

광량 차이에 의한 산개나리의 엽 특성과 광색소 함량 및 광합성 변화

한심희^{1*} · 김두현¹ · 김길남¹ · 변재경²

¹국립산림과학원 산림유전자원부, ²국립산림과학원 산림보전부

Changes of Leaf Characteristics, Pigment Content and Photosynthesis of *Forsythia saxatilis* under Two Different Light Intensities

Sim-Hee Han*, Du-Hyun Kim, Gil Nam Kim and Jae-Kyung Byun

¹Department of Forest Genetic Resources, Korea Forest Research Institute, Suwon 441-847, Korea

²Department of Forest Conservation, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

요 약: 본 연구의 목적은 우리나라 특산식물이면서 희귀식물인 산개나리의 유전자원 보존 및 복원을 위한 생육 환경 특성을 구명하기 위한 것으로, 서로 다른 광 조건을 가진 환경에 식재된 산개나리의 성장과 생리적 특성을 조사 분석하였다. 산개나리 시험구내 광량은 전광의 20%, 60%로 구성되었다. 산개나리의 생리적 특성으로 당년지 길이, 잎 크기 및 무게, 광색소 함량 및 잎 내 질소 함량, 광합성 특성을 분석하였다. 광량이 다른 두 시험구에서 측정된 산개나리의 잎 무게는 전광의 60% 광량을 가진 시험구의 잎이 20% 시험구 잎보다 무거웠으며, 잎 무게와 크기의 비율은 전광의 60% 시험구가 20% 시험구보다 1.47배 컸다. 산개나리 잎의 엽록소 a와 b 함량과 카로테노이드 함량 모두 전광의 60% 광량을 가진 시험구에서 높게 나타났으며, 총 엽록소 함량과 카로테노이드 함량의 비는 전광의 20% 시험구가 60% 시험구보다 높았다. 산개나리의 두 시험구에서 측정된 광합성 속도는 전광의 60% 광량을 가진 시험구가 20% 시험구보다 2.5배 이상 높았으며, 기공전도도와 증산 속도도 광합성 속도와 마찬가지로 전광의 60% 시험구가 20% 시험구보다 각각 2.65배와 1.79배 높았다. 그러나 수분이용효율은 전광의 20% 광량을 가진 시험구가 60% 시험구보다 높았다. 산개나리 잎의 질소 함량에 대한 총 엽록소 함량의 비는 20% 시험구가 60% 시험구보다 1.83배 높았으나, 총 엽록소 함량에 대한 순 광합성 량의 비는 60% 시험구가 20% 시험구보다 2.58배 높은 값을 나타냈다. 결론적으로 산개나리의 성장과 생리적 특성에 영향을 주는 가장 큰 요인은 광량이며, 광량이 높은 조건에서 산개나리의 성장과 생리적 특성은 개선될 수 있다고 판단된다.

Abstract: *Forsythia saxatilis* is a Korean endemic plant designated as rare and endangered by the Korea Forest Service (KFS). Growth and physiological characteristics of *F. saxatilis* were investigated under two different light intensities in order to figure out an appropriate growth environment for conservation and restoration of the species in its natural habitat. Shoot length, leaf size and weight, photosynthetic pigment content and photosynthetic parameters were measured for *F. saxatilis* grown at two experimental plots under relative light intensities (RLI) of 20% and 60% of the full sun, respectively. Fresh leaf weight of plants grown under high relative light intensities (RLI-60) exceeded that of plants grown at 20% RLI. The ratio of fresh leaf weight to leaf size at RLI-60 was 1.47 times superior comparing to that recorded at RLI-20. The content of photosynthetic pigments such as chlorophyll *a*, *b* and carotenoid were higher in plants grown at RLI-60, whereas the ratio of total chlorophyll to carotenoid content was higher in the leaves at RLI-20. Photosynthetic rate, stomatal conductance and transpiration rate at RLI-60 were, respectively, 2.5, 2.65 and 1.79 times higher comparing to those recorded at RLI-20. Water use efficiency, however, was higher at RLI-20. The chlorophyll/nitrogen ratio was 1.83 times higher at RLI-20 than at RLI-60. In contrast, the ratio of net photosynthesis to chlorophyll content at RLI-60 was 2.58 times higher than that of RLI-20. In conclusion, light intensity might be the major factor affecting growth and physiological characteristics of *F. saxatilis* grown under canopy of tall tree species.

