

博士學位論文

한라산 고산식물의 생태생리학적 연구

Ecophysiological Studies on Alpine Plants in Mt. Halla

濟州大學校 大學院

生物學科

高 禎 君

2000年 2月

한라산 고산식물의 생태생리학적 연구

Ecophysiological Studies on Alpine Plants in Mt. Halla

指導教授 高 碩 贊

高 禎 君

이 論文을 理學 博士學位 論文으로 提出함

1999年 10月

高禎君의 理學 博士學位 論文을 認准함

審査委員長 :

權 寧 命



委

員 :

許 仁 玉



委

員 :

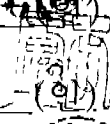
金 文 洪



委

員 :

李 春 煥



委

員 :

高 碩 贊



濟州大學校 大學院

1999年 12月

Ecophysiological Studies on Alpine Plants in Mt. Halla

Jung-Goon Koh

(Supervised by Professor Suck Chan Koh)

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

DEPARTMENT OF BIOLOGY
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

1999. 12.

List of Tables

- Table 1. The abridged list of the vascular plants in Paeknokdam, the crater of Mt. Halla
- Table 2. Frequencies of species in life form categories for Paeknokdam, the crater of Mt. Halla
- Table 3. Usefulness of the vascular plants in Paeknokdam, the crater of Mt. Halla
- Table 4. Air temperature and relative humidity in Paeknokdam, the crater of Mt. Halla(1997~1998)
- Table 5. Correlation of environmental factors and leaf growth in alpine plants in Mt. Halla(1850~1950 m a.s.l.)
- Table 6. Air temperature and relative humidity in the green house(150 m a.s.l.)
- Table 7. Correlation of environmental factors and leaf growth in alpine plants in the green house(150 m a.s.l.)
- Table 8. Survival frequency, rooting percentage, the number of primary root, primary root length and shoot length of rooted cuttings in *Empetrum nigrum* var. *japonicum*, *Juniperus chinensis* var. *sargentii*, *Salix blinii*
- Table 9. Chlorophyll fluorescence parameters from the dark-adapted leaves in alpine plants of Mt. Halla(1850~1950 m a.s.l.)
- Table 10. Correlation of leaf growth and chlorophyll fluorescence parameters in alpine plants in the green house(150 m a.s.l.) and Mt. Halla(1850~1950 m a.s.l.)
- Table 11. Correlation of environmental factors and chlorophyll fluorescence parameters in alpine plants in Mt. Halla(1800~1950 m a.s.l.)
- Table 12. Correlation of environmental factors and chlorophyll fluorescence parameters in alpine plants in the green house(150 m a.s.l.)
- Table 13. Correlation of environmental factors and chlorophyll fluorescence parameters in alpine plants

List of Figures

- Fig. 1. Phenological diagrams for leaf growth of alpine plants in Mt. Halla (1850~1950 m a.s.l.), 1998~1999.
- Fig. 2-1 Leaf growth patterns of alpine plants in the habitates of Mt. Halla (1850~1950 m a.s.l.), 1998~1999.
- Fig. 2-2. Leaf growth patterns of alpine plants in the habitates of Mt Halla (1850~1950 m a.s.l.), 1998~1999.
- Fig 2-3. Leaf, height and branch growth patterns of alpine plants in the habitates of Mt. Halla (1850~1950 m a.s.l.), 1998~1999.
- Fig. 3. Phenological diagrams for flowering of alpine plants in Mt. Halla (1850~1950 m a.s.l.), 1998~1999.
- Fig. 4. Phenological diagrams for seed developing and ripening of alpine plants in Mt. Halla(1850~1950 m a.s.l.), 1998~1999.
- Fig. 5. Leaf aera changes of alpine plants during growing season in the habitates of Mt. Halla(1850~1950 m a.s.l.), 1998~1999.
- Fig. 6 Phenological diagrams for leaf growth of alpine plants in the green house(150 m a.s.l.), 1998~1999.
- Fig. 7 Leaf and height growth for several alpine plants in the green house(150 m a.s.l.), 1998~1999.
- Fig. 8. Phenological diagrams for flowering of alpine plants in the green house(150 m a.s.l.), 1998~1999.
- Fig. 9. Phenological diagrams for seed developing and ripening of alpine plants in the green house(150 m a.s.l.), 1998~1999.
- Fig. 10. Leaf area changes of alpine plants during growing season in the green house(150 m a.s.l.), 1998~1999.
- Fig. 11 Germination rate of alpine plant seeds *in vitro* and in the bed of green house.
- Fig. 12. Diurnal changes of environmental factors and chlorophyll fluorescence

from the leaves of several alpine plants in the habitates of Mt. Halla(1850~1950m a.s.l.)

Fig. 13. Diurnal changes of environmental factors and chlorophyll fluorescence from the leaves of several alpine plants in the green house(150 m a.s.l.)

Fig. 14 Values of nonphotochemical fluorescence quenching(NPQ) of alpine plants in Mt. Halla.

Appendix

Appendix 1. The list of the vascular plants in Paeknokdam, the crater of Mt. Halla.

