

P-V곡선에 의한 꼬리진달래(*Rhododendron micranthum* Turcz.)의 수분특성

김남영, 이경철, 한상섭, 박완근*

강원대학교 산림환경과학대학 산림자원학과

Water Relations Parameters of *Rhododendron micranthum* Turcz. from P-V Curves

Nam Young Kim, Kyeong Cheol Lee, Sang Sub Han, and Wan Geun Park*

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

Abstract - Determining plant moisture characteristics is an essential study not only for cultivation, but also for ex-situ conservation. In this study, employing pressure-volume curve we examined moisture characteristics of *Rhododendron micranthum*, known as rare plant, with the aim of its ex-situ conservation. Several individuals growing in Mt. Worak, Youngwol-gun Yeonha-ri and Bongwa-gun Seokpo-ri were selected for this study, from which we collected leaves. The original bulk osmotic pressure at maximum turgor(Ψ_o^{sat}) was -1.5 MPa in those of Mt. Worak and Seokpo-ri, which is somewhat lower than that of Yeonha-ri(-1.2 MPa). It appeared that the osmotic pressure at incipient plasmolysis(Ψ_o^{ip}) of leaves collected in both Mt. Worak and Seokpo-ri were -1.29 MPa, and -1.26 MPa, respectively, which are lower than that of Yeonha-ri(-1.02MPa). Maximum bulk modulus of elasticity(E_{max}) was 14.0 MPa, 8.67 MPa in leaves collected from both Seokpo-ri and Mt. Worak, respectively, those value of which were approximately 3 times higher than that of Yeonha-ri(4.00 MPa). The values of RWC_{ip} (Relative water content at incipient plasmolysis) of leaves collected in three areas, were roughly 83%, suggesting that *Rhododendron micranthum* has relatively high capability of containing water. Our finding on moisture characteristics of *Rhododendron micranthum* is similar to those of other *Rhododendron* spp. We suggest that individuals growing in both Worak and Seokpo-ri, are preferable to those in Yeonha-ri for ex-situ transplantation since those individuals are found to have better drought resistance.

Key words - p-v curves, rare plant, *Rhododendron micranthum*, water relations parameter

서 언

꼬리진달래(*Rhododendron micranthum*)는 진달래과 진달래속으로 경상북도, 강원도, 충청북도에 자라는 상록 관목의 식물이다. 높이는 1~2 m이고 가지가 한 마디에서 2~3개씩 나오며 2년지는 갈색이 돌며 털이 있고 골속은 갈색이다. 꽃은 6~7월에 총상화서로 피며, 20개 정도의 꽃이 달린다. 열매는 긴 타원형이고 길이 5~8 mm로서 9월에 익는다(이, 2003).

꼬리진달래는 내음성이 강한 수종으로 우리나라의 자생

식물 가운데 상록성이며 내음성이 강한 수종이 흔하지 않기 때문에 조경수목화를 위해 생육환경조사, 광합성, 번식에 대한 조사는 이루어졌다(이 등, 1989; 1990a; 1990b). 또한 김 등(2006)에 의해 형태적 변이에 대한 분석을 통해 우량한 집단에 대한 조사가 수행되었으나 수분생리반응에 대한 조사는 이루어지지 않았다.

산림청에서 희귀·멸종위기식물로 지정되어 있으며(산림청, 1997), 한국 희귀식물 목록집에서는 취약종으로 분류하고 있다(산림청, 2008). 꼬리진달래의 개체수는 많은 것으로 나타났으나, 그 지역이 중부지역으로 한정되어 있으며, 생태적으로 소나무 군락과 함께 생육하고 있어 기후변

*교신저자(E-mail) : wgpark@kangwon.ac.kr

화에 따른 소나무 군락이 퇴보할 경우 꼬리진달래의 생육도 어려울 것으로 생각되며, 현지의 이식 등의 보전전략을 세워야 할 것으로 생각된다.