Key words : relative light intensity, chlorophyll, transpiration rate, water use efficiency

*Corresponding author
E-mail: simhee02@forest.go.kr

서 론

햇빛은 지구상 생명체가 살아갈 수 있는 에너지의 공급원이며, 특히 식물 생장의 필수 공정인 광합성은 햇빛이 있어야만 가능하다. 햇빛에 대한 경쟁은 식물의 군집 구조와 조성을 변화시킬 수 있으며(Wierman and Oliver, 1979; Ford and Diggle, 1981), 식물은 햇빛을 더 효율적으로 이용하기 위해 잎의 높이, 각도, 방향을 약간씩 다르게 배치한다. 그러나 상당한 양의 잎은 다른 나무들과 겹쳐지게 되며, 수종 간 햇빛에 대한 경쟁은 시간이 지나면서 임관 구조를 바꾼다(Harper and Clatworthy, 1963). 또한 잎의 구조적 특성과 잎의 연령 및 광합성 능력은 임관에 따라 다양하며(Joggi *et al.*, 1983; Boller and Nsberger, 1985), 이러한 경향은 수종에 따라 다르게 나타난다(Beyslag *et al.*, 1990). 즉, 어떤 수종은 광량이 적은 지역에서 잘 자라지 못하는 반면, 어떤 수종은 낮은 광량 하에서도 잘 자란다. 일반적으로 모든 나무의 성목은 햇빛을 좋아하지만, 그늘에서 견딜 수 있는 내음성 정도에 따라 양수와 음수로 구분할 수 있다. 양수는 음수보다 광포화점이 높아, 광도가 높은 환경에서는 햇빛을 효율적으로 이용하여 광합성을 더 많이 할 수 있기 때문에, 음수보다 성장 속도가 빠르지만, 낮은 광도에서는 음수보다 광합성량이 저조하다. 반대로 음수는 광포화점이 낮아, 높은 광도에서는 광합성 효율이 양수보다 낮으나, 낮은 광도에서는 광합성을 효율적으로 실시하고, 광보상점이 낮으며, 호흡량도 적어 그늘에서 양수보다 경쟁력이 높다(Loach, 1967, 1970; Osunkoya *et al.*, 1994).

또한 식물들은 보다 효율적으로 빛을 받아들이기 위해 잎의 형태적 변화 또는 화학적 변화를 유도한다(Abrams and Kubiske, 1990; Reich *et al.*, 1998). 즉, 높은 광도에서 광합성을 효율적으로 하도록 적응한 양엽은 광포화점이 높고, 책상조직이 치밀하게 배열되어 있으며, 증산작용을 억제하는 큐티클 층과 잎의 두께가 두껍게 발달한다. 그러나, 낮은 광도에서 광합성을 효율적으로 하는 음엽은 잎이 양엽보다 넓으며, 엽록소 함량이 많고, 광포화점이 낮으며, 책상조직이 엉성하고, 큐티클 층과 잎 두께가 얇게 발달한다(Jackson, 1967). 이와 같이, 식물의 잎 면적, 수직분포 및 형태 변화는 광합성을 위한 햇빛을 받아들이는 능력을 결정하며, 궁극적으로는 성장 및 결실량을 결정한다. 그러므로 여러 수종이 공존하는 산림 내에서 수종 간 광 경쟁을 평가하기 위해서는 각 수종의 형태적 특성과 광합성 특성의 차이가 정량적으로 분석되어야 한다(Ryel *et al.*, 1990).

산개나리(*Forsythia saxatilis* Nakai)는 우리나라 특산 식물이며 현재 IUCN 평가기준 위기종(EN: Endangered)으로 기록되어 있다(이병천, 2008). 종소명인 'saxatile'은

라틴어로 바위틈에서 사는(자라는)이란 뜻을 가지고 있는데, 산개나리의 학명에 'saxatilis'가 붙은 것은 산개나리가 주로 바위틈이나 바위절벽에서 주로 발견되었기 때문인 것으로 판단된다. 산개나리는 북한산, 관악산, 수원의 화산 해발 550~600 m 지역의 산기슭 양지에서 자생하는 것으로 보고되었다(이창복, 1980; 이상태 등, 1982), 그러나 현재 북한산, 관악산 산개나리 집단의 경우, 소수의 개체만이 생존하고 있으며, 현재 천연기념물로 지정 관리되고 있는 전라북도 임실군 관촌면 산개나리 군락에는 2000년 약 230여 그루가 자생하고 있는 것으로 알려졌으나(이유미와 이원열, 2000), 현재 자생지에서는 산개나리를 찾아볼 수 없고, 겨우 살아남은 몇 개체만이 임실군에서 증식하여 자생지 주변에 식재 후 관리하고 있다. 그 이외에도 강원도 영월과 정선 및 의성 등에 자생지가 알려져 있는데, 이들 대부분의 자생지는 아직 식생이 침입되지 않아 주변 식생과의 광경쟁이 비교적 적고, 햇빛이 잘 드는 바위 절벽을 피난처 삼아 잔존해 있다고 판단된다. 이 지역과는 달리, 산림 내에서 생육하고 있는 북한산 산개나리는 소나무 등의 교목 층 아래에서 자라고 있으며, 자생지의 상대광도는 40% 정도로 매우 낮아 생육 환경이 매우 불량하다(김귀순, 2008). 즉, 북한산 지역의 산개나리는 타 식생과의 광 경쟁에서 밀려 자생지내 개체가 점차 사라지게 될 가능성이 높은 것으로 추정하고 있다(Han *et al.*, 2011). 그러나 아직까지 산개나리의 생육과 광 특성에 대한 연구 자료는 찾아 볼 수가 없다. 자연 상태에서 다른 식물보다 더 많은 햇빛을 받아들이기 위한 서로 간의 경쟁은 산림 군집에서 생존과 직결된다. 따라서 북한산 산개나리처럼 개체수가 점차 줄고 있는 수종들에 대한 보존 대책을 수립하기 위해서는 광 특성과 관련된 생리 연구가 반드시 필요하다.

