

석사학위논문

눈향나무와 시로미의 생장과 엽록소 형광 특성



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

제주대학교 대학원

생물학과

강 연 심

1999년 12월

눈향나무와 시로미의 생장과 엽록소 형광특성

지도교수 고 석 찬

강 연 심

이 논문을 이학 석사학위 논문으로 제출함



강연심의 이학 석사학위 논문을 인준함

심사위원장

吳 德 讖



위 원

鄒 仁 五



위 원

高 碩 贊



제주대학교 대학원

1999 년 12 월

Growth and Chlorophyll Fluorescence Characteristics of Sargent Juniper and Crowberry

Yeon-Sim Kang

(Supervised by Professor Suck Chan Koh)

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE
OF MASTER OF SCIENCE**

**DEPARTMENT OF BIOLOGY
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY**

1999. 12

목 차

List of Figures	ii
List of Tables	iii
약 어	iv
Abstract	v
I. 서 론	1
II. 재료 및 방법	3
III. 결과 및 고찰	5
IV. 적 요	15
V. 참고문헌	16

List of Figures

Fig. 1. Phenological diagrams for leaf growth, flowering and seed development of Sargent Juniper and Crowberry in Mt. Halla (1800~1950m a.s.l.), 1998~1999.

Fig. 2. Comparison of chlorophyll fluorescence parameters between the leaves of Sargent Juniper(J) and Crowberry(E) under dark-adapted(+) or natural light condition(-).

Fig. 3. Diurnal variations of environmental factors and photochemical efficiency of PS II on the leaves of Sargent Juniper and Crowberry under natural conditions.



List of Tables

Table 1. Changes of photochemical efficiency of PS II with growth stage on the leaves of Sargent Juniper and Crowberry under natural conditions

Table 2. Relationships between leaf growth and chlorophyll fluorescence on the leaves of Sargent Juniper and Crowberry under natural conditions

Table 3. Relationships between environmental factors and chlorophyll fluorescence on the leaves of Sargent Juniper and Crowberry under natural conditions



약 어

F_v/F_m : Potential quantum yield of PS II photochemistry in the dark-adapted system

F_v : Variable chlorophyll a fluorescence(F_m-F_o)

F_o : Initial yield of chlorophyll a fluorescence in dark-adapted system

F_m : Maximum yield of chlorophyll a fluorescence in dark-adapted system

$T_{1/2}$: Half time of the chlorophyll a fluorescence rise in dark-adapted system

LHC II: Light-harvesting chlorophyll a/b - protein complex of PS II

NPQ: Non-photochemical fluorescence quenching

Abstract

The growth and chlorophyll fluorescence characteristics were studied in Sargent Juniper (*Juniperus chinensis* var. *sargentii*) and Crowberry (*Empetrum nigrum* var. *japonicum*) under natural conditions. The leaves of these plants developed from mid-April to mid-June/mid August and the flowers bloomed fully at mid-April. Also the seeds of Sargent Juniper and Crowberry were ripened at early November and at early April, respectively. The photochemical efficiency of PS II and Fv/Fm of both plant species were temporarily inhibited at 1:00 pm. The non-photochemical fluorescence quenching (NPQ) of Sargent Juniper was higher than that of Crowberry. There was no difference in Fv/Fm according to the developmental stage of the leaves between these two species. However, the Fv/Fm of Crowberry leaves showed significant relationship with the leaf developmental stage. The Fv/Fm of Sargent Juniper leaves showed significant relationships with soil temperature and soil pH, the Fv/Fm of Crowberry leaves showed significant relationships with air humidity, light density, soil pH and air temperature. These results indicate that Sargent Juniper seems to develop more the mechanism for protecting or avoiding the photodamage although it is more sensitive than Crowberry to environmental changes.

Key Words: *Juniperus chinensis* var. *sargentii*, *Empetrum nigrum* var. *japonicum*, chlorophyll fluorescence, photochemical efficiency of PS II, environmental factors.

