

국내 자생종 및 도입종 만병초의 내한성과 관련된 형태 및 생리적변화

이병철¹ · 김성민² · 정효정¹ · 심이성^{1*}

¹서울시립대학교 환경원예학과, ²서울시립대학교 자연과학연구소

Cold Tolerance of Native and Introduced Evergreen Rhododendron Species According to Morphological and Physiological Changes

Byung Chul Lee¹, Seong Min Kim², Hyo Cheng Cheng¹, and Ie Sung Shim^{1*}

¹Department of Environmental Horticulture, University of Seoul, Seoul 130-743, Korea

²Natural Science Research Institute, University of Seoul, Seoul 130-743, Korea

Abstract. Cold tolerance of the native *Rhododendron* species which are on the verge of extinction in Korean nature were compared with the introduced species and its mechanism were studied physiologically with the investigation of the leaf angle, leaf curling, and photosynthetic activity. The degree of cold tolerance measured with the leaf burning after winter season was higher in the native species, *Rhododendron brachycarpum* and *Rhododendron brachycarpum* var. *roseum* than all the introduced species. ‘Nova Zembla’, an introduced species, showed high sensitivity to the low temperature. Changes in leaf angle by the low temperature were bigger in 2 native species and ‘Parker’s Pink’ than the other introduced species and small comparatively in ‘Nova Zembla’ and ‘Cunningham’s White’ cultivar. Leaf curling also occurred strongly in 2 native species by the low temperature. While, it was comparatively little and mild in the other introduced species. Therefore these results suggested that the leaf movement such as leaf angle change and curling adapted to the low temperature is positively related to the cold tolerance of 2 native species. By the way, such relationship is not explainable in the cold-sensitive ‘Parker’s Pink’ cultivar showing comparatively stronger leaf movement. Photosynthetic activity measured before the winter season was high in the cold-tolerant *R. brachycarpum* and its recovery after winter season was faster in the 2 native species and the introduced ‘Cynosure’ cultivar than the other introduced species. They were the lowest in the most cold-sensitive ‘Nova Zembla’. This phenomena occurred similarly even in the stomatal conductivity, suggesting that the movement of water from the roots to the leaves is better and then the leaf burning after winter season become small in the cold-tolerant species. The recovery of photosynthetic activity and stomatal conductivity was comparatively slower in the cold-sensitive ‘Parker’s Pink’. From the above results, leaf behavior adapted to the low temperature during the winter season and water movement to the leaves are related collectively to the cold tolerance represented as the leaf burning in the *Rhododendron* species is suggested.

Additional key words: avoidance system, costa, metabolic activation, photoinhibition

서 언

만병초는 진달래과(Ericaceae), 진달래속(*Rhododendron*)에 속하는 상록활엽관목으로 남북 양 반구의 온대에서 한대에 이르기까지 널리 분포하며, 일부는 열대의 고산지대에도 서식하고 있다(Sean, 2003). 상록활엽수인 만병초는 꽃이 화려하고 잎의 관상가치가 높아 미국과 유럽 등 정원이 발달한 나라에서 정원식물로 널리 식재되어 각광받고 있는 식물이다(Hong et al., 1984).

백두대간을 중심으로 해발 1,000m 이상의 고지대의 서늘한 지역에 자생하고 있는 희귀 및 멸종위기 식물인 만병초는(Kong, 2004) 꽃이 아름다워 관상학적 가치가 높을 뿐 아니라, 고층빌딩으로 인한 음지가 점차 많아지는 우리나라 대도시에 적합한 조경수로 개발할 가치가 높으나(Hong et al., 1984), 이들에 대한 월동 중 생리현상과 내한성과 관련한 국내의 연구는 아직까지 미비한 실정이다.

상록성 수목은 겨울철에도 휴면상태로 들어가지 않고, 저

*Corresponding author: isshim@uos.ac.kr

※ Received 31 August 2011; Accepted 7 October 2011. 이 논문은 2010년도 서울시립대학교 연구년 교수 연구비에 의하여 연구되었음.

재료 및 방법

실험 식물의 생육지 환경과 식물재료의 특성

본 연구는 2009년 4월에 경기도 가평군에 위치한 아침고요수목원에 실험포장(Latitude: N37°73.992', Longitude: E127°35.505')을 조성하고 2011년 4월까지 실시하였다. 실험포장의 해발고도는 170m 경사도는 평균 35°이고, 상층 식생은 침엽수인 잣나무가 우점종이며, 소나무와 산단풍, 생강나무가 분포하고 있었다. 토양은 잣나무 부엽성분이 많은 점질 토양이 실험포지내에는 동일하였으며, 관수는 주로 자연 강우량에 의지하였고, 미스트 관수시설을 설치하여 아주 건조한 날에는 추가 관수를 실시하였다. 이 지역의 2010년 1월 최저 평균 온도는 영하 21°C였고(Fig. 1), 2011년도에는 영하 23°C였다(Fig. 2). 겨울철 일조량은 하루 평균 약 $190\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 였고, 오후 1시쯤이 약 $670\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 가장 강한 일조량이었으며, Quantum Light Sensor(SKP 215, UK)로 측정하였다.