본 연구의 목적은 한국 특산식물이며, 희귀 멸종위기식물인 산개나리의 유전자원 보존 및 복원을 위해, 생육 환경 중 가장 중요한 광량에 대한 산개나리의 생리적 특성의 조사하는 것이다. 이러한 결과는 산개나리의 자생지 생육 환경 개선과 최적 피난처 선정 및 개발을 위한 기초 자료로 활용할 것이다.

재료 및 방법

1. 공시 재료 및 시험구 특성

공시재료는 1997년 관악산에서 채취하여 관리하고 있던 14년생 산개나리(*Forsythia saxatilis* Nakai)를 대상으로 하였으며, 2010년 국립산림과학원 산림유전자원부(수원시 권선구 오목천동 44-3) 구내에 두 개의 산개나리 시험구를 조성하였다. 산개나리 시험구의 토양 특성을 분석한 결과는 Table 1과 같았으며, 오전 9시부터 오후 6시까지

Table 1. Soil characteristics of experimental plot of *Forsythia saxatilis*.

Soil characteristics	Values
pH	4.94 ± 0.13
OM (%)	2.98 ± 0.67
TN (%)	0.11 ± 0.02
P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	48.5 ± 7.5
CEC (cmol _c kg ⁻¹)	10.8 ± 1.4
K ⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	0.36 ± 0.27
Na ⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	0.17 ± 0.02
Ca ²⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	2.31 ± 0.60
Mg ²⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	1.13 ± 0.28
EC (dSm ⁻¹)	0.22 ± 0.06

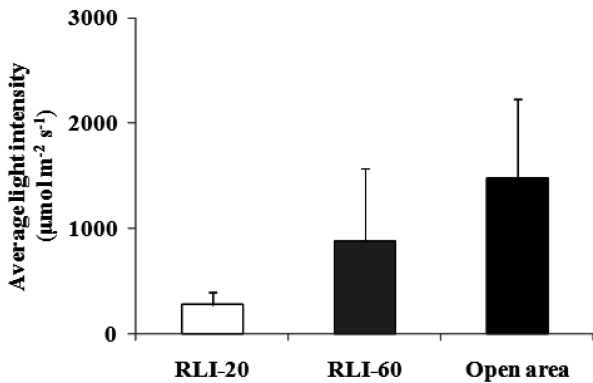


Figure 1. Relative light intensity (RLI) from 9 am to 6 pm in experimental plot of *Forsythia saxatilis*. RLI-20 and RLI-60 indicate 20% and 60% of full sun, respectively.

측정한 산개나리 두 시험구의 평균 상대 광량은 Figure 1에서 보여주는 바와 같이, 각각 전광의 20%와 60%를 나타냈다. 산개나리 시험구가 조성된 수원지역의 2010년 평균 온도는 12.2°C, 강수량은 1470.6 mm, 평균 상대습도 73%로 기록되었다(기상청, 2010).

2. 생장 및 엽 특성 분석

광량에 따른 산개나리의 생장과 엽 특성 변화를 조사하기 위하여, 각 시험구에서 2010년 새로 자란 10개 가지를 대상으로 생장이 거의 완료된 시점인 9월 초에 가지 생장량을 측정하여 기록하였으며, 각 시험구에서 10개의 잎을 무작위로 채취하여, 엽면적 및 생중량을 측정하였다. 이 값을 이용하여 잎의 단위 면적당 무게를 계산하였다.

Table 2. Differences of shoot length, leaf size and leaf fresh weight of *Forsythia saxatilis* exposed to two relative light intensities.

Plots	Shoot length (cm)	Leaf size (Ls, cm ²)	Leaf weight (Lw, g)	Lw/Ls (g/cm ²)
RLI-20	30.9 ± 5.6n.s.	27.9 ± 3.3n.s.	0.56 ± 0.07***	0.019 ± 0.002**
RLI-60	33.0 ± 6.9	29.7 ± 3.5	0.78 ± 0.08	0.028 ± 0.003

All the values are means of ten replicates ± SD; The t-test was used to compare the results of two experimental plots; ** and *** indicate significant difference at p ≤ 0.01 and p ≤ 0.001, and n.s. is non-significance.

3. 광색소 함량 및 질소 함량 분석

엽 내 광색소 함량 측정은 dimethyl sulphoxide(DMSO)를 이용하여 추출하는 Hiscox와 Israelstam(1979)의 방법을 사용하였다. 두 시험구에서 무작위로 채취된 10개의 산개나리 잎 0.1 g에 DMSO 10 mL를 첨가하고, 70°C의 항온 수조에서 2시간 동안 유지하여 색소를 추출하였다. 추출액은 470, 645, 663 nm에서 흡광도를 측정하였으며, 5반복으로 측정 후 평균치를 이용하였다.