I. 서 론

식물은 자연 조건하에서 여러 환경 스트레스에 영향을 받아 생리활성이 달라지는데, 특히 광합성은 식물세포의 중요한 대사과정 중 하나로서 환경요인에 따라 매우 민감하게 반응한다. 광합성의 PS II 활성은 엽록소형광을 측정함으로써 빠르고 비파괴적으로 산출할 수 있어(Ball *et al.*, 1994), 환경요인 변화에 대한 중간 반응성의 차이, 여러 가지 환경스트레스에 대한 식물의 생리적 반응이나 내성 등을 연구하는데도 활용되고 있다. 한편, 빛이 과다해지면 광합성기구에 손상을 미쳐 광합성능이 감소하게 되는 광억제 현상이 나타나는데(Powles *et al.*, 1984; Long *et al.*, 1994), 광 이외의 다른 환경적 스트레스가 함께 작용할 때 심각하게 나타나는 것으로 보고되고 있다(Boyer *et al.*, 1987; Ludlow *et al.*, 1987; Öquist *et al.*, 1987). 특히 이와 같은 현상은 PS II 손상의 복구율이 광피해율을 보상하지 못할 때에 많이 발생하며(Tyystjävi *et al.*, 1992), 자연조건 하에서도 여러 가지 환경요인의 복합적인 작용에 의해 광억제가 일어나는 것으로 보고되고 있다(Demmig-Adams *et al.*, 1989; Ögren and Sjöström, 1990). 고산 지역은 높은 광도, 강한 바람, 건조한 토양조건, 고온 등의 자연적 환경요인이 스트레스 요인으로 작용하여 식물의 생육을 저해할 가능성이 높으며, 본 연구의 공시 수종인 눈향나무(*Juniperus chinensis* var. *saergentii* Henry)와 시로미(*Empetrum nigrum* var. *japonicum* K. Koch.) 또한 고산 지역에 분포하고 있어 위에 언급했던 것과 같은 스트레스 요인들에 직접적으로 노출되어 있다.

눈향나무는 측백나무과의 상록침엽관목으로 우리나라에서는 제주도, 경상북도, 강원도, 평안남북도 및 함경남북도에 분포하며(Lee, 1996), 한라산에서는 해발 1400 m 이상 지역에서 토양과 바위가 섞여 있는 암석지를 중심으로 방사상으로 분포하고 있다(Hyun, 1998). 그리고, 시로미는 상록관목으로 한라산과 백두산, 후치산(북부지역)의 정상부근 해발 1700~2000 m의 고원지 산복에 주로 나타나며(Kong and Watts, 1993), 한라산에는 해발 1600 m 이상의 강한 바람과 광선의 영향을 직접 받는 암석지나 봉괴지의 토심이 얇고 토양 습도가 낮은 건조한 지역에 대부분 분포한다(Hyun, 1998). 따라서, 고산지역에 생육하고 있는 눈향나무와 시로미는 높은 광도, 강한 바람, 건조한 토양조건 그리고 고온 등의 자연적 환경요인이 스트레스 요인으로 작용하여

식물의 생육을 저해할 가능성이 높아 분포지가 제한적이라는 공통성을 갖고 있으며, 최근 한라산에서는 등산객에 의한 피해와 관광용으로 이용하기 위한 남채로 점점 그 분포 면적이 점점 줄어들고 있는 실정이다. 더욱이 눈향나무와 시로미는 한라산 고산지대에 자라는 다른 목본, 초본류보다 광화학적 효율이 낮은 것으로 밝혀져 이에 대한 보다 자세한 연구가 요망된다(Koh, 1999).

따라서 본 연구는 고산성의 희귀식물인 눈향나무와 시로미의 보전과 유전자원으로서의 활용을 위한 기초자료를 제공하고자 한라산 자생지에서 생장기간 동안의 엽록소 형광을 조사하고 광량, 온도, 상대습도 등과 같은 환경요인과의 상관관계를 분석하였다.



II. 재료 및 방법

1. 실험 재료

본 실험에 사용된 재료는 한라산 백록담 분화구 내에 자생하는 고산식물 중 눈향나무(*Juniperus chinensis* var. *sargentii*)와 시로미(*Empetrum nigrum* var. *japonicum*)를 선정하여 사용하였다.

2. 생육 조사

1997년 자생지에서 이들 두 수종이 생육하는 주요 장소를 선정하여 성장량이 비교적 균등한 식물을 10개체씩 표지한 후, 1998년 4월부터 1999년 8월말까지 표지된 식물체를 중심으로 생육상황을 조사하였다.



