 267-282.