생중량 측정이 끝난 잎은 건조시켜 분쇄한 후, 총 질소 함량 측정에 사용하였다. 잎의 총 질소 함량은 원소 분석기를 이용하여 분석하였다(FlashEA 1112 elemental analyzer, USA). 광량에 따른 산개나리 잎의 질소 배분 특성을 비교하기 위하여, Kayama 등(2002)의 방법에 따라 엽록소 함량에 대한 질소의 비를 계산하였다. 엽록소 a+b의 한 분자는 4개의 질소 원자를 포함하고 있기 때문에, 엽록소에 배분된 질소에 대한 총 질소의 비는 다음과 같이 계산할 수 있다. 엽록소내 질소배분(NC, Nitrogen in Chlorophyll) = 4Chl/N. 여기서 Chl은 엽록소 a+b의 농도이고, N은 질소 농도이다.

4. 광합성 특성 및 수분 이용 효율

산개나리 잎의 가스 교환 특성을 분석하기 위하여, 생장이 가장 왕성한 시기인 8월 초에 휴대용 광합성 측정기(Li-6400, LI-COR Inc., USA)를 이용하여, 광합성 속도, 기공전도도, 증산속도를 측정하였다. 광합성 측정 시 잎 챔버의 온도는 25°C, 상대습도는 60%, 광량은 1,100 μmol m⁻²s⁻¹로 고정하였으며, 잎에 공급되는 CO₂ 농도는 400 μmol mol⁻¹로 고정되었다. 광합성 측정은 산개나리 줄기 끝에서 완전히 성숙된 4~6번 잎을 5분간 측정하여 평균치를 이용하였다. 수분이용효율은 광합성 속도를 증산속도로 나누어 계산하였으며(Liang et al., 2006), 두 시험구간 광합성 효율을 비교하기 위하여 광합성 속도에 대한 엽록소 함량 비를 계산하였다.

결과 및 고찰

1. 줄기 생장 및 잎 특성 변화

광량이 서로 다른 두 시험구에서 측정한 산개나리의 당

년 줄기 성장량과 잎 크기는 시험구간 통계적인 차이가 없었으나, 줄기 성장량과 잎 크기는 광량이 높은 시험구가 광량이 낮은 시험구보다 높은 경향을 보였다(Table 2). 그러나 잎 무게 및 잎 무게와 크기의 비는 시험구간 차이가 뚜렷하였다($p < 0.05$). 잎 무게는 전광의 60% 광량을 가진 시험구의 잎이 개당 0.78g으로 20% 시험구 잎의 0.56g보다 무거웠으며, 잎 무게와 크기의 비율은 전광의 60% 시험구가 0.028로 20% 시험구의 0.019보다 1.47배 컸다(Table 2).

기존의 연구 결과에 따르면, 낮은 광에 노출된 잎들은 보다 많은 광을 받아들이기 위한 전략으로 동화물질을 잎에 투자하여 크기를 증가시킨다(Pearcy and Sims, 1994; Niinemets *et al.*, 1998). 반면, 높은 광에 노출된 잎들은 비교적 두꺼우며, 단위 면적당 잎 무게가 높아지는데, 이것은 광 이용 효율을 증가시키기 위한 전략이며, 단위 면적 당 광합성 능력도 높아진다(Wayne and Bazzaz, 1993; Gnard *et al.*, 2000; Frak *et al.*, 2002). 본 연구에서, 산개나리 잎의 크기는 광량에 크게 영향을 받지 않았으나, 잎 무게는 광량이 높은 시험구에서 더 높게 나타나, 단위 면적당 잎 무게를 크게 증가시킨다는 기존의 연구 결과와 일치하였다.

Gonalves 등(2008)은 임관이 개방된 지역에서의 나무 잎은 단위 면적당 잎 무게가 높고, 잎 두께의 변화는 광량과 밀접한 관련을 가진다고 보고하여, 본 연구 결과에서처럼, 광량이 높은 시험구의 잎 무게가 증가한 것은 잎의 두께 변화에서 기인되었음을 뒷받침해주었다. 즉, 높은 광에 노출된 잎들은 책상조직과 해면조직 두께 증가로 잎이 더 두꺼워진다(Gonalves *et al.*, 2008). 한편, 높은 광에 노출된 잎의 폭 증가도 잎 무게 증가와 관련이 깊으며, 잎 길이는 잎의 신장 기간이 짧은 경우, 광량 증가에 의해 감소하는 경향이 나타낸다(Bos *et al.*, 2000).