Abbreviations

PS II : Photosystem II

Fv/Fm : Potential quantum yield of PSII photochemistry in the dark-adapted state

Fo : Initial yield of chlorophyll a fluorescence in the dark-adapted state

Fm : Maximum yield of chlorophyll a fluorescence in the dark-adapted state

Fm' : Maximum yield of chlorophyll a fluorescence in the light-adapted state

Fv : Variable fluorescence(Fm-Fo) in the dark-adapted state

NPQ : Nonphotochemical fluorescence quenching

NAA : α -naphthalene acetic acid

IBA : Indole-3-butyric acid

Summary

In order to investigate the environmental adaptation of the alpine plants to low altitude and to evaluate the values of plant resources, this study was performed from June, 1996 to August, 1999, on 1) the flora of Paeknokdam, the crater of Mt. Halla, 2) the characteristics of the leaf development, flowering and seed development of alpine plants, 3) the characteristics of chlorophyll fluorescence from the leaves of alpine plants.

The flora of 162 taxa distributed on Paeknokdam was composed of 49 families, 121 genera, 125 species, 2 subspecies, 33 varieties and 2 formae, of which 28 taxa were endemic to Korea or Cheju Islands, 36 taxa were rare or endangered. Fifty-nine taxa were identified as alpine plants, which composed of 32 families, 48 genera, 40 species, 2 subspecies, 15 varieties and 2 formae. In the habitats of Mt. Halla, most alpine plants developed from early April to mid-August. Particularly, leaf growth were mainly observed at June and leaf growth periods were 30 to 60 days according to species. While flowering periods were shorter in low altitude than that in high altitude, seed ripening periods were longer in low altitude.

The photosynthetic efficiency(F_v/F_m) in habitats was different with species. However, F_v/F_m showed positive relationship with relative humidity and negative relationships with temperature and light intensity under this research conditions(16~33°C, 40~90% and 0~2,000 μ M), indicating that photosynthetic efficiency is proportional to relative humidity and inversely proportional to temperature and light intensity. In the low altitude, however, F_v/F_m was inhibited even in low light density, suggesting that the alpine plants were under high temperature stress. Most alpine plants showed dynamic photoinhibition with decrease of F_o and F_v/F_m in habitats, whereas they showed chronic photoinhibition with increase

of F_0 and decrease of F_v/F_m in low altitude. Nonphotochemical fluorescence quenching(NPQ) was higher in sun plants than in shade or wetland plants, and was higher in alpine plants with dynamic photoinhibition than in those with chronic photoinhibition. These results indicate that alpine plants such as *Chrysanthemum zawadskii* ssp. *coreanum*, *Potentilla stolonifera* var. *quelpaertensis* and *Thymus quinquecostatus* etc. with high NPQ are highly adaptive to low altitude.

목 차

List of tables	i
List of figures	ii
Appendix	iii
Abbreviations	iv
Summary	v
I. 서 론	1
II. 한라산 백록담 분화구내의 식물상	3
1. 서론	3
2. 재료 및 방법	5
3. 결과 및 고찰	6
3-1. 식물상	
3-2. 백록담 자생식물의 생육형	
3-1. 식물의 유용도	
4. 적요	14
III. 한라산 고산식물의 생육 특성	15
1. 서론	15
2. 재료 및 방법	16
2-1. 백록담일대의 기상 조사	
2-2. 자생지에서의 고산식물 생육특성 조사	
2-3. 생육과 환경요인과의 상관관계분석	
3. 결과 및 고찰	18
3-1. 백록담일대의 기상	
3-2. 고산식물의 생육특성	
3-3. 고산식물의 생장과 환경요인과의 상관	
4. 적요	35

IV. 한라산 고산식물의 저지대 환경에 대한 적응성	36
1. 서론	36
2. 재료 및 방법	38
2-1. 저지대 환경에서의 고산식물 생육특성 조사	
2-2. 고산식물의 증식	
3. 결과 및 고찰	41
3-1. 고산식물의 저지대 환경에 대한 적응성	
3-2. 발아 및 무성증식 특성	
4. 적요	54
V. 환경변화에 의한 고산식물의 엽록소형광의 변화	55
1. 서론	55
2. 재료 및 방법	57
2-1. 연구재료	
2-2. 기상요인조사	
2-3. 엽록소형광의 측정 및 특성 분석	
3. 결과 및 고찰	59
3-1 엽록소형광의 일변화	
3-2. 엽록소형광의 특성	
3-3 생장과 엽록소형광의 상관관계	
3-4. 고지대와 저지대에서 환경요인과 엽록소형광 특성의 비교	
4. 적요	75
VI. 종합고찰	76
VII. 요약	80
VIII. 인용문헌	82
Appendix	88

I. 서론

한라산의 기후는 지리적 위치와 해발고도 그리고 지세 등의 영향으로 아열대에서 아한대 기후대까지 수직분포를 보이고 있다. 이러한 기후대의 분포 때문에 기온은 해발고도가 높아질수록 체감율이 높게 나타나고 있으나 일조량, 기류, 지세 등의 영향으로 기온 하강율이 일정하지는 않다. 또한 한라산의 지세가 정상부를 정점으로 동서방향으로 완만한 경사를 이루고 있기 때문에 남사면과 북사면의 기후대 분포도 다소 차이를 보인다(김과 손, 1985). 강수분포는 여름철에 집중되고 있으며 해발고도가 높아짐에 따라 강수량의 증가를 보이고 있다. 겨울철의 강수는 적설로 나타나는데 적설기는 11월부터 다음해 4월까지이며 적설량과 설질은 해발고도에 따라서 다르다. 또한 자외선의 질과 양도 해발고도에 따라 차를 보이고 있다. 이러한 환경적 요인으로 인하여 저지대의 난대성 식물에서부터 고지대의 고산식물에 이르기까지 식물의 분포가 명확하게 구분된다.