실험에 사용된 식물재료는 우리나라 고산지대에 자생하는 만병초(*Rhododendron brachycarpum*) 및 울릉도에 자생하고 있는 홍만병초(*Rhododendron brachycarpum* var. *roseum*)와 도입원예품종 ‘Nova Zembla’, ‘Parker’s Pink’, ‘Cynosure’, ‘Cunningham’s White’ 모두 5종을 공시하였다. 충청남도 공주시 만병초농장에서 구입하여 사용하였고 모두 10년생 이상이며 2009년 3월에 식재하였다. 대체로 평균 수고는 1m 전·후이었고, 수관폭은 70-100cm으로 종에 따라 약간씩 차이가 있었다.

엽소피해율 조사

가시적 피해증상의 측정은 월동후인 2010년 3월 12일과 이듬해인 2011년 3월 22일에 피해엽이 육안으로 구분이 되는 시점

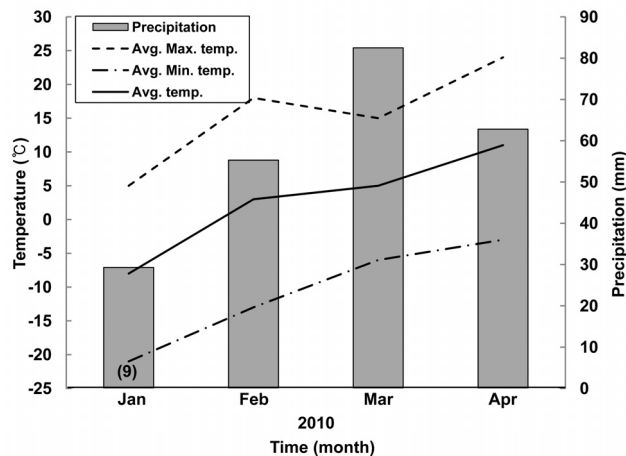


Fig. 1. Change of climate at the meteorological station in Gapyung, South Korea in 2010. () The number of days below -15°C at the month.

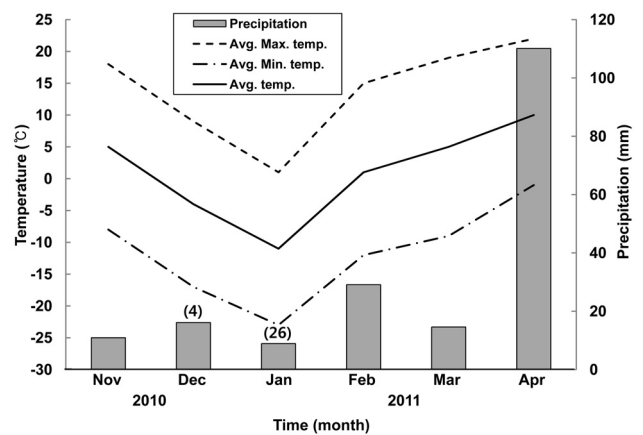


Fig. 2. Change of climate at the meteorological station in Gapyung, South Korea in 2011. () The number of days below -15°C at the month.

에, 동일한 만병초 7종에 대하여 조사하였다. Nilsen(1992)의 조사방법에 의해서 다음 식과 같이 총 엽수 중 동해를 입어 갈 변증상이 있는 피해엽의 엽수를 백분율로 환산하여 상대적 피해엽율(RDC: the relative damage content)을 측정하였다.

$$RDC (\%) = \left(\frac{\text{Number of damaged leaves}}{\text{Number of total leaves}} \right) \times 100$$

엽각과 잎말림의 변화 조사

엽각(Leaf angle)의 변화를 오전에 영하 10°C부터 오후의 영상 8°C까지 3°C씩 간격으로 측정하였다. 이는 자연상태에서 위 범위의 온도보다 더 떨어지거나 상승하여도 추가적인 엽각의 변화는 일어나지 않았기 때문이다. 이렇게 7단계의 온도에 반응하여 아래로 떨어진 각도를 Nilsen(1987, 1992)의 방법에 의해 측정하였다(90° = vertical, 0° = horizontal). 잎 말림(Leaf curling)의 변화측정은 엽각의 측정과 동일하게 온도(영하 10-8°C)에 따라 잎의 가장자리가 말리는 변화를 주맥을 기준으로 양분하여서 말리는 각도를 측정하였고, 각도계와 사진판독을 통한 AutoCAD 2010(Autodesk Inc., San Rafael, CA, USA)으로 각도를 측정하여 나중에 합산하였다.

월동 전·후 광합성 활성과 기공 전도도의 변화 측정

공식 식물의 순광합성 능력은 월동 전인 2010년 11월 17일에 1차 측정하였고, 월동 직후인 3월 2일과 4월 1일에 2차 및 3차 측정을 하였다. LI-6400 휴대용 광합성 측정기(LI -6400, Li-Cor, Lincoln, NE, USA)를 사용하여 500 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 광도에서 측정하였다. 실험대상인 만병초들을 각 품종별 2년생 잎을 대상으로 신초 기부에서 5번째 잎의 중단부를 동일하게 측정하였다. 광합성 측정시 leaf chamber 내부 온도는 20°C, CO₂ 농도는 400 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 로 유지하였고, 순광합성량과 호흡률을 계산하였다(Caemmerer et al., 1981).