2. 광색소 함량과 광합성 특성 변화

산개나리의 잎에서 측정된 광색소 함량은 색소 종류에 따라 광량에 따라 뚜렷한 차이를 보였다(Table 3). 산개나리 잎의 엽록소 a와 b 함량 모두 전광의 60% 광량을 가진 시험구에서 높게 나타났으며, 총 엽록소와 카로테노이드 함량 또한 높은 광량을 가진 산개나리 시험구에서 높았다. 그러나 엽록소 a와 b의 비는 시험구간 차이를 보이지 않았다. 총 엽록소 함량과 카로테노이드 함량의 비는 전광의 20% 시험구가 5.3으로 60% 시험구의 4.5보다 높았다(Table 3).

산개나리의 두 시험구에서 측정된 광합성 속도는 전광의 60% 광량을 가진 시험구가 $21.33 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 로 20% 시험구보다 2.5배 이상 높았으며(Table 4), 기공전도도와 증산 속도도 광합성 속도와 마찬가지로 전광의 60% 시험구가 20% 시험구보다 각각 2.65배와 1.79배 높았다(Table 4). 그러나 수분이용효율은 전광의 20% 광량을 가진 시험구에서 60.1로 60% 시험구의 57.3보다 높았다.

산개나리 잎의 질소 함량에 대한 총 엽록소 함량의 비는 20% 시험구가 60% 시험구보다 1.83배 높았으나, 총 엽록소 함량에 대한 순 광합성 량의 비는 60% 시험구가 20% 시험구보다 2.58배 높은 값을 나타냈다(Figure 2).

일반적으로 광 환경의 변화는 잎의 화학적 특성에 영향을 준다(Mendes *et al.*, 2001). 대체로 잎 무게 당 엽록소 함량은 높은 광에 노출된 잎보다 낮은 광에 노출된 잎에서 높다. 이것은 낮은 광 환경이 PSII의 광 수확 복합체 생성을 증가시키기 때문이며(Anderson and Osmond, 1987; Demmig-Adams, 1998), 결국 엽록소 a와 b의 비를 감소시킨다. 또한 그늘에서 자라는 식물의 잎은 카로테노이드 함량과 β -carotene 함량이 엽록소와 마찬가지로 증가하며, lutein 함량은 태양광에 노출되었을 때 뚜렷하게 증가한다. 이것은 카로테노이드가 식물의 광을 흡수하는 안테나로

Table 3. Differences of photosynthetic pigment content in the leaves of *Forsythia saxatilis* exposed to two relative light intensities.

Plots	Chl a	Chl b	Chl a+b	Car	Chl a/b	Chl/Car
	$\mu\text{g cm}^{-2}$					
RLI-20	$53.6 \pm 2.6^{***}$	$43.8 \pm 0.5^{***}$	$97.3 \pm 3.0^{***}$	$18.3 \pm 1.0^{***}$	$1.22 \pm 0.05\text{n.s.}$	$5.3 \pm 0.1^{***}$
RLI-60	58.1 ± 3.5	48.3 ± 1.8	106.4 ± 5.0	23.8 ± 2.5	1.20 ± 0.05	4.5 ± 0.3

All the values are means of ten replicates \pm SD; The t-test was used to compare the results of two experimental plots; *** indicates significant difference at $p \leq 0.001$ and n.s. is non-significance.

Table 4. Differences of photosynthetic characteristics and water use efficiency in the leaves of *Forsythia saxatilis* exposed to two relative light intensities.

Plots	Photosynthetic rate ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	Stomatal conductance ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	Transpiration rate ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	Water use efficiency
RLI-20	$8.42 \pm 0.02^{***}$	$0.140 \pm 0.002^{***}$	$2.48 \pm 0.01^{***}$	$60.1 \pm 0.8^{***}$
RLI-60	21.33 ± 0.06	0.372 ± 0.001	4.46 ± 0.01	57.3 ± 0.2

All the values are means of ten replicates \pm SD; The t-test was used to compare the results of two experimental plots; *** indicates significant difference at $p \leq 0.001$.

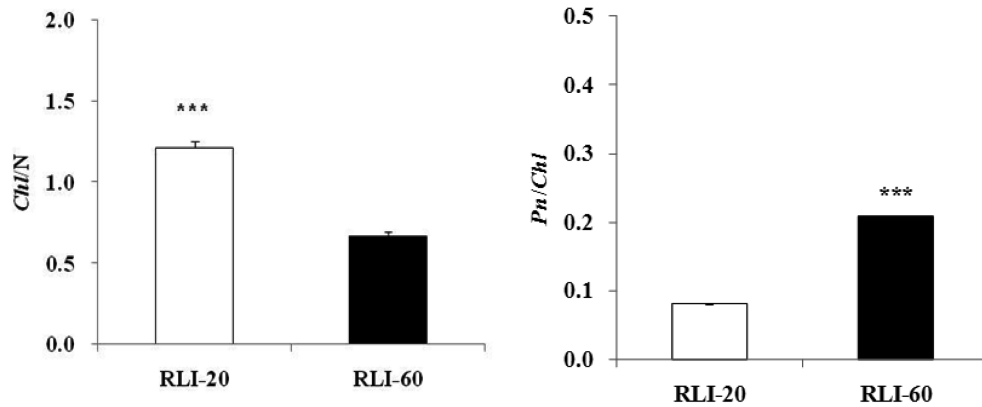


Figure 2. Differences of the ratio of total chlorophyll content to nitrogen content (Chl/N) and photosynthetic rate to total chlorophyll content (Pn/Chl) in the leaves of *Forsythia saxatilis* exposed to two relative light intensities. All the values are means of ten replicates \pm SD; The t-test was used to compare the results of two experimental plots; *** indicates significant difference at $p \leq 0.001$.