제주도 식물의 수직분포는 中井(1914)가 처음으로 제주도를 해안식물대를 비롯하여 1대부터 7대까지 식물대를 구분한 이후, 森(1928)는 해안식물대, 산록대, 교목대, 관목림대, 고산식물대 등으로 구분하고 고산식물대는 분화구의 내측과 남측사면에 발달하며 면적도 매우 적다고 하였다. 이 후에 植木(1933), 엄(1962), 정과 이(1965), 임(1970)은 해발고도에 따라 난대림, 온대림, 한대림으로 구분하여 관목림대와 고산식물대를 인정하지 않았으나, 오(1968)와 차(1969)는 해발고에 따라 초지대, 낙엽수림대, 침엽수림대 및 관목대로 구분한 바 있다. 이와 같이 한라산 식물의 수직분포에 대해서는 저지대보다 고지대에 대한 견해에 차이가 많다. 최근에 김(1993)은 한라산 정상 주변에 암매, 시로미, 들쭉나무 등이 자라고 있으나 그 분포면적이 매우 좁으며, 주변 식물들이 구상나무, 사스래나무, 주목, 산개벚치나무 등 고산식물대의 식물로 보기 어려운 교목성 수목이 있어서 진정한 의미의 고산식물대로 보기 어렵고 다만 유존식물대로 제시하고 있다.

한편, 고산식물은 아고산대 수목한계선 이상에 특징적으로 자생하는 식물을 말한다. 하지만, 이러한 수목한계선은 지형이나 지질에 따라 뚜렷하지 않은 경우가 많아 고산식물에 대한 명확한 구분이 어려운 것으로 알려지고 있다(Körner, 1995). 우

리 나라 고산식물에 대한 연구는 中가(1927)와 森(1928)에 의하여 시작되었으며, 한반도 고산식물로 383종(박, 1942), 남한의 고산식물로 130종(정, 1989)이 알려졌다. 고산식물 분포는 위도와 지형의 영향을 받아서 주로 북쪽지역인 백두산(2744 m), 관보봉(2541 m), 북수백산(2522 m), 두류산(2309 m), 교향산(1909 m) 등에 편재되어 있으며, 남하함에 따라 그 분포 면적이 감소하고 고산식물의 종수도 많이 줄어든다(정, 1989). 한라산에 고산식물대가 존재하는지 여부에 대한 논란이 많지만 고산식물이 분포하고 있다. 한라산의 고산식물은 박(1942)이 79종으로 보고한 이후 정(1989)이 81종으로, 최근에는 공(1998)이 125종으로 보고하였다.

하지만, 고산식물은 낮은 온도, 강한 광선, 강한 바람, 지형적 특성, 건조한 토양, 서리 등 자생지의 환경 변화가 다양하여 미기후 차이에도 다양한 생태계가 모자이크된 형식으로 군락을 형성되는 특성을 갖고 있다(Körner, 1995). 이러한 이유로 고산식물은 그 분포 범위가 좁고 이동할 수 있는 범위가 제한되어 있어서 지구 온난화 등의 환경 변화가 그 분포에 중요한 요인으로 작용하며 멸종을 야기할 수도 있다(공, 1998). 더욱이 한라산은 화산토로 되어 있고 급경사를 이루고 있어, 등산객의 답압 또는 많은 강우 등으로 인해 등산로와 그 주변, 특히, 백록담 일대의 식생훼손 상태가 심각하다. 따라서 이 지역의 특산이나 희귀식물의 종 보전이 시급하다고 할 수 있으며, 유전자원 보전이나 자생지 복원, 그리고 자원화를 위하여 식물의 분포, 생태생리학적 특성, 그리고 환경적응성 등에 대한 세밀한 연구가 선행되어야 할 것이다. 그러나 한라산 고산대 존재 여부에 대한 관심이 지속적으로 이루어지고 있는데 반하여, 한라산 고산식물의 분포, 생태생리학적 특성, 그리고 환경적응성 등에 대한 연구는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구는 1) 식물지리학적으로 북방계 극지 고산식물의 남방한계선인 한라산에 분포하는 고산식물의 분포상황을 규명하기 위하여 백록담일대를 중심으로 한 식물상을 조사하고, 2) 한라산에 자생하는 고산식물의 생육특성과 생장에 따른 환경요인과 상관을 규명하여 생리적 특성을 파악하고, 3) 이들 고산식물의 저지대 환경에 대한 적응성을 조사하여 자원으로서의 활용 가능성을 검토하고, 4) 고산식물의 엽록소형광 특성을 조사하여 저지대 환경에 대한 적응능력을 밝히고자 한다.

II. 한라산 백록담 분화구내의 식물상

1. 서론

한라산(1950 m) 정상에 분화구인 백록담은 동경 126° 32' 10'', 북위 33° 21' 31''에 위치하며, 둘레는 약 1720 m, 장반경(동-서) 600 m, 단반경(남-북) 400 m, 북벽의 높이가 약 50 m, 남벽의 높이가 약 300 m에 달한다. 지질은 대부분 안산암(安山岩), 유문암(流紋岩), 현무암(玄武岩) 등으로 구성되어 있다(한라산국립공원관리사무소, 1993). 백록담일대는 휴화산 산정으로써 장구한 세월이 경과하면서 특이한 식물 분사를 보유하게 되었고 다양하게 변이가 일어나서 종구성 측면에서 제주도 특산 및 희귀식물이 많이 모여 있다 이로 인하여 식물의 다양성이나 생태적인 측면에서 의의가 대단히 크고 귀중한 연구 대상이 되어왔다(이와 이, 1957; 공, 1998) 또한, 이 지역은 북방계 극지고산식물의 세계적 남방 한계선으로서 식물 지리적으로도 매우 중요한 지역이다(공, 1998).