3. 환경요인 조사

조사지역의 기상요인으로는 광량, 온도, 상대습도를, 그리고 토양환경 요인으로는 온도, 습도와 pH를 조사하였다. 광량은 LI-250 Light Meter (LI-COR Inc., USA)를, 온도와 상대습도는 TR-72 Thermo Recorder (T&D Co. Ltd., Japan)를 이용하여 측정하였다. 이들 기상 조사용 센서는 식물체의 높이에 맞게 설치하여 측정하였다. 토양환경 요인은 간이용 산·습도계를 이용하여 토양습도와 토양 pH 및 토양온도를 측정하였다. 각각의 환경요인은 3회 반복 측정한 뒤 평균값을 분석에 이용하였다.

4. 엽록소형광의 측정

엽록소형광의 측정은 Plant Efficiency Analyzer (Hansatech Instrument Ltd., UK)를 이용하였으며, 15분간 광을 차단하여 암적응시킨 후 1,500 $\mu\text{mole}/\text{m}^2/\text{sec}$ 의 광량을 5초간 조사하여 측정하였다. 자연광 하에서 적응된 잎의 nonphotochemical fluorescence quenching(NPQ)를 산출하기 위해서는 암적응을 생략하고 1,500 $\mu\text{mole}/\text{m}^2/\text{sec}$ 의 광량을 5초간 조사하여 F_m' 을 측정하여, NPQ는 Stern-Volmer Equation ($F_m/F_m' - 1$)으로 산출하였다(Krause and Weis, 1991). 일변화 조사는 1999년도 7월 4일과 8월 13일 2일간 07:00에서 18:00까지 3시간 간격으로 측정하였다. 가지가 외부로 노출되어 자연광을 받는 잎 중에서 엽색이 비슷하고 성숙한 1년생 잎을 선택하여 9반복으로 측정하였다.

5. 상관관계 분석

생장단계 또는 기상요인과 엽록소형광과의 상관관계는 SPSS (SPSS Inc. 1996, Release 7.5)로 분석하였다. 상관분석을 위한 엽록소형광 변수로는 F_v/F_m , F_o , F_m 값 등을 이용하였다.



III. 결과 및 고찰

1. 눈향나무와 시로미의 계절적 변화

눈향나무와 시로미의 잎의 성장, 개화시기 및 종자 발달단계 등의 생육특성을 조사하였다(Fig. 1). 잎의 성장인 경우 눈향나무는 비늘잎이고 길이는 1 mm 정도이며 차상분지를 형성하는데, 4월 중순에 잎의 성장을 시작하여 6월에서 8월 중순까지 대부분의 생장이 이루어졌으며, 9월 이후 성장은 이루어지지 않는 것으로 관찰되었다. 또한 시로미 잎의 성장도 눈향나무와 유사한 경향을 보였으나 신초의 출현시기가 4월 20일경부터 시작되어 눈향나무에 비해 다소 늦게 시작되었다. 또한, 9월 이후에도 1년생 잎인 경우 미세한 생장이 이루어졌으나 대부분의 잎은 적색으로 변한 상태로 관찰되었다.

두 종의 개화시기를 조사한 결과, 시로미는 3월말에 꽃눈이 나오기 시작하여 4월 초에 자주색꽃이 대부분 만개하였으며, 부분적으로 4월 중순에도 꽃이 관찰되었다. 개화시기는 평균 10일 이내로 관찰되어 아주 짧은 것으로 나타났다. 눈향나무는 시로미에 비해 10일 늦은 4월초에 개화가 시작되어 4월 중순에 대부분 만개하여, 10일 정도 개화하는 것으로 나타났다. 이처럼 눈향나무와 시로미의 경우, 다른 고산성 목본류에 비해 개화기간이 극히 짧은 것으로 나타났는데 이는 고산식물의 일반적인 특징의 하나이다.