서 엽록소와 같은 역할을 수행한다는 것을 말해준다 (Czeczuga, 1987). 이와 같이 낮은 광에 노출된 잎들은 보다 많은 광을 받아들이기 위해 잎의 엽록소 생산에 더 많은 질소를 투자한다(Naidu and DeLucia, 1998). 이러한 경향은 본 연구에서도 뚜렷하게 관찰되었는데, Figure 2에서 보여주는 바와 같이 20%의 낮은 광량에 노출된 산개나리 잎의 질소 함량에 대한 엽록소 함량의 비(Chl/N)는 매우 높은 것으로 나타났다. 일반적으로 높은 Chl/N 을 가진 수종은 광량이 낮은 환경에서 광 이용 효율을 높이기 위한 능력을 가지고 있는데(Kayama *et al.*, 2002), 이것이 엽록소와 같이 광을 흡수할 수 있는 수용 성분에 더 많은 질소를 배분하는 것이며, 음지 환경에 적응하기 위한 식물의 중요한 전략 중 하나이다(Evans, 1989; Hikosaka and Terashima, 1995).

그러나 산개나리 잎에서 측정된 광색소 함량의 변화는 기존 연구와 반대의 결과를 나타냈다. 이것은 광색소 함량의 산정 기준이 다르기 때문이다. 즉, 광색소 함량은 잎 무게를 기준으로 계산한 값과 잎 면적을 기준으로 계산한 값이 다르게 나타난다.

잎 면적을 기준으로 한 기존의 연구 결과를 보면, 잎 면적당 총 엽록소 함량과 엽록소 a와 b의 비율은 임관이 개방된 지역의 잎에서 높으며, 카로테노이드 함량 역시 개방된 임관의 잎에서 높게 나타나는데(Gonalves *et al.*, 2008), 이것은 본 연구의 산개나리 잎 내 광색소 함량 변화와 같은 결과이다. 이와 같이 광색소 함량이 엽 면적 기준과 잎 무게 기준에 따라 정 반대의 결과를 나타내는 것은 광량에 따른 잎의 형태 변화, 즉 잎의 두께와 연관이 있기 때문이다. 즉, 높은 광에 노출된 산개나리의 두꺼운 잎은 더 많은 광색소를 포함하는데, 이것은 높은 광량에 노출된 잎의 lamina 층이 더 두껍고, 잎의 주맥(midrib)과 이차 엽맥에 있는 목부조직(목부와 후막조직)의 비가 더

높기 때문이다(Gonalves *et al.*, 2008).

또한, 광 환경은 식물 잎의 가스 교환에 영향을 주며, 임관이 개방된 곳에서는 가시광선의 침투가 더 쉬워 광합성 속도가 증가한다(Gonalves *et al.*, 2008). Figure 2는 광 수용체인 엽록소 당 순 광합성 량(Pn/Chl)을 나타낸 것으로, 광량이 높은 곳에서 성장한 산개나리의 광합성 속도가 낮은 광량에서 성장한 것보다 더 빠르다는 것을 알 수 있다. 일반적으로 광에 노출된 식물은 순 광합성 량과 기공전도도가 높게 나타나는데, 광에 따른 잎의 기공전도도의 증가는 많은 연구 결과에서 찾아 볼 수 있으며(Muraoka *et al.*, 1997; Niinemets *et al.*, 1998; Mendes *et al.*, 2001), 본 연구에서도 동일한 결과를 얻었다. 그러나 높은 광에 노출된 잎들은 광량이 더 많이 증가하면, 기공을 닫게 된다. 이것은 체내에 물을 최대한 많이 보유하여, 수분이용 효율을 최대화하기 위한 전략이다(Mendes *et al.*, 2001).

또한, 잎의 비구조 탄수화물 농도는 광량과 정지 상관을 나타내는 경향이 있는데(Johnson *et al.*, 1997; Niinemets, 1997), 이것은 일일 광합성 생산량이 증가했기 때문이며, 또한 높은 기공전도도 상태에서 더 많은 탄소를 흡수할 수 있었기 때문이다.