산림 내에서 성장하는 식물은 여러 가지 입지환경과 기상인자의 영향을 받지만, 그 중에서 광과 수분조건은 이들의 생장에 결정적인 요인으로 작용한다. 특히 토양수의 결차로 발생하는 잎의 수분포텐셜 저하는 초기에는 기공개폐 작용에 의한 단순한 광합성 속도의 감소에 그치나, 그 정도가 점점 커지면 세포의 팽압이 0에 가까워져 마침내는 원형질 분리가 시작된다. 이때 잎은 물질생산능력을 잃고 장기간 계속되면 영구위조점에 달하여 고사하게 된다(한과 김, 1980). Tyree와 Hammel(1972)은 이론과 실험을 통해 더욱 발전시킨 P-V 곡선법(Pressure-volume curve technique)을 제안하였다. P-V 곡선법은 잎에 대한 여러 가지 함수율의 변화에 따른 수분포텐셜, 삼투포텐셜, 압포텐셜 등의 상호관계 등 수분특성인자의 측정을 용이하게 할 수 있는 방법으로 최대로 수분을 흡수시킨 잎의 절단부분만을 Pressure chamber 밖으로 내어놓고 서서히 가압하면서 절단부로부터 나오는 침출수량(V_e)과 그때의 압력의 역수($1/P$)와의 관계를 이용해 수분특성인자를 측정하는 것이다.

따라서, 본 연구는 희귀식물인 꼬리진달래의 수분특성을 규명하여 자생지 내의 수분환경 및 기후변화에 따른 자생지 보전전략과 현지의 이식을 통한 보존전략의 기초자료를 제공하고자 실시하였다.

재료 및 방법

공시재료

본 연구의 실험재료는 2009년 5월에 충청북도 월악산, 강원도 영월군 연하리, 경상북도 봉화군 석포리에서 생육이 양호한 개체를 시료로 채취하였다. 자생지별로 월악산의 경우 다른지역과 다르게 활엽수림에 생육하고 있었으며, 연하리의 경우는 개체가 잎이 다른 지역에 비해 크기가 크며, 석포리의 경우는 가장 보편적인 생육환경을 이루고 있어 세 곳을 선정하였다. 채취한 시료는 완전히 성숙된 전년지 가지의 잎을 사용하였다. 해발고는 월악산 365 m, 영월군 연하리 320 m, 봉화군 석포리 575 m로 석포리의 해발고가 가장 높았다. 이 지역의 기온과 강수량은 본 조사지에 인접한 충주, 제천, 봉화 측후소의 30년간(1971~2000)의

기상자료에 의하면 평균기온은 충주가 11.5°C, 제천 10.1°C, 봉화 10.0°C로 나타났으며, 강수량은 충주가 1187 mm, 제천 1295 mm, 봉화 1178 mm로 나타났다(기상청 2001).

P-V곡선에 의한 수분특성 인자 측정

본 실험은 시료의 지상부를 절단하여 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. USA)에 넣은 후 질소가스를 이용하여 최초 0.3 MPa에서 0.3 MPa씩 증압하면서 각 압력단계별로 수분의 침출량을 측정하였다. 잎의 수분 침출량 측정을 위하여 tissue paper를 넣은 silicone tube를(내경 5 mm, 길이 6 cm) 시료의 절단부에 접촉시켜 흡수시킨 후 무게의 증가를 침출이 끝날 때까지 10분 간격으로 측정하였다. 최대 2.4 MPa까지 침출량을 측정하였으며, 각 시료의 측정은 절단 후 24시간 이내에 완료하였다. 측정이 끝난 시료는 80°C에서 48시간 건조 후 건조량을 측정하였다(한, 1991). P-V곡선법은 비교적 재현율이 높기 때문에 2회 이상 반복측정하여 P-V곡선이 일치하는 경우에는 처음 측정치를 사용하였다.