종자의 발달은 눈향나무는 4월말부터 점차적으로 발달하여 11월초에 완전히 성숙한 종자가 맺혔으나 일부는 다음해 이른봄에 성숙하기도 하였으며, 시로미는 5월초에 종자발달을 시작하여 7월초 성숙하는 것으로 나타났다. 이처럼 종자성숙 시기가 시로미인 경우 60~70일이 소요되는데 비해 눈향나무는 200일 정도가 소요되어 두 종간에 뚜렷한 차이를 보이는 것으로 나타났다. 그러나 이와 같은 결과는 과피가 흑색으로 변환되는 시점을 성숙시기로 판단한 것으로 종자의 발달에 따른 생리적 특성을 고려하지 않은 것이므로 실질적인 성숙시기는 본 결과와 다소 차이를 보일 것으로 판단된다.

Fig. 1. Phenological diagrams for leaf growth, flowering and seed development of Sargent Juniper and Crowberry in Mt. Halla (1800~1950m a.s.l.), 1998-1999.

		Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov
Species		E M L	E M L	E M L	E M L	E M L	E M L	E M L	E M L	E M L
Leaf growth ¹⁾	J		■	■	■	■	■	■	■	■
	E		■	■	■	■	■	■	■	■
Flowering ²⁾	J		■	■	■	■	■	■	■	■
	E		■	■	■	■	■	■	■	■
Seed development ³⁾	J		■	■	■	■	■	■	■	■
	E		■	■	■	■	■	■	■	■

*¹⁾ E early, M middle, L late

¹⁾ □ lag phase, ■ logarithmic phase, ■ stationary phase

²⁾ ■ flowering periods, ■ full blooming periods

³⁾ ■ developing phase, ■ ripening phase

2. 눈향나무와 시로미의 엽록소형광 특성

눈향나무와 시로미의 엽록소형광의 특성을 비교하였다(Fig. 2). 측정시 환경적 요인의 영향을 최소화하기 위해 상대습도가 평균 96.7% (91~99%), 광량이 평균 50 μmole (30~140 μmole), 온도가 16.4°C (13.2~21.0°C)인 자연조건에서 실시하였다. 두 종의 PS II의 광화학적 효율, 즉 Fv/Fm을 비교한 결과, 눈향나무는 0.73으로 시로미의 0.79보다 낮아 PS II의 광화학적 효율이 낮은 것으로 나타났다. 이는 눈향나무의 Fm이 시로미 보다 작은데 반하여 Fo가 오히려 크고, T_{1/2} 또한 시로미 보다 커서 LHC II의 크기가 작고 광화학적 반응속도가 느린데 기인한 것으로 판단된다(Krause and Weis, 1991). 그리고, 눈향나무와 시로미 잎의 Fv/Fm은 각각 0.73과 0.79를 보여 대부분의 식물들이 갖는 범위인 0.81~0.84보다 다소 낮아(Demmig and Björkman, 1987), 고산의 자연 조건하에서는 광억제가 일어나는 것으로 판단된다.

또한, 암적응 단계를 생략한 경우 엽록소형광을 측정하였을 때 눈향나무와 시로미의 Fv/Fm을 비교한 결과, 두 수종 모두 암적응시 보다 10% 정도 감소한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 두 종 모두 T_{1/2}가 증가한 것으로 보아 LHC II의 크기가 감소한 때문으로 해석되었다. 그러나 눈향나무는 Fm과 Fo가 동시에 감소한데 비해 시로미는 Fm만이 감소한 때문으로 나타났다. 한편, 눈향나무의 NPQ는 0.597로 시로미의 0.385 보다 큰 것으로 나타나서 비광화학적으로 소멸되는 형광이 시로미 보다 많은 것으로 나타났다. 따라서, NPQ의 증가가 과도한 빛으로 인한 광피해를 나타내주는 것으로 보고된 바 있어(Demmig-Adams and Adams, 1996) 눈향나무가 시로미 보다 광량에 민감한 것으로 보이며 과도한 빛 에너지로부터 PS II를 보호하기 위한 조절 기작이 시로미보다 발달한 것으로 판단된다. 그리고 눈향나무의 Fv/Fm이 시로미 보다 작은 것도 광억제에 민감한 때문으로 해석된다.