결론

본 연구는 자생지에서 개체수가 점차 줄고 있는 산개나리의 유전자원 보존 및 복원을 위한 생육 환경 분석을 목적으로 실시한 것으로, 생육 환경 중 가장 중요한 광량에 대한 산개나리의 생리적 특성의 조사 결과는 다음과 같은 결론을 얻었다. 산개나리는 적은 광량 하에서 자랄 때보다 높은 광량 하에서 자랄 때, 잎의 두께 증가와 같은 형태적 변화와 더 많은 질소 배분을 통해 단위 면적당 광색소 함량을 증가시켜, 광 수용 능력을 개선한다. 이로 인해

산개나리는 높은 광량 하에서 빠른 광합성 속도를 유지할 수 있었다. 이것은 결국 더 높은 생장을 유도할 수 있는 기반이 되는 것으로 판단된다. 결론적으로 유사한 토양 조건하에서, 산개나리의 생장과 생리적 특성에 영향을 주는 가장 큰 요인은 광량이며, 광량이 높은 조건에서 산개나리의 생장과 생리적 특성은 개선될 수 있다고 판단된다. 따라서 주변 나무들과 광 경쟁을 하고 있는 자생지에서, 산개나리의 개체수가 점차 줄고, 활력이 감소하는 주 원인은 주변 나무의 수관에 의해 광이 차단되어 생리적 활력을 유지할 수 없었기 때문인 것으로 추측되며, 산개나리 자생지의 생육 환경 개선을 위해서는 광량 증가가 가장 우선시 되어야 할 것으로 판단된다.

인용문헌

1. 기상청. 2010. 기상연보. pp. 310.
2. 김귀순. 2008. 보호식물 산개나리(*Forsythia saxatilis*)의 자생지환경조사 및 삼목증식. 한국식물인간환경학회지 11(1): 27-34.
3. 이병천. 2008. 한국 희귀식물 목록집. 산림청 국립수목원. pp. 332
4. 이상태, 김부열, 홍석표. 1982. 개나리(*Forsythia koreana* Nakai)와 산개나리(*F. saxatilis* Nakai)의 분류학적 연구. 한국식물분류학회지 12(2): 51-62.
5. 이유미, 이원열. 2000. 희귀 및 멸종위기 식물도감. 산림청 국립수목원. pp. 255.
6. 이창복. 1980. 대한식물도감. 향문사. pp. 990.
7. Abrams, M.D. and Kubiske, M.E. 1990. Leaf structural characteristics of 31 hardwood and conifer tree species in central Wisconsin: Influence of light regime and shade-tolerance rank. *Forest Ecology and Management* 31: 245-253.
8. Anderson, J.M. and Osmond, C.B. 1987. Shade-sun responses: compromises between acclimation and photoinhibition. pp. 1-38. In: Kyle, D.J., Osmond, C.B., Arntzen, C.J. ed. *Photoinhibition*. Elsevier, Amsterdam.
9. Beyschlag, W., Barnes, P.W., Ryel, R.J., Caldwell, M.M. and Flint, S.D. 1990. Plant competition for light analyzed with a multispecies canopy model. II. Influence of photosynthetic characteristics on mixtures of wheat and wild oat. *Oecologia* 82: 374-380.
10. Boller, B.C. and Nsberger, J. (1985) Photosynthesis of white clover leaves as influenced by canopy position, leaf age, and temperature. *Annals of Botany (London)* 56: 19-27.
11. Bos, H.J., Tijani-Eniola, H. and Struik, P.C. 2000. Morphological analysis of leaf growth of maize: responses to temperature and light intensity. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 48: 181-198.
12. Czczugaa, B. 1987. Carotenoid contents in leaves grown under various light intensities. *Biochemical Systematics and Ecology* 15: 523-527.
13. Demmig-Adams, B. 1998. Survey of thermal energy dissipation and pigment composition in sun and shade leaves. *Plant Cell Physiology* 39: 474-482.
14. Evans, J.R. 1989. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C3 plants. *Oecologia* 78: 9-19.
15. Ford, E.D. and Diggle, P.J. 1981. Competition for light in a plant monoculture modelled as a spatial stochastic process. *Annals of Botany* 48: 481-500.
16. Frak, E., Le Roux, X., Millard, P., Adam, B., Dreyer, E., Escuit, C., Sinoquet, H., Vandame, M. and Varlet-Grancher, C. 2002. Spatial distribution of leaf nitrogen and photosynthetic capacity within the foliage of individual trees: disentangling the effects of local light quality, leaf irradiance, and transpiration. *Journal of Experimental Botany* 378: 2207-2216.
17. Gnard, M., Baret, F. and Simon, D. 2000. A 3D peach canopy model used to evaluate the effect of tree architecture and density on photosynthesis at a range of scales. *Ecological Modelling* 128: 197-209.
18. Gonalves, B., Correia, C.M., Silva, A.P., Bacelar, E.A., Santos, A. and Moutinho-Pereira, J.M. 2008. Leaf structure and function of sweet cherry tree (*Prunus avium* L.) cultivars with open and dense canopies. *Scientia Horticulturae* 116: 381-387.
19. Han, S.H., Kim, D.H. Byun, J.K. and Jang, K.H. 2011. Major reason for the current decline of the rare and endangered *Forsythia saxatilis* population at Bukhansan: habitat deterioration. *Proceedings of the International Symposium for Strategy on Development of Forest Genetic Resources against Climate Change*. May 30-June 3, 2011, Ramada Plaza Hotel, Suwon, Korea. Korea Forest Research Institute. pp. 181.
20. Harper, J.L. and Clatworthy, J.N. 1963. The competitive biology of closely related species VI Analysis of the growth of *Trifolium repens* and *T. fragiferum* in pure and mixed populations. *Journal of Experimental Botany* 14: 172-190.
21. Hikosaka, K. and I. Terashima. 1995. A model of the acclimation of photosynthesis in the leaves of C₃ plants to sun and shade with respect to nitrogen use. *Plant Cell Environment* 18: 605-618.
22. Hixcox, J.D. and Israelstam, G.F. 1978. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *Canadian Journal of Botany* 57: 1332-1334.
23. Jackson, L.W.R. 1967. Effect of Shade on Leaf Structure of Deciduous Tree Species. *Ecology* 48: 498-499.
24. Joggi, D., Hofer, U. and Nsberger, J. 1983. Leaf area index, canopy structure and photosynthesis of red clover (*Trifolium pratense* L.). *Plant Cell Environment* 6: 611-616.
25. Johnson, J.D., Tognetti, R., Michelozzi, M., Pinzauti, S., Minotta, G. and Borghetti, M. 1997. Ecophysiological responses of *Fagus sylvatica* seedlings to changing light conditions.