같은 장치를 이용하여 기공전도도(stomatal conductance)도 동시에 측정하였다. 보통 기공전도도의 크기는 광도, 수증기압포차, CO₂ 농도, 기온, 상대습도 등과 같은 환경인자의 변화에 영향을 받는다(Hinckley and Braatne, 1994). 본 실험에서는 포화광량인 1,000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에서 측정한 기공전도도의 값을 비교하였다.

통계분석

세 블록에 의한 난괴법으로 7반복으로 수행하였다. 자료분석은 SAS 통계분석(SAS version 8/2, NC, USA)을 이용하여 분산분석하였고, 평균간 유의차 검증은 Duncan's multiple range test로 95% 수준에서 분석하였다.

결과 및 고찰

엽소 피해율

두 해 겨울을 나면서 일곱 품종 중 월동 후에 엽소율이 가장 컸던 품종은 'Nova Zembla'로 첫해인 2010년에는 14%였지만, 2011년에는 92%로 5주 모두가 동해를 입어 고사되었다. 'Cunningham's White' 품종도 5%에서 55%로 엽소피해율이 많이 늘어났으며, 'Parker's Pink' 품종도 역시 24%에서 56%로 늘어났다(Fig. 3). 엽소현상은 동결에 의한 잎세포의 파괴와 월동 후의 수분불균형에 의한 건조피해에 기인한다고 볼 수 있다. 2011년 겨울에 엽소현상이 심했던 것은 2011년의 평균 최저, 최고 온도가 각각 2°C와 3°C 낮았고, 또한 겨울철 강수량도 평년대비 건조했으며, 특히 1월 강수량이 8.9mm로 매우 적었기 때문으로 판단된다(Figs. 1 and 2).

이러한 도입종들에 반하여 우리나라 자생종인 만병초와 홍만병초는 피해를 받지 않고 건전한 푸른 잎 상태를 유지하고 있었다. 따라서 자생종 만병초와 홍만병초의 내한성이 도입 품종들 보다 월등히 높은 것으로 판명되었다. 특히 평년에 비해 혹한이었던 2011년에도 이들 자생종이 피해를 받지 않은 점은 주목할 만하였다. 도입종들 중에서는 'Cunningham's White'가 비교적 높은 내한성을 보여주었다.

엽각(Leaf angle)의 변화

온도에 따른 각 품종의 엽각의 변화를 보면, 품종별로 약간의 차이는 있었지만 모든 품종에서 온도가 낮을수록 최대의 엽각이 나타나고 온도가 올라 8°C가 되면 회복되는 양상을 보여 주었다(Fig. 4). 품종간의 차이를 보면 -10°C였을 때 세 품종(만병초, 홍만병초, 'Parker's Pink')이 가장 급격

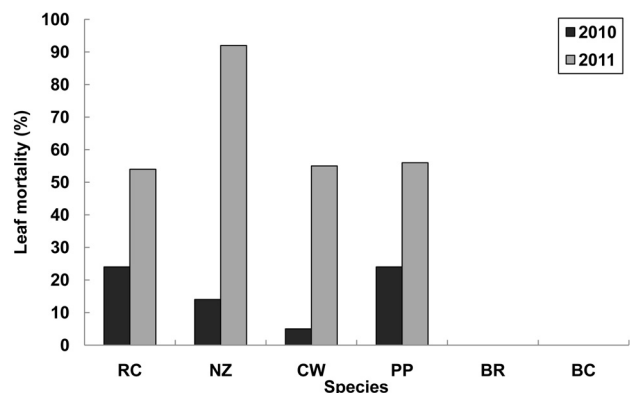


Fig. 3. Leaf mortality of six kinds of *Rhododendron* species after winter season. RC: *Rhododendron* cv. Cynosure, NZ: *R. catawbiense* cv. Nova Zembla, CW: *Rhododendron* cv. Cunningham's White, PP: *Rhododendron* cv. Parker's Pink, BR: *R. brachycarpum* var. roseum, BC: *R. brachycarpum*.