백록담 분화구내의 식물상은 1914년 市井가 32종으로 기록한 후 이와 이(1957)가 149종, 도와 박(1976)이 165종, 박 등(1977)이 169종으로 보고하였으나, 이후 20여년 동안 백록담일대의 식물상에 대한 체계적인 조사가 이루어지지 않았다. 그리고 제주도의 특산식물은 市井(1914)가 78종 69변종으로 발표한 이래 이(1968)가 백록담 내에 분포하는 식물을 중심으로 29종, 이(1985)가 제주도 특산식물을 73종으로 다시 정리한 바 있다. 이들 특산식물의 주 분포지는 한라산 해발 1400 m이상의 고지대이고 정상부근에 밀집되어 있는 것이 특징이다(김, 1993). 한편, 한반도에 분포하는 고산식물은 51과 175속 296종 5아종 73변종 9품종 등 총 383종으로 보고되었는데(박, 1942), 그 중에서 남한에 31과 91속 101종 1아종 27변종 1품종 등 총 130종이 분포하며 한라산에는 81종이 자란다고 알려져 있다(정, 1989). 특히 한라산에 분포하는 81종의 고산식물 중에서 26종이 이 지역에만 분포하므로 특산식물의 비율이 대단히 높다고 할 수 있다(정, 1989).

한편, 고산식물은 단자엽 초지류와 잎이 뿌리에 붙어 있는 것처럼 생긴 로제트형

쌍자엽 초본류, 폭이 좁고 왜성형인 관목류가 주로 생육하며 일년생식물의 빈도가 낮게 나타나는 특성을 보이며(Billings, 1974), 비교적 짧은 생장시기를 갖는 것으로 알려져 있으나(Korner and Pelaez Menendez-Riedl, 1989) 아직까지 한라산 고지대 식물의 생활형에 대한 연구는 미흡한 실정이다

따라서 본 연구는 한라산 백록담 분화구내의 식물상을 조사하여, 고산식물, 특산 및 희귀식물의 분포, 생활형의 조성 등을 분석하고 식물의 자원적 가치 등을 조사하여, 식물자원의 보전과 자원화를 위한 토대를 마련하고자 실시하였다

2. 재료 및 방법

1) 조사기간

식물상은 한라산 백록담 분화구내의 관속식물을 대상으로 1996년 6월부터 1999년 8월까지 조사하였다.

2) 종동정 및 분석

종의 동정은 이(1980)와 김(1992)을 따라 실시하였으며, 기존의 보고(이와 이, 1957, 도와 박, 1976, 박 등, 1977)와 비교·검토하였다. 특산식물은 이(1996)의 보고를, 희귀식물은 이(1985)의 보고를 기초로 분석하였다. 식물의 유용도는 김(1996)이 제시한 용도를 이용하여 7개 항목으로 구분하여 분석하였다. 고산식물은 기존의 보고(박, 1942, 정, 1989; 공, 1998) 및 일본의 고산식물(武田, 1976, 1977)과 비교·검토하였고, 현재 한라산에서 생육하는 특성을 파악한 후 결정하였다

3) 생육형분석

생육형은 Raunkiaer의 휴면형을 이(1996)에 따라 일년생식물(therophyte), 지중식물(geophyte), 반지중식물(hemicryptophyte), 지표식물(chamaephyte), 지상식물(phanerophyte), 수생식물(hydathophyte), 착생식물(epiphyte)로 구분하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 식물상

한라산 백록담 분화구내에 분포하는 관속식물은 49과 121속 125종 2아종 33변종 2품종으로 총 162분류군인 것으로 조사되었다(Appendix 1). 이를 분류체계에 따라 나누어 보면(Table 1) 양치식물이 4과 8속 10종 1변종이며, 나자식물은 3과 3속 2종 1변종으로 3분류군이고, 피자식물은 42과 110속 113종 2아종 31변종 2품종 등 148분류군으로 밝혀져 피자식물의 다양성이 높은 것으로 나타났다. 각 과의 구성종은 국화과(23종), 백합과(10종), 장미과(9종), 미나리아재비과(8종), 재비꽃과(6종) 순으로 다양하게 나타났다. 이곳의 식물상은 1914년 中井가 한라산 분화구내 식물을 32종으로 최초 보고한 후, 森(1928)는 32과 76종으로, 이와 이(1957)는 52과 149종으로, 도와 박(1976)이 113속 165종으로, 박 등(1977)이 57과 169종으로 보고하였다. 본 조사에서 밝혀진 162종을 기존의 보고(이와 이, 1957; 도와 박, 1976, 박 등, 1977)와 비교하여 보면(Appendix 1), 출현종수 면에서는 도와 박(1976) 및 박 등(1977)의 보고와 유사하였다. 그러나, 구성종은 기존의 보고와 많은 차이가 나타났는데, 석송(*Lycopodium clavatum* var. *nipponicum*) 등 119종은 확인 할 수 없었으며, 다람쥐꼬리(*Lycopodium chinense*) 등 49종은 본 조사를 통하여 추가되었다. 이와 같이 구성종에 차이가 크게 나타나는 것은 백록담일대의 생태적 환경이 저지대의 환경과 확연히 달라 동일종일지라도 외부형질의 변이가 심하여 동정에 어려움이 있고, 대부분의 식물이 일반적으로 생활사가 짧아 식물동정에 중요한 시기인 개화기 등을 놓치기 쉬운 데서 기인한 것으로 보여지며, 앞으로도 식물상 파악을 위하여 계절별로 지속적인 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다. 그리고 백록담 남벽 정상외 일부지역에 1993년부터 훼손지 복구에 저지대 흙을 사용하면서 1997년 분화구내 식물상 조사시 복구지역에 개여뀌(*Persicaria blumei*), 개불알풀(*Veronica polita* var. *lilacina*), 섬나도나물(*Cerastium holosteoides* var. *hallaisanense*), 냉이(*Capsella bursa-pastoris*), 주름잎(*Mazus pumilus*), 개망초(*Erigeron annuus*), 개민들레(*Hypochoeris radicata*) 등 8종의 귀화 또는 저지대식물이 극히 낮은 빈도로 출현하였다. 그러나 1998년에는 개망초와 토끼풀을 제외한 6종이 현지에 적응하지 못하여 사멸되었고, 잔존한 2종도 개체수가 극히 적을 뿐만 아니라 뚜렷한 감소 추세를 보이고 있다. 따라서 이들 훼손 복구