- II. The interaction of light environment and soil fertility on seedling physiology. *Physiologia Plantarum* 101: 124-134.
26. Kayama, M., Sasa, K. and Koike, T. 2002. Needle life span, photosynthetic rate and nutrient concentration of *Picea glehnii*, *P. jezoensis* and *P. abies* planted on serpentine soil in northern Japan. *Tree Physiology* 22: 707-716.
27. Liang, Z.S., Yang, J.W., Shao, H.B. and Han, R.L. 2006. Investigation on water consumption characteristics and water use efficiency of poplar under soil water deficits on the Loess Plateau. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 53: 23-28.
28. Loach, K. 1967. Shade tolerance in tree seedlings. I. leaf photosynthesis and respiration in plants raised under artificial shade. *New Phytologist* 66: 607-621.
29. Loach, K. 1970. Shade tolerance in tree seedlings. I. Growth analysis of plants raised under artificial shade. *New Phytologist* 69: 273-286.
30. Mendes, M.M., Gazarini, L.C. and Rodrigues, M.L. 2001. Acclimation of *Myrtus communis* to contrasting Mediterranean light environments-effects on structure and chemical composition of foliage and plant water relations. *Environmental and Experimental Botany* 45: 165-178.
31. Muraoka, H., Tang, Y., Kolzumi, H. and Washitani, I. 1997. Combined effects of light and water availability on photosynthesis and growth of *Arisaema heterophyllum* in the forest understory and an open site. *Oecologia* 112: 26-34.
32. Naidu, S.L. and DeLucia, E.H. 1998. Physiological and morphological acclimation of shade-grown tree seedlings to late-season canopy gap formation. *Plant Ecology* 138: 27-40.
33. Niinemets, Ü. 1997. Acclimation to low irradiance in *Picea abies*: influences of past and present light climate on foliage structure and function. *Tree Physiology* 17: 723-732.
34. Niinemets, Ü., Kull, O. and Tenhunen, J.D. 1998. An analysis of light effects on foliar morphology, physiology and light interception in temperate deciduous woody species of contrasting shade tolerance. *Tree Physiology* 18: 681-696.
35. Osunkoya, O.O., Ash, J.E., Hopkins, M.S. and Graham, A.W. 1994. Influence of seed size and seedling ecological attributes on shade-tolerance of rain-forest tree species in northern Queensland. *Journal of Ecology* 82: 149-163.
36. Pearcy, R.W. and Sims, D.A. 1994. Photosynthetic acclimation to changing environments: scaling from the leaf to the whole plant. pp. 145-174. In: M.M. Caldwell, and R.W. Pearcy, ed. *Exploitation of Environmental Heterogeneity by Plants: Ecophysiological Processes Above and Below Ground*. Academic Press, San Diego.
37. Ryel, R.J., Barnes, P.W., Beysehlag, W., Caldwell, M.M. and Flint, S.D. 1990. Plant competition for light analyzed with a multispecies canopy model. I. Model development and influence of enhanced UV-B conditions on photosynthesis in mixed wheat and wild oat canopies. *Oecologia* 82: 304-310.
38. Reich, P.B., Tjoelker, M.G., Walters, M.B., Vanderklein, D.W. and Buschena, C. 1998. Close association of RGR, leaf and root morphology, seed mass and shade tolerance in seedlings of nine boreal tree species grown in high and low light. *Functional Ecology* 12: 327-338.
39. Wayne, P.M. and Bazzaz, F.A. 1993. Birch seedling responses to daily time courses of light in experimental forest gaps and shadehouses. *Ecology* 74: 1500-1515.
40. Wierman, C.A. and Oliver, C.D. 1979. Crown stratification by species in even-aged mixed stands of Douglas-fir-western hemlock. *Canadian Journal of Forest Research* 9: 1-9.