잎의 생세포군내의 압포텐셜(=팽압; Ψ_p), 최대포수시의 삼투포텐셜(Ψ_o^{sat}), 초기원형질분리점의 삼투포텐셜(Ψ_o^{tip}), Osmole수(N_s/DW), 세포막의 최대탄성계수(E_{max}), 세포막을 자유롭게 이동할 수 있는 삼투수의 총량에 대한 초기원형질분리점의 상대함수율(RWC^{tip}), 잎의 총함수량에 대한 초기원형질분리점의 상대함수율(RWC^*) 등 식물의 내건성에 관계되는 수분특성인자는 Tyree와 Hammel(1972)의 P-V곡선이론을 적용하여 구하였다.

결과 및 고찰

P-V곡선에 의한 잎의 수분특성

꼬리진달래 잎의 생세포군내의 수분특성을 파악하기 위하여 P-V곡선법에 의해 측정하였으며, 그 결과를 Fig. 1에 나타냈다. 원형질분리가 일어난 이후 침출수량과 $1/P$ 의 직선관계는 모두 상관계수 0.99이상의 높은 값으로 1%의 유의성을 나타냈다.

이 직선의 연장선과 종축의 교점은 최대포수시의 삼투포텐셜(Ψ_o^{sat}), 횡축과의 교점은 Symplastic water의 총량

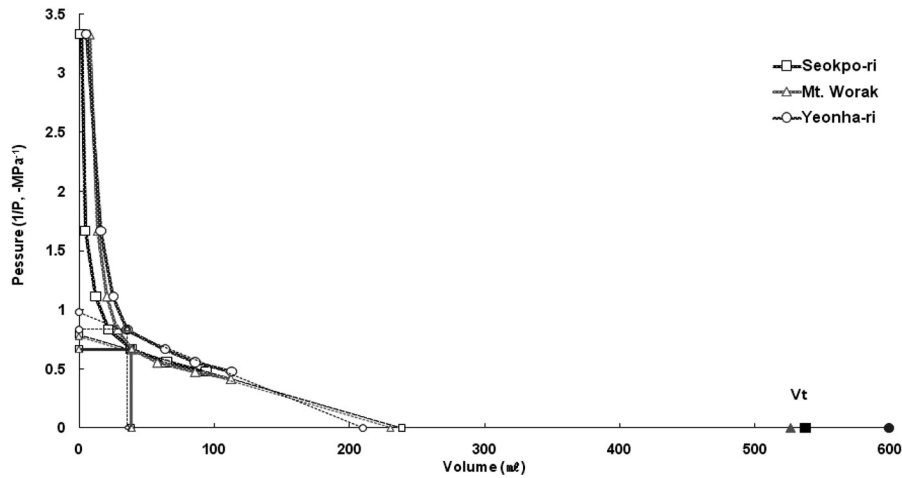


Fig. 1. The pressure-volume curves of *Rhododendron micranthum* leaves. V_t is the volume of symplastic and apoplastic water at maximum turgor.

(V_0), 곡선과의 교점은 초기원형질분리점(Ψ_0^{tp}), 즉 팽압포텐셜(Ψ_p)이 0인 점을 각각 의미한다(Park S. Nobel, 2009). 또한 이 직선으로 얻어진 수분특성인자의 값은 3회 반복실험에서 재현성이 매우 높게 나타났다. P-V 곡선을 이용하여 얻어진 수분특성인자 값은 Table 1에 나타났다.

Table 1에서 Ψ_0^{sat} 는 최대포수시의 삼투포텐셜로서 낮은 값을 가질수록 내건성이 강하고 잎이 성숙되면서 점차 작아지는 경향을 나타낸다고 한다(한과 김, 1980; 한과 최, 1983; 한, 1991). 즉 잎이 증산작용으로 수분결차를 받았을 경우 삼투포텐셜이 강하게 작용하여 뿌리로 부터의 수분공급을 빠르게 할 수 있기 때문이다.