3. 생장단계별 엽록소형광의 변화

생장단계별 엽록소형광의 변화는 눈향나무와 시로미 잎의 생육이 가장 활발하게 진행되는 6월말부터 8월말까지 3회에 걸쳐 생육상태를 3단계 (SI ~ SIII)로 구분하

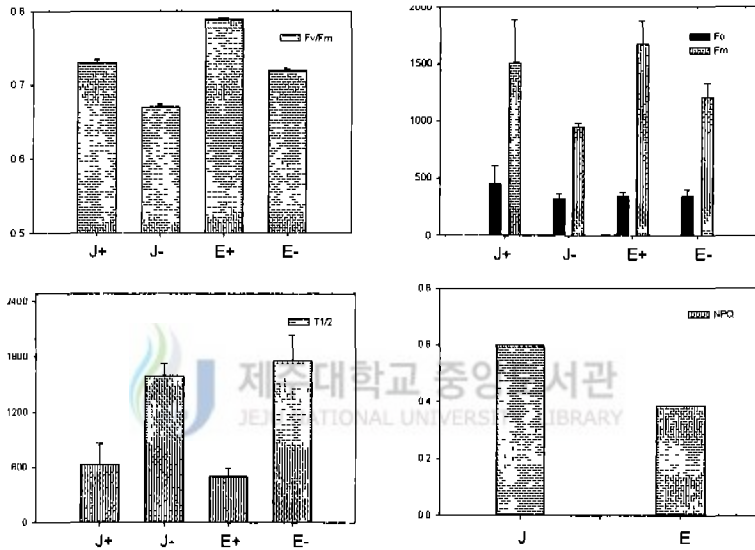


Fig. 2. Comparison of chlorophyll fluorescence parameters between the leaves of Sargent Juniper(J) and Crowberry(E) under dark-adapted(+) or natural light condition(-).

여 조사하였다(Table 1). 즉, 시로미인 경우 잎 길이와 폭이 각각 3.7~4.8 mm, 0.9~1.0 mm 정도의 신엽을 SI, 길이 5.2~6.2 mm와 폭 1.1~1.2 mm 정도의 신엽을 SII, 길이 7.2~8.2 mm와 폭 1.3~1.4 mm의 2년생 잎을 S III으로 설정하여 측정하고, 눈향나무인 경우 잎 길이와 폭이 각각 21~29 mm, 13~17 mm 정도의 신엽을 SI, 길이 30~39 mm와 폭 17~19 mm 정도의 신엽을 SII, 길이 40~49 mm와 폭 18~23 mm의 2년생 잎을 SIII로 설정하여 측정하였다. 그 결과, 눈향나무의 Fv/Fm은 0.76~0.79, 시로미에서는 0.79~0.80을 보여 두 종 모두 다른 수종에 비해 다소 낮았으며(Demmig and Bjorkman, 1987), 성장단계별 또는 엽령에 따른 큰 차이는 보이지 않았다. 하지만 두 수종 모두 SII나 SIII 단계보다 엽령이 낮은 SI 단계에서 더 낮게 나타났다.

한편, 엽장, 엽폭, 그리고 엽장 × 엽폭 등의 성장단계와 엽록소형광과의 상관관계를 분석한 결과(Table 2), 눈향나무는 Fo, Fm, 그리고 Fv/Fm 모두 잎의 성장과 유의성 있는 상관관계를 나타내지는 않았지만, 시로미는 Fv/Fm이 엽장, 엽폭, 그리고 엽장 × 엽폭에 대한 상관계수가 각각 -0.551, -0.352, -0.304로 부의 상관관계를 나타내었다. 이와 같은 시로미의 엽장과 광화학적 효율과의 관계는 Fo가 엽장, 엽장 × 엽폭에 대해 1% 수준에서 유의성이 나타나는 것으로 보아 Fo의 변화와 관련이 있는 것으로 해석된다. 또한, 시로미의 Fv/Fm가 엽폭에 비해 엽장이 보다 높은 유의성을 보이는 것은 엽폭은 성장시기와 관계없이 일정하게 유지되는 반면 엽장은 지속적으로 성장하는 데서 기인된 결과로써 성장에 따른 광합성 효율의 잠재적인 능력이 차이가 있음을 알 수 있었다.