Table 1. The abridged list of the vascular plants in Paeknokdam, the crater of
Mt. Halla

	Fam.	Gen.	Sp.	Ssp.	Var	For.	Total
Pteridophyta	4	8	10	-	1	-	11
Gymnospermae	3	3	2	-	1	-	3
Angiospermae							
Monocotyledons	6	24	25	-	4	-	29
Dicotyledons	36	86	88	2	27	2	119
Total	49	121	125	2	33	2	162

지는 특수지역으로 지속적인 식생변화를 모니터링하고 있어 본 식물상 목록에서 제외시켰다

1) 고산식물의 분포

백록담 분화구내에 분포하는 식물중에 고산식물은 32과 49속 40종 2아종 15변종 2품종 등 총 59분류군으로 분석되었다(Appendix 1). 이러한 결과는 정(1989)이 보고한 81종과 공(1998)이 보고한 125종보다 크게 감소된 것이다. 이는 기존의 고산식물에 대한 보고가 문헌자료를 토대로 실시하였거나 제주도에 분포하지 않는 것으로 알려진 식물 또는 고산지대에 분포하지 않는 식물이 다수 포함되어 있기 때문으로 사료된다. 즉, 현재 한라산에 분포하지 않은 것으로 알려진 동의나물, 가시오갈피, 나래박쥐나물, 세송이바람꽃, 한라고사리, 만병초, 참양지꽃, 구슬오이풀, 다북고추나물, 가지송이풀, 사국이질풀, 고산개풀 등과, 한라산이 고산식물의 분포 하한계선이 1500m라 볼 때(공, 1998) 층층나무, 큰천남성, 딸나리, 쫄대송마 등 낙엽수림대에 분포하는 특성을 갖고 있어 고산식물이라 볼 수 없는 식물이 다수 포함되어 있다 또한 세잎종덩굴, 비비추, 검은겨이삭, 체꽃, 달구지풀, 황기 등은 한라산 고산지대에는 분포하지는 않으나 유사한 종의 있어 식물동정이 잘못된 것으로 사료된다. 이는 고산식물이 생활사가 짧아 동정에 중요한 시기를 놓치기 쉬울 뿐만 아니라 지속적인 조사가 이루어지지 않고서는 식물상을 파악하기 어려운데서 오는 것으로 보인다. 그리고 고산식물은 극히 한정된 환경에서 자라며, 또한 생육지가 좁아 조그만 생태계 교란에도 커다란 영향을 받아 쉽게 사멸될 가능성도 있다. 그리고 나도옥삼화, 산평의다리, 매발톱꽃, 바위떡풀, 산매자나무, 마주송이풀, 쥐오줌풀, 은분취, 수리취, 산매자나무 등은 한라산 고지대에 분포하고 있으나 우리 나라 전역의 저지대까지 분포하고 있어(이, 1980; 이, 1996) 고산식물 목록에서 제외 시켰다. 그러나 구름털세비꽃, 털둥근갈퀴, 손바닥난초는 한라산 정상부와 일본의 고지대에 분포하고 있어(武田, 1976, 1977) 고산식물로 추가하였다.

한편, 한라산 백록담에 분포하는 고산식물 중 한라사초, 떡버들, 제주산버들, 좁고채목, 한라장구채, 구름미나리아재비, 자주평의다리, 누른종덩굴, 섬매발톱나무, 섬바위장대, 제주황기, 제주달구지풀, 섬취손이, 두메대극, 좀향유, 애기솔나물, 구름체꽃, 눈개쑥부쟁이, 바늘엉겅퀴, 흰바늘엉겅퀴, 좀민들레, 한라솜다리 등 22종은 제주도 또

는 한국특산으로 고지대 환경에 잘 적응한 것으로 보인다. 또한, 이(1996)의 보고를 기초로 하여 분포유형을 살펴보면, 한라산과 한반도 일부 산지 및 일본의 공통 고산식물은 눈향나무, 나도그늘사초, 애기사철란, 산평의다리, 한라돌쩌귀, 큰산상대, 물매화, 산쥐손이, 애기괭이밥, 시로미, 구름털제비꽃, 개회향, 들쭉나무, 큰앵초, 설앵초, 네귀쓴풀, 백리향, 털둥근갈퀴, 땃대이나무, 금방망이, 한라구절초 등 22종으로 나타났다. 이처럼 한라산에 분포하는 고산식물 중 60.3%가 한반도의 고산지대나 일본열도와 관련된 것으로 밝혀져 이들 고산식물들은 과거 기후가 한랭했던 빙하기에 동북아시아에서 한반도를 경유하여 제주도로 유입되었고, 일부는 일본열도로 전파된 것으로 판단된다(공, 1998). 그리고 백록담일대의 종 조성으로 볼 때 고산식물이 전체식물의 36.4%를 차지하고 있어 고산식물대로 보기는 어렵고 유존식물로 남아있는 것으로 보인다(김, 1993).