본 연구에서 측정된 꼬리진달래 잎의 Ψ_0^{sat} 는 석포리 -1.26 MPa, 월악산 -1.29 MPa, 연하리 -1.02 MPa로 자생지 별로 다소 차이가 나는 것으로 나타났으며, 연하리가 석포리, 월악산의 꼬리진달래 보다는 내건성이 약한 것으로 나타났다. 연하리의 꼬리진달래는 김 등(2006)에 논문에서 형태적으로 잎이 큰 집단으로써, 자생지의 환경 특히 토양에 의한 입지환경이 석포리, 월악산의 토양환경 보다

는 좋은 토양입지조건에 있어 잎의 세포연화가 진전되었기 때문인 것으로 사료된다.

또한 한(1991)이 보고한 성숙목 음나무 잎의 Ψ_0^{sat} 는 -1.60 MPa이며, 4년생 음나무 잎은 -1.40 MPa로서 생장에 따라 다소 차이가 나타난다고 한다(한 등, 2006). 본 연구 결과 자생지별로도 차이가 나타났다. Salisbury & Ross(1992)의 보고에 의하면 활엽수류와 관목류의 Ψ_0^{tp} 는 대부분 -1.4 ~ -2.5 MPa를 보이며, 특히 침엽수류와 진달래, 철쭉류의 Ψ_0^{tp} 는 -1.6 ~ -3.1 MPa인 것으로 나타난 것으로 보아 꼬리진달래의 Ψ_0^{tp} 이 관목류와, 비슷한 식물인 진달래, 철쭉류의 값과 비슷하게 나타났다.

세포막의 최대탄성계수 E_{max} 의 값을 산출하여 Table 1에 나타내었다. 꼬리진달래의 자생지 E_{max} 값은 석포리 14.0 MPa로 나타냈고, 월악산 8.67 MPa로 다소 낮은 값을 나타냈으며, 연하리 4.00 MPa로 석포리에 비해 3배정도 낮은 값으로 나타나 석포리가 다른 지역에 비해 내건성이 강할 것으로 생각되어진다(Table 1). 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 수종간의 E 값에 대한 특성을 비교할 때는 최대팽압일 때의 최대탄성계수 E_{max} 값을 이용해 수분특성 값을 비교한다(Tyree 등, 1978). E_{max} 값이 크고 수분저하에 대하여 급속히 팽압이 저하되는 잎은 내건성이 강하다고 하는데(한, 1991), E_{max} 값이 클수록 잎의 수분저하에 대하여 세포의 수축이 작고 급속히 팽압이 저하된다(丸山과 森川, 1983).

Table 1. The Ψ_0^{sat} , Ψ_0^{tp} , E_{max} , of *Rhododendron micranthum* leaves

Natural habitat	Ψ_0^{sat} (Mpa)	Ψ_0^{tp} (Mpa)	E_{max} (MPa)
Seokpo-ri	-1.26	-1.50	14.0
Mt. Worak	-1.29	-1.50	8.7
Yeonha-ri	-1.02	-1.20	4.0

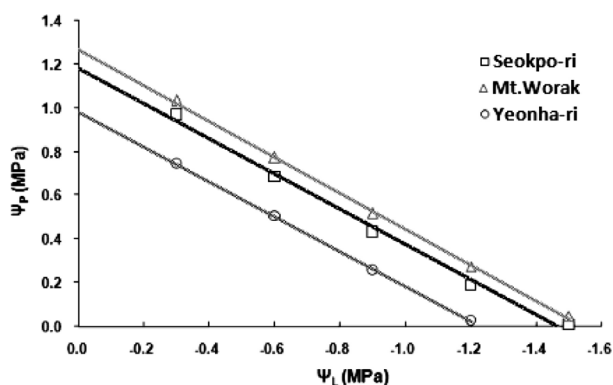


Fig. 2. Relationships between leaf water potential(Ψ_L) and pressure potential(Ψ_P) of *Rhododendron micranthum* leaves.