4. 엽록소형광의 일변화

광량, 온도, 상대습도, 그리고 눈향나무와 시로미 잎의 엽록소형광의 일변화를 4회에 걸쳐 조사한 결과(Fig. 3), 광량과 온도는 오전 10시까지 증가하다가 이후 감소하는 경향이었고 상대습도는 오후 1시 이후 급격하게 증가하였다. 광계 II의 광화학적 효율, 즉 Fv/Fm은 눈향나무와 시로미 모두 오후 1시를 전후하여 일시적으로 억제되었으나 이후에 증가하는 양상을 보였다. 그러나, 눈향나무에서는 시로미에 비해 낮 시간의 광억제가 더 많이 일어나는 것으로 나타났다. 따라서, Fig. 2에서 보는 바와

Table 1. Change of photochemical efficiency of PS II with growth stage on the leaves of Sargent Juniper and Crowberry under natural conditions

Species	Growth stage		
	S I	S II	S III
<i>J. chinensis</i> var. <i>sargentii</i>	0.76±0.011	0.79±0.002	0.78±0.004
<i>E. nigrum</i> var. <i>japonicum</i>	0.79±0.001	0.81±0.005	0.80±0.001

Table 2. Relationships between leaf growth and chlorophyll fluorescence on the leaves of Sargent Juniper and Crowberry under natural conditions

Species	Growth character ¹⁾	Chlorophyll fluorescence		
		F _o	F _m	F _v /F _m
<i>J. chinensis</i> var. <i>sargentii</i>	L	.080	.252	-.041
	W	.156	.289	-.100
	L × W	.090	.251	.296
<i>E. nigrum</i> var. <i>japonicum</i>	L	.467**	.237	-.551**
	W	.248	.037	-.352*
	L × W	.473**	.207	-.304*

¹⁾ L · length, W · width * **) significant at the p=0.01, 0.05 level, respectively.

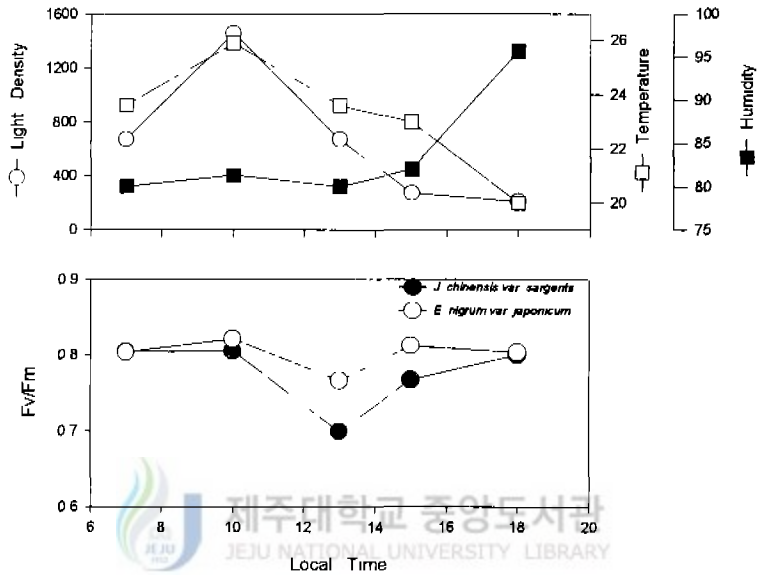


Fig. 3. Diurnal variations of environmental factors and photochemical efficiency of PS II on the leaves of Sargent Juniper and Crowberry under natural conditions.

같이 눈향나무가 시로미 보다 광량에 민감하고 과도한 빛 에너지로부터 광계Ⅱ를 보호하기 위한 조절 기구가 발달되어 있는 것으로 해석된다.