2) 특산 및 희귀식물의 분포

백록담일대에 분포하는 식물중에 특산식물은 구상나무, 한라사초, 떡버들, 제주산버들, 좁고채목, 개족도리, 한라장구채, 구름미나리아재비, 자주평의다리, 누른종덩굴, 섬매발톱나무, 섬바위장대, 한라개송마, 제주황기, 제주달구지풀, 섬쥐손이, 두메대극, 좁향유, 깔금좁살풀, 애기솔나물, 병꽃나무, 구름제꽃, 눈개쑥부쟁이, 바늘엉겅퀴, 흰바늘엉겅퀴, 쯤민들레, 한라고들빼기, 한라솜다리 등 28종으로 나타났다(Appendix 1). 이들 특산식물은 한국 또는 제주도에만 제한적으로 분포하는 것으로, 이러한 식물들이 사라진다는 것은 곧 지구상에서 사라진다는 것을 뜻하므로 중요한 의미를 가지며 보호해야 하는 식물들이다. 그리고 제주도 특산식물에 대하여 학자들간에 다소 의견이 차이는 있으나, 제주도 특산식물의 주 분포지는 해발 1400 m 이상의 고지대이고 정상부근에 많은 종이 밀집되어 있으며, 왜성화 되어있는 것이 특징이다(김, 1993)

또한, 희귀식물로는 멸종위기식물로서 법정보호대상인 돌매화나무를 비롯하여 각시고사리, 거꾸리개고사리, 눈향나무, 쯤새풀, 나도그늘사초, 폭이삭초, 흰이삭사초, 한라부추, 가는범꼬리, 눈범꼬리, 이른범꼬리, 세바람꽃, 한라돌쩌귀, 산쥐손이, 쯤쥐손이, 시로미, 각시제비꽃, 산매자나무, 들쭉나무, 설앵초, 흰그늘용담, 덩굴용담, 분단나무, 둥근잔대, 나리잔대, 구와쑹, 산솜방망이 등 28종으로 조사되었다(Appendix 1). 하

지만 회귀식물은 개체수가 아주 희소하고 분포상 의미가 있어 학술적으로 연구가치가 있는 식물을 말하고, 과거에는 개체수와 분포역이 컸으나 자연생태계의 훼손과 무분별한 채취로 인해 감소하는 멸종위기종과 감소추세종을 포함하기 때문에(박 등, 1997), 구름송이풀, 한라구절초, 흰땃딸기, 손바닥난초, 애기사철란, 매발톱꽃, 수리취, 금방망이 등 8종은 최근 몇 년 동안 자생지에서 개체수와 분포역이 급격히 감소되고 있어 회귀식물로 추가하였으며 이에 대한 보호가 시급한 것으로 판단된다 또한, 한라산 백록담일대에 분포하는 고산식물 59종 중에 특산식물이 22종, 회귀식물이 17종으로 나타나 대부분의 고산식물이 회귀 및 특산식물로 나타났다.

3-2. 백록담 자생식물의 생육형

백록담일대에 자생하는 162종의 식물을 대상으로 생육형을 살펴보면(Table 2), 반지중식물이 43.8%인 71종으로 가장 높은 비율을 차지하였고, 지중식물이 25.3%인 41종으로 나타났으며, 수목이 14.8%인 24종으로 나타난 반면 일년생은 네귀쓴풀, 꽃머느리밥풀, 깔금좁쌀풀 등 10종으로 조사되었다. 반지중식물과 지중식물이 전체적으로 70%에 이르러 겨울 때 혹독한 환경을 지중에서 지내는 것으로 분석되었다

59종의 고산식물을 대상으로 생육형을 살펴보면 다년생 초본류인 반지중식물이 67.8%인 40종으로 대부분을 차지하여 전형적인 고산식물의 생활형을 보여주고 있고(Agakhanjanz and Breckle, 1995), 목본류가 8종, 지중식물이 4종, 일년생식물이 5종으로 나타났다 일반적으로 고산지대의 주요 생장형을 보면 초지나 폭이 좁고 왜성형인 관목, 잎이 뿌리에 붙어 있는 것처럼 생긴 로제트형 쌍자엽 초본류가 주로 생육하며(Billings, 1974), 일년생식물이 아주 희귀할 뿐만 아니라 90% 이상의 대부분 식물은 영양생식을 하는 특성과 유사하였다.