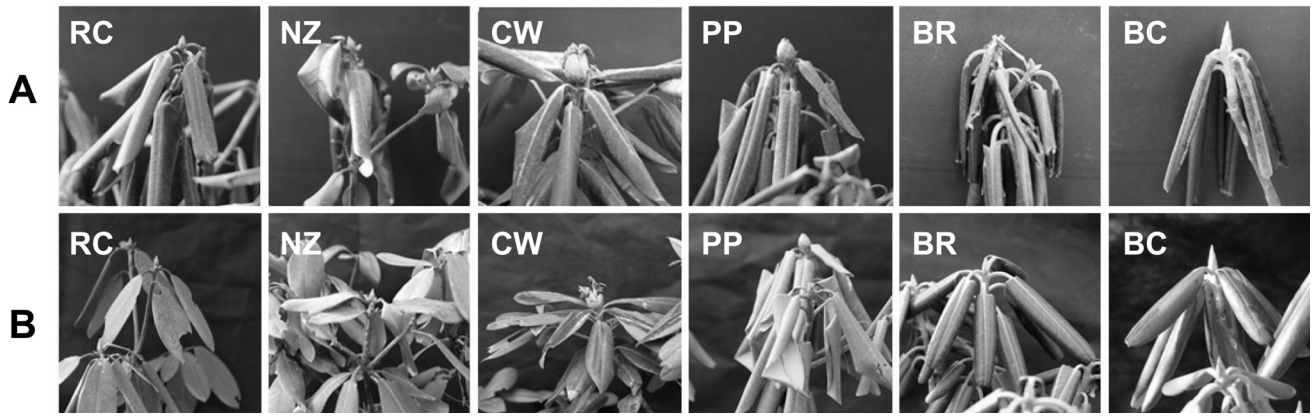


Fig. 4. Changes of leaf angle of six kinds of *Rhododendron* species at -10°C (A) and 5°C (B). RC: *Rhododendron* cv. Cynosure, NZ: *R. catawbiense* cv. Nova Zembla, CW: *Rhododendron* cv. Cunningham's White, PP: *Rhododendron* cv. Parker's Pink, BR: *R. brachycarpum* var. *roseum*, BC: *R. brachycarpum*.

Table 1. Changes of leaf angle of six kinds of *Rhododendron* species during winter season.

Species	Temp. ($^{\circ}\text{C}$)						
	-10	-7	-4	-1	2	5	8
RC ^z	62 ± 15.3 bc ^y	58 ± 17.6 bc	45 ± 15.0 bc	45 ± 15.0 ab	45 ± 15.0 a	43 ± 15.3 a	43 ± 15.3 a
NZ	47 ± 17.6 cd	40 ± 25.0 cd	35 ± 22.9 c	32 ± 17.6 bc	30 ± 15.0 ab	17 ± 15.3 a	10 ± 8.7 c
CW	30 ± 15.0 d	30 ± 15.0 d	22 ± 10.4 c	18 ± 10.4 c	15 ± 15.0 b	15 ± 15.0 a	3 ± 5.8 c
PP	83 ± 7.6 ab	80 ± 5.0 ab	77 ± 2.9 a	58 ± 12.6 a	45 ± 15.0 a	30 ± 15.0 a	20 ± 8.7 bc
BR	83 ± 7.6 ab	80 ± 5.0 ab	77 ± 2.9 a	58 ± 12.6 a	45 ± 15.0 a	30 ± 15.0 a	20 ± 8.7 bc
BC	88 ± 2.9 a	87 ± 5.8 a	67 ± 18.9 ab	55 ± 8.7 ab	45 ± 15.0 a	40 ± 17.3 a	35 ± 8.7 ab

^zRC: *Rhododendron* cv. Cynosure, NZ: *R. catawbiense* cv. Nova Zembla, CW: *Rhododendron* cv. Cunningham's White, PP: *Rhododendron* cv. Parker's Pink, BR: *R. brachycarpum* var. *roseum*, BC: *R. brachycarpum*.

^yMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $P = 0.05$.

한 반응을 나타내 90° 가까이(83-88°) 수직의 변화를 나타냈다. 그 다음으로는 'Cynosure'와 'Nova Zembla'로 47-62°였고, 가장 변화가 적은 품종은 'Cunningham's White'로서 -10°C에서 30°만 잎이 아래로 처지는 반응을 보였다(Table 1). 온도가 -10°C에서 8°C로 올라감에 따라 일어나는 엽각의 변화 정도는 자생종인 만병초 및 홍만병초와 도입종인 'Parker's Pink'에서 컸고, 'Cynosure'와 'Cunningham's White'에서 작았다. 온도반응에 따른 엽각의 변화가 가장 활발한 종은 홍만병초로 90°에서 15°까지 반응을 하였고, 만병초도 비슷한 양상을 보여주었으나, 5°C 이상에서는 홍만병초보다 느리게 회복되었다. 가장 변화가 없는 품종은 'Cynosure'로 62-43°로 엽각이 크게 내려가지 않았다. 저온에 반응하여 엽각의 변화가 큰 품종들이 대체적으로 내한성이 좋았다. 그러나 'Parker's Pink'와 같이 엽각 변화가 컸음에도 불구하고 내한성이 낮았던 품종도 있어서 잎 운동 이외의 다른 요인에 대한 Swiderski et al.(2004)와 Wang et al.(2009)의 보고와 같이 다른 요인과의 관련성 등 추가적인 연구가 필요한 것으로 판단된다.