모든 수종은 팽압포텐셜(Ψ_P)과 수분포텐셜(Ψ_L)의 관계는 직선으로 나타내며, 이 직선과 종축과의 교점이 최대팽압이고, 횡축과의 교점이 팽압이 0인 점 즉 초기원형질분리가 일어나는 점이다(Fig. 2). 잎의 수분포텐셜 저하시 높은 팽압을 유지하는 종이 내건성이 좋으며(한, 1991), 석포리, 월악산이 1.50 MPa로 연하리 1.20 MPa보다 다소 높은 팽압과 더 낮은 수분포텐셜에서 팽압이 0을 나타내고 있다.

초기원형질분리점에서의 상대함수율은 두 가지로 나타낼 수 있다. 즉 잎의 총합수율 V_t 에 대한 상대함수율 $RWC^* = V_P/V_t(V_P=V_o-V_e)$ 과 총삼투량 V_o 에 대한 상대함수율 $RWC^{tp} = V_P/V_o$ 이다(한, 1991; 한 등, 2006).

RWC^{tp} 는 석포리 83.8%, 월악산 83.2%, 연하리 83.1%의 값을 나타내었고, 총수분량에 대한 상대함수율 RWC^* 는 석포리 92.8%, 월악산 92.6%, 연하리 93.4%로 나타나 지역간 차이가 없었으며, 한(1991)이 보고한 신갈나무, 자작나무, 서어나무, 까지박달, 느티나무 등 비교적 내건성이 약한 나무의 RWC^{tp} 값이 80% 이하로 나타났으며, 초기원형질분리점에서 총삼투수량에 대한 상대함수율 RWC^{tp} 은

큰 값을 갖는 수종이 내건성이 크고, RWC^{tp} 가 80% 이상인 잎은 비교적 수분보존기능이 좋다고 한다(Cheung 등, 1975; 한, 1991). 꼬리진달래의 경우 RWC^{tp} 값이 80%를 약간 상회하는 수종으로 나타났다(Table 2).

P-V곡선법에서 얻은 상대함수율인자 중 내건성에 관계되는 인자는 RWC^{tp} 뿐이며, 그 밖에 인자는 잎 고유의 상대함수율의 특성만을 의미한다고 한다(한, 1991).

세포내의 수분총량(V_t)에 대한 세포막을 통과 할 수 없는 apoplastic water(V_a)의 비율은 석포리 55.5%, 월악산 56.2%로 거의 비슷한 값을 나타내었으나, 연하리는 61.1%로 석포리, 월악산과 비교해 세포내의 수분총량에서 apoplastic water(V_a)의 비율이 높은 것을 알 수 있었다. 건중량에 대한 최대 포수시의 삼투수량에 녹아있는 용질의 Osmole 수 (N_s/D_w)는 석포리, 월악산, 연하리 값이 거의 차이를 나타내지 않았다(Table 2).

꼬리진달래는 수분특성상 다른 진달래와 철쭉, 관목류들과 비슷한 경향을 나타냈으며, 자생지역을 비교해 보면 석포리, 월악산 지역이 연하리 지역의 개체보다는 내건성이 상대적으로 우수한 것으로 나타났다. 초기원형질분리점에서의 상대함수율은 80% 이상으로 수분보존기능은 비교적 좋은 수종으로 나타났다.

적 요

식물 수분 특성을 규명하는 것은 재배뿐만 아니라 현지외 보전에도 필수적인 연구이다. 본 연구에서는 희귀식물로 알려진 꼬리진달래의 현지외 보전을 목적으로 P-V 곡선법을 이용하여 수분특성을 조사하였다. 꼬리진달래 잎의 최대팽압시의 삼투포텐셜은 월악산과 석포리의 개체가 각각 -1.5 MPa 이었고, 연하리의 삼투포텐셜이 -1.2 MPa로 다소 높게 나타났으며, 초기원형질분리점의 삼투포텐셜

Table 2. The RWC^{tp} , RWC^* , V_a/V_t and N_s/DW of *Rhododendron micranthum* leaves

Natural habitat	RWC^{tp} (%)	RWC^* (%)	V_a/V_t (%)	N_s/Dw (gH_2O/gDW)
Seokpo-ri	83.8 ^{a**}	92.8a	55.5b	0.05a
Mt. Worak	83.2a	92.6a	56.2b	0.04a
Yeonha-ri	83.1a	93.4a	61.1a	0.03a

* : mean.