3-3. 식물의 유용도

본 연구에서 조사된 관속식물을 김(1996)이 제시한 용도를 이용하여 7개 항목으로 나누어 조사하였다(Table 3). 그 결과, 백록담일대에 자생하는 162종의 식물의 유용도는 관상용이 82종(50.6%)으로 가장 높은 비율을 차지하였고, 공업용이 10종

Table 2. Frequencies of species in life form categories for Paeknokdam, the crater of Mt. Halla

	No. of species	Life form ¹⁾						
		Ph	E	Ch	H	G	Th	HH
Paeknokdam	162	24	1	11	71	41	10	4
(%)		14.8	0.6	6.8	43.8	25.3	6.2	2.5
Alpine plant*	59	8	-	2	40	4	5	-
(%)		13.5	-	3.4	67.8	6.8	8.5	-

* Alpine plants distributed in Mt. Halla.

¹⁾ Ph : phanerophyte, E : epiphyte, Ch : chamaephyte, G : geophyte, H : hemicryptophyte, Th : therophyte, HH : hydatophyte.

Table 3. Usefulness of the vascular plants in Paeknokdam, the crater of Mt. Halla

Usefulness ¹⁾	E	M	P	O	I	N	U
No. of species	66	75	15	82	10	17	40
%	40.7	46.3	9.3	50.6	6.2	10.5	24.7

¹⁾ E : edible, M : medicinal, P : pasture, O : ornamental, I : industrial,
N : nectar-producing, U : unknown.

(6.2%)으로 가장 낮은 비율을 차지하였다. 이 외에 약용이 75종(46.3%), 식용이 66종(40.7%), 밀원용이 17종(10.5%), 목초용이 15종(9.3%)으로 나타났고, 아직까지 용도를 알지 못하는 것은 40종(24.7%)을 차지하였다. 이와 같이 백록담일대의 자생식물 중 75.3%가 관상용이나 식용 등의 자원적 가치가 있는 것으로 나타났다. 그러나 모든 식물들은 현재 유용하게 이용되는, 잠재적으로 유용하든 생태계의 구성원으로 중요하며, 여러 방면의 연구 수행에 따라 미래의 유용자원이 될 수 있다. 특히, 백록담일대에 분포하는 식물들은 특산 및 희귀식물, 고산식물이 많은 비율로 차지하고 있어, 희귀성, 멸종위기 가능성 등을 감안하여 볼 때 식물의 자원적 가치는 아주 높다고 판단된다.

이와 같이 백록담 분화구내는 비교적 한정된 면적(21 ha)에 162종의 다양한 식물이 분포하고, 이중 17.3%인 28종의 특산식물과 22.2%인 36종의 희귀식물이 분포하고 있을 뿐만 아니라 75.3%의 식물이 유용식물로 조사되어 자원적 가치가 아주 높아 백록담일대의 식물의 보전 및 자원화 방안 등에 대한 체계적인 연구가 요구된다.

4. 적 요

한라산 백록담 분화구내에 분포하는 관속식물은 49과 121속 125종 2아종 33변종 2품종으로 162분류군인 것으로 조사되었다. 이 중 특산식물은 제주산벼들 등 28종으로, 희귀식물은 들매화나무 등 36종으로 규정하였다. 이 지역에 분포하는 고산식물은 32과 49속 40종 2아종 15변종 2품종 등 총 59분류군이 분포하는 것으로 조사되었다. 그리고 162종의 식물 중 반지중식물이 43.8%인 71종으로 가장 높은 비율을 차지하였고, 지중식물이 25.3%인 41종으로 나타났다. 고산식물을 대상으로 한 생육형은 반지중식물이 67.8%인 40종으로 대부분을 차지하여 전형적인 고산식물의 생육형을 보여 주었다. 162종의 유용도는 관상용이 82종(50.6%), 약용이 75종(46.3%), 식용이 66종(40.7%), 밀원용이 17종(10.5%), 목초용이 15종(9.3%), 공업용이 10종(6.2%)으로 나타나 백록담일대의 자생식물 중 75.3%가 자원적 가치가 있는 것으로 나타났다.

Ⅲ. 한라산 고산식물의 생육 특성

1. 서 론

고산식물은 생장기간 동안의 적설량, 적설기간, 토양수분, 토양온도, 바람, 그리고 종간 상호관계 등 여러 가지 요인에 의해 그 분포가 제한되고 있다(May and Webber, 1982; Billings, 1988). 하지만, 고산식물은 이러한 극한 환경에 대한 적응 또는 회피 전략을 발달시키면서 생존해왔다. 즉, 고산식물은 비교적 짧은 생장시기를 가지고, 생육형이 포복형이거나 로제트형의 잎을 가지며 줄기는 없거나 또는 왜소하게 발달하기도 한다(Billings, 1974, 1988). 또한 왜성형 관목류는 전해에 화기형성이 이루어진 후 겨울이 지나 눈이 녹으면서 즉시 개화한다(Larcher, 1995). 뿐만 아니라 고산지대 식물은 저지대 식물과는 다른 cuticular wax를 가지고 있어 잎과 외부환경 간의 장벽으로 작용하여 높은 광이나 UV-B에 의한 피해와 수분손실을 막아준다(Pilon *et al.*, 1999) 한편, 고산식물은 저지대식물과 비교하여 유전적으로 낮은 상대생장률을 보이는데, 이러한 낮은 상대생장률은 광합성율이 저지대식물보다 낮을 뿐 아니라 광합성산물 중 상대적으로 더 많은 양을 호흡으로 소비하고, 잎의 길이가 감소하는 반면 두께나 밀도를 증가시키는 특성을 갖기 때문으로 알려지고 있다(Atkin *et al.*, 1996).