잎말림(Leaf curling)의 변화

잎이 말리는 현상은 엽각의 변화와 마찬가지로 온도에 의해서 반응하는 기작이며(Nilsen, 1992), 잎의 윗면이 아래쪽으로 말리는데, 말리는 정도나 형태는 품종마다 다르게 나타나지만 -10°C에서부터 최대로 말리고 5°C부터는 잎이 거의 다 펴졌다(Fig. 5). 온도에 따라 가장 민감하게 반응하여 말리는 각도가 가장 큰 품종은 -10°C에서 자생종인 만병초(720°)와 홍만병초(703°) 2종이었으며, 만병초의 경우 주맥을 기점으로 양분되어 각각 360°씩 말려서 두 각을 합해 720°가 되었고, 홍만병초도 비슷한 모양이었다. 'Cynosure'가 435°, 'Parker's Pink'는 321°로 자생종들과 다르게 하나의 통으로 말렸다. 외기온도가 0°C로 올라갈 때 모든 품종에서 말렸던 잎이 펴졌으나, 홍만병초와 만병초는 서서히 복귀되어 10°C에서 다 펴졌고, 'Parker's Pink'는 5°C가 됐을 때 펴졌다. 'Nova Zembla'는 잎이 말리는 형태가 주맥을 중심으로 동그랗게 말리지 않고 잎마다 불규칙하게 말리는 형태적 차이가 있었으며, 'Cynosure'는 -4°C에서는 302°였다가, -1°C일 때는 73°로 빠르게 펴졌고 영상으로 온도가 올라

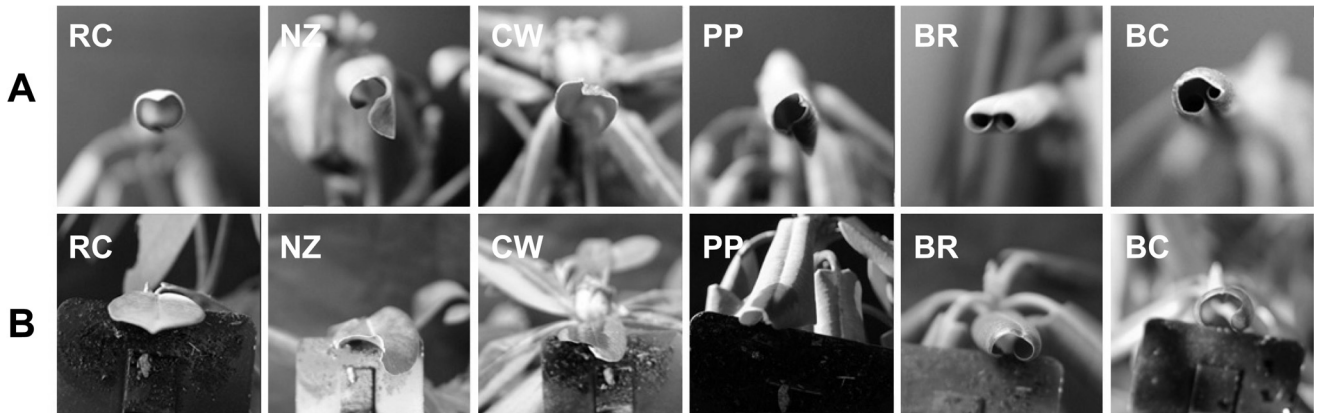


Fig. 5. Changes of leaf curling of six kinds of *Rhododendron* species at -10°C(A) and 5°C(B). RC: *Rhododendron* cv. Cynosure, NZ: *R. catawbiense* cv. Nova Zembla, CW: *Rhododendron* cv. Cunningham's White, PP: *Rhododendron* cv. Parker's Pink, BR: *R. brachycarpum* var. roseum, BC: *R. brachycarpum*.

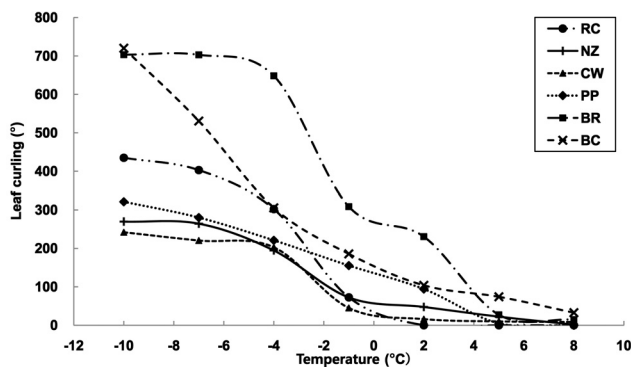


Fig. 6. Changes of leaf curling of six kinds of *Rhododendron* species during winter season. RC: *Rhododendron* cv. Cynosure, NZ: *R. catawbiense* cv. Nova Zembla, CW: *Rhododendron* cv. Cunningham's White, PP: *Rhododendron* cv. Parker's Pink, BR: *R. brachycarpum* var. roseum, BC: *R. brachycarpum*.

가면서 바로 다 펴지는 특징이 있었다(Fig. 6).

Nilsen(1987, 1992)은 만병초에서 잎말림이나 엽각의 변화는 -2°C에서 -5°C 이하의 저온에서 반응하여 10-20분 정도 지나면 변화가 일어나고, 온도가 더 내려갈수록 변화가 더 진행되어서 이것은 각 품종간의 내한성 획득과 밀접한 관련이 있으나, 잎말림의 변화 정도는 엽면적이나 잎의 형태에 의해서 결정되지 않고 각 품종의 내한성의 정도에 의해서 일어나며(Nilsen, 1993). 반드시 내한성이 높은 품종이 강한 잎말림의 반응이 일어나고, 약한 품종이 경미한 반응을 보이는 것만은 아니라고 보고하고 있다.