5. 환경요인과 엽록소형광과의 상관관계

조사기간 동안의 시로미와 눈향나무 자생지의 자연환경을 조사한 결과, 대기온도 23.5℃, 대기 습도 82.6%, 광량 654.2 $\mu\text{mole}/\text{m}^2/\text{sec}$ 를 보였으며, 토양 pH는 평균 6.5정도로 중성에 가까우며, 토양 온도가 여름철에도 평균 14.3℃로 유지되었고, 토양의 상대습도는 평균 19.0%로 아주 낮게 나타났다. 환경요인의 변화에 따른 엽록소형광의 변화를 알아보기 위하여 환경요인과의 상관관계를 분석한 결과(Table 3), 눈향나무는 Fv/Fm이 토양온도와 토양 pH와 각각 0.391, 0.404의 상관계수를 나타내고 5% 수준에서 유의성이 인정되었지만, 대기 온도, 대기 습도, 광량, 토양습도 등과는 유의성이 없는 것으로 나타났다. 더욱이, Fo와 Fm은 대기온도, 대기습도, 광량, 토양온도, 토양 습도, 토양 pH 모두와 유의성 있는 상관관계를 나타내지 않았다. 그러나 시로미는 Fv/Fm이 대기습도, 광량, 토양 pH와 각각 0.549, -0.393, 0.628로 1% 수준에서 유의성이 있는 것으로 나타났으며 대기온도와도 -0.464로 5% 수준에서 유의성이 나타났다. 이러한 시로미의 Fv/Fm과 환경요인과의 상관성은 모두 Fo의 변화와 밀접한 관련이 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 눈향나무와 시로미의 자생지 환경 요인에 대한 광화학적 반응이 서로 다를 수 있음을 나타내고 있다. 따라서, 눈향나무와 시로미의 보전과 유전자원으로서의 활용을 위해서는 겨울철이나 여름철의 혹독한 환경스트레스 하에서의 생태생리화학적 조사가 절실히 요망된다.

Table 3. Relationships between environmental factors and chlorophyll fluorescence on the leaves of Sargentii juniper and crowberry under natural conditions

Species	Environmental factors	Chlorophyll fluorescence		
		Fo	Fm	Fv/Fm
<i>J. chinensis</i> var. <i>sargentii</i>	Temperature	-.076	-.050	.002
	Humidity	.027	.061	.077
	Light density	-.060	-.100	-.049
	Soil Temperature	-.260	.035	.391*
	Soil Humidity	.067	-.083	-.219
	Soil pH	-.170	.136	.404*
<i>E. nigrum</i> var. <i>japonicum</i>	Temperature	.395**	.245	-.464*
	Humidity	-.451**	-.247	.549**
	Light density	.319*	.160	-.393**
	Soil temperature	-.211	.001	.271
	Soil humidity	.330*	.491**	-.057
	Soil pH	-.487**	.222	.628**

* ** significant at the p=0.01, 0.05 level, respectively

적 요

한라산 고산지대에 자생하는 눈향나무와 시로미의 생육 특성, 자생지 환경, 그리고 PS II의 엽록소형광 특성을 조사하여, 그 상호관련성을 규명하였다. 이들 식물의 잎은 모두 4월 중순에 생장을 시작하여 6월에서 8월 중순까지 대부분의 생장이 이루어졌으며, 꽃은 4월 중순에 대부분 만개하며 눈향나무의 종자는 11월 초에, 시로미 종자는 5월 초에서 7월 초에 성숙하였다. 눈향나무와 시로미 잎의 PS II의 광화학적 효율 즉, F_v/F_m 는 두 종 모두 13시를 전후하여 일시적으로 억제되었으며, 눈향나무에서 광억제가 더 많이 일어났다. 그리고, 비광화학적인 엽록소형광 소멸을 나타내는 NPQ는 시로미보다 눈향나무에서 크게 나타나 눈향나무에서 과도한 빛 에너지로부터 PS II를 보호하기 위한 조절 기구가 더 발달한 것으로 보인다. 또한, 두 종 모두에서 F_v/F_m 이 잎의 발달단계별로 큰 차이가 없었으나, 시로미의 F_v/F_m 은 잎의 발달과 고도의 부의 상관관계를 나타내었다. 그리고, 눈향나무의 F_v/F_m 은 토양온도와 토양 pH와, 시로미의 F_v/F_m 은 대기습도, 광양, 토양 pH, 그리고 대기온도와 유의성 있는 상관관계가 나타나서, 자생지 환경 요인에 대한 광화학적 반응도 서로 다른 것으로 나타났다.