** : Duncan's multiple range test(DMRT) at 0.05% level.

은 월악산 -1.29 MPa, 연하리 -1.02 MPa, 석포리 -1.26 MPa로 연하리의 초기원형질분리점이 다소 높게 나타났다. 꼬리진달래의 세포막의 최대탄성계수(E_{max})값은 석포리 14.0 MPa로 나타냈고, 월악산 8.67 MPa로 다소 낮은 값을 나타냈으며, 연하리 4.00 MPa로 석포리에 비해 3배정도 낮은 값으로 나타났다. 초기원형질분리점의 상대함수율은 월악산 83.2%, 연하리 83.1%, 석포리 83.8%으로 비교적 수분보존 기능이 비교적 좋은 수종이다.

따라서, 꼬리진달래는 수분특성상 다른 진달래와 철쭉, 관목류들과 비슷한 경향을 나타냈으며 현지의 이식시 자생기간 내건성이 상대적으로 좋은 월악산, 석포리의 개체가 좋을 것으로 판단된다.

인용문헌

기상청 자료. 2001. 한국기후표. 기상청. pp.632.

김남영, 김홍식, 김영설, 박완근. 2006. 희귀식물 꼬리진달래의 형태적 변이. 한국임학회지. 95(1):55-59.

산림청, 임업연구원. 1997. 희귀 및 멸종 위기 식물도감. 중부 임업시험장. pp.171.

산림청, 국립수목원. 2008. 한국희귀식물목록집. pp.332.

이창복. 2003. 원색 대한식물도감. 향문사. pp.1824.

이기의, 유근창, 이병룡. 1989. 꼬리진달래의 조경수목화를 위한 기초연구(I)-자생지의 생육환경을 중심으로-. 한국조경학회지. 17(2):41-46.

이기의, 유근창, 이병룡. 1990a. 꼬리진달래의 조경수목화를 위한 기초연구(II)-광합성을 중심으로-. 한국조경학회지. 8(1):158-159.

이기의, 유근창, 이병룡. 1990b. 꼬리진달래의 조경수목화를 위한 기초연구(III)-생태적 특성을 중심으로-. 한국조경학회지.

8(1):114-115.

한상섭, 김광륜. 1980. 수목의 수분특성에 관한 생리생태학적 해석 I -Pressure Chamber Technique에 의한 내건성 수종의 진단- 한국임학회지. 50:25-28.

한상섭, 전두식, 최홍선. 1985. 수목의 내건성에 관한 연구. 강원대 연습림보고 5:3-7.

한상섭. 1991. 수목의 수분특성에 관한 생리생태학적 해석 (VI). -P-V 곡선법에 의한 활엽수 20종의 내건성 진단- 한국임학회지. 80(2):210-219.

한상섭, 전두식, 심주석. 2006. 광, 온도, 수분 변화에 따른 음나무 엽의 생리반응(IV) -P-V 곡선에 의한 잎의 수분특성-. 森林科學研究. 22:71-75.

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.

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.

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.

Park S. Nobel. 2009. Physicochemical and Environmental Plant Physiology. 4th ed. Academic Press. 62; 81-84.

Salisbury, F. B., and C.W. Ross 1992. Plant Physiology. 4th ed., Wadsworth Publ. Co. Belmont, California, pp.682.

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 tissue-water relations of *Acer*, *Populus*, *Tsuga*, and *Picea*. Can. J. Bot. 56:635-647.

(접수일 2009.12.19; 수락일 2010.6.30)