Wang et al.(2008)의 보고와 같이 본 연구에 공시된 자생종의 내한성은 겨울동안 엽각변동과 잎말림 운동을 통해 면적을 최소화함으로써 광저해 감소와 증산감소에 기인하는 것으로 생각할 수 있으나, 'Parker's Pink'와 같은 품종은 엽각 변화가 컸음에도 불구하고 내한성이 낮아 잎 운동만으로는 설명할 수 없어, 앞으로 추가적인 연구가 더 필요하다.

잎 운동과 동해의 상관관계를 분석해 본 결과 자생종 만병초에서 엽소피해가 나타나지 않는 것은 온도에 의한 잎 운동의 형태적 변화가 최대효과를 나타낸 것으로 보여진다. 하지만 도입종인 'Cunningham's White'는 'Nova Zembla'보다 잎 운동이 활발하지 않은 것에 비해 엽소 피해가 50% 정도로 'Nova Zembla'보다 낮았다. 이것은 'Cunningham's White' 종의 엽소피해 현상이 잎 운동에 의해서 결정되지 않는 것을 시사하며, 추후에 추가적인 연구가 필요하다고 판단된다(Figs. 7 and 8).

월동 전·후 광합성 활성과 기공 전도도의 변화

상록성인 만병초의 잎은 월동 전인 11월 중순에는 높은 광합성 활성을 보이다가 월동 중에는 낮아져서 월동 직후인 3월 중순까지도 광합성이 이루어지지 않았으며, 호흡대사의 반응만 하며 살아 있고 4월이 되어야 광합성 활성이 회복되는 것으로 나타났다(Fig. 9). 월동 전 광합성 활성이 높았던 것은 자생종인 홍만병초가 $10.3 \mu\text{mol} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 높았고, 도입종 'Nova Zembla'에서 $5.9 \mu\text{mol} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 가장 낮았으며, 기타의 품종에서는 큰 차이가 없었다. 자생종인 만병초도 $6.9 \mu\text{mol} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 다른 도입종들에 비해 다소 낮게 나타나서 월동 전의 광합성활성과 공시한 만병초의 내한성과는 관련성이 낮았다. 한편, 월동 후 광합성 활성은 자생종인 만병초($6.5 \mu\text{mol} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)와 홍만병초($7.7 \mu\text{mol} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)에서 높았고, 월동 전과 비교했을 때 회복되는 정도도 높았다. 도입종 중에서는 'Cynosure'에서 $5.5 \mu\text{mol} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 회복이 빨랐고 'Nova Zembla'에서는 $0.2 \mu\text{mol} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 극히 늦었다. 이러한 결과로부터 월동 전의 광합성활성과 월동 후의 광합성의 회복능력은 자생종 만병초와 홍만병초의 월동 후의 엽소현상 즉 내한성과 일부는 관련이 되는 것으로 생각되며, 도입종 'Nova

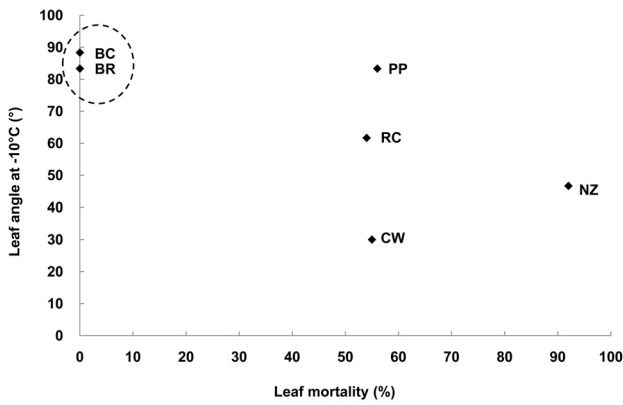


Fig. 7. Relation between leaf mortality and leaf angle at -10°C.

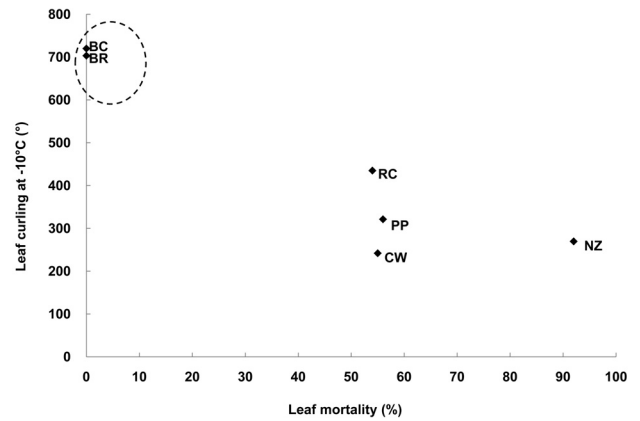


Fig. 8. Relation between leaf mortality and leaf curling at -10°C.