참고문헌

- Ball, M. C., J. A. Butterworth, J. S. Roden, R. Christian and J. G. Egerton. 1994. Applications of chlorophyll fluorescence to forest ecology. *Aust. J. Plant Physiol.* 22:311-319.
- Boyer, J. S., P. A. Armond and R. E. Sharp. 1987 Light stress and leaf water relations, *In: Photoinhibition* (Eds. Kyle, D. J., C. B. Osmond and C. J. Arntzen), Elsevier, Amsterdam. pp.111-112,
- Demmig, B. and O. Björkman. 1987. Comparison of the effect of excessive light on chlorophyll fluorescence(77K) and photon yield of O₂ evolution in leaves of higher plants. *Planta* 171:171-184.
- Demmig-Adams, B., W. W. III. Adams, K. Winter, A. Meyer, U. Schreiber, J. S. Pereira, A. Kruger, F.-C. Czgan, and O. L. Lange. 1989. Photochemical efficiency of photosystem II, photon yield of O₂ evolution, photosynthetic capacity, and carotenoid composition during the midday depression of net CO₂ uptake in *Arbutus unedo* growing in Portugal. *Planta* 177:377-387.
- Demmig-Adams, B. and W. W. III. Adams. 1996. Xanthophyll cycle and light stress in nature: Uniform response to excess direct sunlight among higher plant species. *Planta* 198:460-470.
- Hyun, H.-J. 1998. The phytosociological study on alpine plant communities in Mt. Halla. MS Thesis, Cheju National University, Cheju. pp 1-21.
- Koh, J. G. 1999. Ecophysiological studies on alpine plants in Mt. Halla. Ph.D. Thesis, Cheju National University, Cheju (*in review*).
- Kong, W. S. and D. Watts. 1993. The Plant Geography of Korea - with an emphasis on the alpine zones. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- Kraus, G. H. and E. Weis. 1991. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The basis. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant. Mol. Biol.* 42:313-349.
- Lee, W. T. 1996. Leneamenta Florae Koreae. Academy publishing Co., Seoul.

- Long, S. P., S. Humphries, and P. G. Falkowski. 1994. Photoinhibition of photosynthesis in nature. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 45: 633-662.
- Ludlow, M. M. 1987. Light stress at high temperature, *In: Photoinhibition* (Eds. Kyle, D. J., C. B. Osmond and C. J. Arntzen), Elsevier, Amsterdam. pp.89-109.
- Ögren, E., and M. Sjöström. 1990. Estimation of the effect of photoinhibition on the carbon gain in leaves of a willow canopy. *Planta* 181:560-567.
- Öquist, G., D. H. Greer and E. Gren. 1987. Light stress at low temperature, *In: Photoinhibition* (Eds. Kyle, D. J., C. B. Osmond and C. J. Arntzen), Elsevier, Amsterdam. pp.67-87.
- Powles, S. B., J. A. Berry, and O. Björkman. 1984. Interaction between light and chilling temperature on the inhibition of photosynthesis in chilling-sensitive plants. *Plant Cell Environ.* 6:117-123.
- Tyystjävi, E., K. Ali-Yrkko, R. Kettunen and E.-M. Aro. 1992. Slow degradation of D1 protein is related to the susceptibility of low-light-grown pumpkin plants to photoinhibition. *Plant Physiol.* 100:1310-1317.

감사의 글

본 연구를 수행하는 동안 여러모로 부족한 저를 지도하여 주신 고석찬 교수님과 심사를 맡아 본 논문의 체계를 바로 잡아주시고 조언을 아끼지 않으신 오덕철 교수님과 허인옥 교수님께 감사드립니다.

대학원의 전 과정을 통하여 많은 학문적 가르침과 충고를 아끼지 않으신 오문유 교수님, 이용필 교수님, 김문홍 교수님, 김원택 교수님, 이화자 교수님, 김세재 교수님께도 깊은 감사를 드립니다.

같은 실험실에서 전 실험과정 동안 도와주신 고정균 박사님, 오순자 선생님을 비롯한 실험실 여러분께도 감사드리며, 본 논문의 정리에 많은 조언을 해주신 제주임업시험장의 이임균 선생님께도 감사의 뜻을 포함합니다.

끝으로 지금까지 키워주신 어머님께 감사드리며, 사랑하는 남편, 딸 경희, 아들 하성이와 이 기쁨을 함께 나누고 싶습니다.