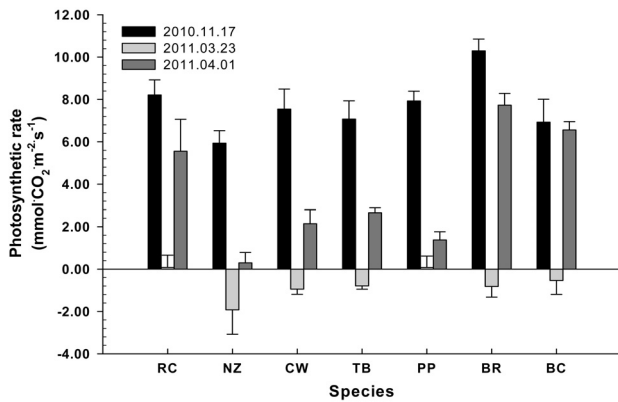


Fig. 9. Photosynthetic rate of six kinds of *Rhododendron* species after winter season. RC: *Rhododendron* cv. Cynosure, NZ: *R. catawbiense* Nova Zembla, CW: *Rhododendron* cv. Cunningham's White, PP: *Rhododendron* cv. Parker's Pink, BR: *R. brachycarpum* var. *roseum*, BC: *R. brachycarpum*.

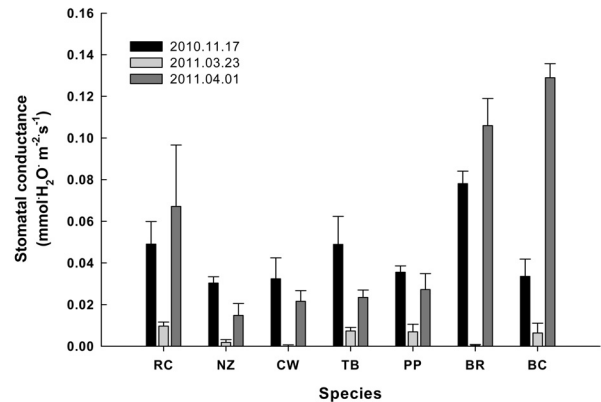


Fig. 10. Stomatal conductance of six kinds of *Rhododendron* species after winter season. RC: *Rhododendron* cv. Cynosure, NZ: *R. catawbiense* Nova Zembla, CW: *Rhododendron* cv. Cunningham's White, PP: *Rhododendron* cv. Parker's Pink, BR: *R. brachycarpum* var. *roseum*, BC: *R. brachycarpum*.

Zembla'에서 엽소현상이 큰 것かと 관련된다고 볼 수 있다. 그러나 광합성활성의 회복이 빨랐던 'Cynosure'와 회복이 늦은 'Parker's Pink'가 비슷한 내한성을 보였던 점은 설명하기에 곤란하나 앞에서 설명한 잎 운동 등의 적응기작과 종합하여 내한성이 결정된다고 볼 수 있다.

월동전의 광합성에 의해 체내에 축적된 물질이 식물의 내한성과 관련되는 것으로 보고되고 있으며(Harris, 2006), 월동 후의 광합성에 의해서 뒤이어 일어나는 건조와 같은 동해에 기인하는 피해를 줄여 엽소현상을 경감시킬 수 있다(Lee, 2011). Nilsen(1992)에 의하면 저온에 의해 유도된 잎의 움직임은 과도한 세기의 광으로 인해 발생할 수 있는 겨울철 피해인 광합성기구의 손상, 즉 광저해(photoinhibition)로 인한 잎과 엽록체기능의 손상을 막아줄 수 있다고 보고하였다. 광저해는 빛과 저온의 조합과 같은 여러 환경 스트레스의 상호 작용에 의해 더욱 가속화된다. 만약 잎의 움직임이 없다면, 한 겨울 낮 동안의 광합성율은 증가되지만, 얼

어버린 토양수분으로 인해 뿌리로부터 수분흡수가 없는 상태에서 증산량만 늘어나 건조로 인한 피해율이 높아진다(Levitt, 1980).

또한, 기공전도도에 있어서도 광합성 활성화와 같은 경향으로 나타났으며 월동 후에 자생종인 만병초와 홍만병초에서 빠르게 회복되었으며, 다음으로 도입종인 'Cynosure'에서 비교적 빠른 회복을 보여주었고 'Nova Zembla'에서 가장 낮은 회복 정도를 나타냈다(Fig. 10). 따라서 뿌리로부터 잎으로의 수분이동이 자생종에서 원활히 이루어지고 있으며, 결과적으로 엽소현상이 적게 일어나 내한성이 있는 것으로 판단된다. 이러한 현상은 다시 월동중의 저온에 의한 세포의 손상과 대사활성의 저하를 가져오고 이는 관련물질과의 관계에서 결정될 것으로 판단되며, 이에 대하여는 다시 자세하게 검토할 필요가 있을 것이다.

초 록

상록활엽관목으로서 꽃이 화려하고 관상가치가 높으나 멸종위기 수종인 자생만병초와 원예도입종 만병초 품종을 공시하여 내한성의 기작을 잎 운동과 광합성 활성 등의 생리적 반응을 조사하여 구명하고자 하였으며 다음과 같이 요약된다. 월동 후의 엽소 피해 정도로 측정한 내한성 정도는 자생종인 만병초와 홍만병초에서 도입종보다 크게 높았으며, 도입종 중에서도 ‘Nova Zembla’에서 가장 낮았고, ‘Cynosure’와 ‘Parker’s Pink’는 이보다 다소 높았다. 저온에 의한 엽각의 변화는 자생종과 ‘Parker’s Pink’ 품종에서 크게 일어났으며, ‘Nova Zembla’와 ‘Cunningham’s White’에서의 변화는 적었다. 저온에 의한 잎말림 현상도 자생종에서 크게 일어났고 도입종은 이들보다 작았으며, 도입종 중에서는 ‘Parker’s Pink’가 다소 컸고 나머지 품종들은 작았다. 자생종의 내한성은 저온에 의한 엽각변화와 잎말림현상이 관여하는 것으로 판단되며, 내한성이 약한 ‘Parker’s Pink’에 있어서는 잎 운동 활성과의 관련성이 적어 다른 요인이 관여하고 있는 것으로 생각된다. 내한성이 강한 만병초에서 월동 전 광합성 활성이 높았고 월동 후 광합성활성의 회복이 자생종 및 도입종의 ‘Cynosure’에서 비교적 빨랐으며, 내한성이 가장 약했던 ‘Nova Zembla’에서 월동 전 광합성 활성과 월동 후 광합성활성의 회복속도가 가장 낮았다. 기공전도도는 광합성활성과 유사한 경향을 보였으며, 내한성이 강한 자생종에서 월동 후 뿌리로부터 잎으로의 수분이동이 원활하여 엽소 현상이 적었고, 월동 후 기공전도도가 가장 낮았고 수분 이동에 크게 제한을 받은 ‘Nova Zembla’에서 엽소현상이 크게 나타난 것으로 생각된다. 이상의 결과로부터 만병초 종에 있어서 월동중의 잎 운동과 월동후의 수분이동 및 광합성에 의해 축적되는 수분스트레스 관련 물질들이 종합적으로 관여하여 엽소현상으로서 나타나는 내한성을 결정하는 것으로 생각된다.

추가 주요어 : 회피기구, 주맥, 대사활성, 광저해

인용문헌

- Caemmerer, S. and G.D. Farquhar. 1981. Some relationships between the biochemistry of photosynthesis and the gas exchange of leaves. *Planta* 153:376-387.
- Harris, G.C., V. Antoine, M. Chan, and D. Nevidomskyte. 2006. Seasonal changes in photosynthesis, protein composition and mineral content in *Rhododendron* leaves. *Plant Sci.* 170:314-325.
- Hinckley, T.M. and J.H. Braatne, 1994. Stomata, p. 323-355. In: R.E. Wilkinson (ed.). *Plant-Environment Interactions*. Dekker, New York.
- Hong, H.O., K.E. Lee, and K.C. Yoo. 1984. Studies on the wild *Rhododendron brachycarpum* in Korea. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 25:50-55.
- Kong, W.S. 2004. Species composition and distribution of alpine plants. *Kor. Geogr. Soc.* 39:528-543.
- Kong, W.S. and D. Watts. 1993. *The plant geography of Korea*. Kluwer Academic Publishers. Netherlands. p. 229.
- Lee, M.H., J.M. Kim, and E.J. Park. 2011. Antioxidant and antigenotoxic effects of sansuyu fruit (*Corni fructus*) extracted with water at different temperatures. *J. Kor. Soc. Food Sci. Nutr.* 40:149-155.
- Levitt, J. 1980. Responses of plants to environmental stress, p. 23-64. Vol. 1, Chilling freezing and high temperature stress. Academic Press, New York.
- Nilsen, E.T. 1987. Influence of water relations and temperature on leaf movements of *Rhododendron* species. *Plant Physiol.* 83:607-612.
- Nilsen, E.T. 1992. Thermonastic leaf movements: A synthesis of research with *Rhododendron*. *Bot. J. Linn. Soc.* 110:205-233.
- Nilsen, E.T. 1993. Does winter leaf curling confer cold stress tolerance in *Rhododendron*. *J. Amer. Rhododendron Soc.* 47:98-104.
- Raymond, B.R., T. Thomas, and T. Nilsen. 2009. Freezing induced leaf movements and their potential implications to early spring carbon gain: *Rhododendron maximum* as exemplar. *Functional Ecol.* 23:463-471.
- Sakai, A. 2003. *Strategies of plants cold hardy*. Hokkaido Univ. Publ., Sapporo, Japan.
- Sean, H. 2003. *Flora - A Gardener's Encyclopedia*. Timber press, Portland, USA.
- Swiderski, A., P. Muras, and H. Koloczek. 2004. Flavonoid composition in frost-resistant *Rhododendron* cultivars grown in Poland. *Scientia Hort.* 100:139-151.
- Wang, X., R. Arora, H.T. Horner, and S.L. Krebs. 2008. Structural adaptations in overwintering leaves of thermonastic and non-thermonastic *Rhododendron* species. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 133:768-776.
- Wang, X., Y. Peng, J.W. Singer, A. Fessehaie, S.L. Krebs, and R. Arora. 2009. Seasonal changes in photosynthesis, antioxidant systems and ELIP expression in a thermonastic and non-thermonastic *Rhododendron* species: A comparison of photoprotective strategies in overwintering plants. *Plant Sci.* 177: 607-617.