한편, 한라산 백록담일대에는 59종의 고산식물이 분포하고 있는데, 이 중 67.8%가 반지중 식물로 전형적인 고산식물의 생활형을 보여주고 있다(Agakhanyanz and Breckle, 1995). 한라산 정상부의 한랭한 기온, 짧은 생육일수, 강한 바람, 불규칙한 적설심도, 그리고 기후 요소들의 심한 일교차 등 기후적 요인과 척박한 토질 등의 열악한 환경은 상대적으로 적응능력이 강한 고산식물들이 생육할 수 있는 여건을 마련해 준 것으로 보인다(공, 1998) 그러나 아직까지 고산식물의 생장특성 등에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구는 한라산 자생지에서 고산식물의 생육환경을 파악하고, 고산식물의 생장특성을 밝혀 고산식물의 보전과 개발을 위한 자료를 마련하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2-1. 백록담일대의 기상 조사

백록담일대의 기상을 알아보기 위하여 1996년 9월부터 해발 1920 m 동능정상 백엽상내에 전자식자기온습도계(Sigma II, SATO KEIRYOKI MFG Co Ltd., Japan)를 설치하고 지속적으로 온도 및 상대습도를 측정하였다. 측정된 자료는 7일간격으로 수거한 뒤 3시간 단위로 하루 8번의 측정치를 이용하여 일 평균 온도 및 상대습도 값으로 사용하였다.

2-2. 자생지에서의 고산식물 생육특성 조사

1) 연구재료

고산식물의 생육특성을 알아보기 위하여 한라산 백록담일대의 식물상 조사를 통하여(Appendix 1) 고산식물로 판단된 59종 중 아래의 초본류 17종, 목본류 5종을 대상으로 생육상황을 조사하였다

초본류 ; 한라부추(*Allium taquetii*), 한라돌쩌귀(*Aconitum napiforme*), 한라구절초(*Chrysanthemum zawadskii* ssp. *coreanum*), 한라돌창포(*Tofieldia fauriei*), 좀비비추(*Hosta minor*), 제주달구지풀(*Trifolium lupinaster* var. *alpinum*), 섬잔대(*Adenophora taquetii*), 설앵초(*Primula modesta* var. *fauriae*), 구름떡쑥(*Anaphalis sinica* ssp. *morii*), 한라솜다리(*Leontopodium hallaisanense*), 섬바위장대(*Arabis serrata* var. *hallaisanensis*), 한라개승마(*Aruncus aethusifolius*), 두메대극(*Euphorbia fauriei*), 구름송이풀(*Pedicularis verticillata*), 구름채꽃(*Scabiosa mansenensis* for. *alpina*), 한라장구채(*Silene fasciculata*), 눈개쑥부쟁이(*Aster hayatae*).

목본류 , 백리향(*Thymus quinquecostatus*), 땃데미나무(*Lonicera coerulea* var.

edulis), 들쭉나무(*Vaccinium uliginosum*), 떡버들(*Salix hallaisanensis*),
툇매화나무(*Diapensia lapponica* var *obovata*).

2) 생장량 조사

1997년 각 식물이 생육하는 자생지를 선정하고 비교적 생장량이 균등한 식물을 10개체씩 선택하여 표지한 뒤, 1998년 4월부터 1999년 8월말까지 표지된 식물체를 중심으로 생육상황을 조사하였다. 잎의 생장은 최초의 잎이 출현하는 시점부터 생장이 완료되는 시기까지 15~20일 간격으로 엽장, 엽폭, 엽두께, 엽병의 길이 등을 vernier calipers(1/100 mm)를 이용하여 측정하였다. 또한 신초분화가 이루어진 후 줄기가 형성되는 식물은 줄기의 생장량을 측정하였고, 신초상의 잎은 밑에서 위쪽을 향하여 차례로 모든 잎의 길이를 측정하였다. 엽면적은 Norman과 Campbell(1989)의 방법을 기초로 산출하였다. 즉, 엽장에 최대엽폭을 곱한 뒤 잎의 형태적 특성에 따라 삼각형태인 잎은 0.50, 타원형 또는 장타원형인 잎은 0.75를 곱하여 계산하였다. 또한, 종간의 생장속도를 알아보기 위하여 SPSS package(SPSS Inc., Release 7.5, 1996)를 이용하여 회귀분석을 실시하였다.

3) 개화 및 결실주기 조사

개화주기는 화아에 대한 개화수를 조사한 뒤 개화율이 80% 이상일 때를 만개 시기로 보았고, 종자결실주기는 수정 후 열매가 열개 또는 종자가 흑색으로 변환되는 시점까지를 종자발달로, 그 이후는 성숙단계로 규정하여 조사하였다.

2-3. 생육과 환경요인과의 상관관계분석

자생지에서 측정한 온도 또는 상대습도와 생장과의 상관을 분석하였다. 온도와 상대습도는 백록담일대에서 측정한 기상자료를 생장량 조사시기와 동일한 15~20일 간격으로 구분하여 평균값을 산출한 뒤 생장량과의 상관관계를 분석하였다. 모든 분석은 SPSS통계 package를 이용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 백록담일대의 기상

한라산 정상부의 기온은 연평균 3.7℃으로 제주시의 16.7℃ 보다 크게 낮았으며, 상대습도는 평균 67.9%로 제주시의 72.6%와 거의 비슷하였다(Table 4). 정상부의 기온은 1월이 평균 -9.0℃로 가장 낮았으며 8월이 평균 14.5℃로 가장 높았다. 또한 연최저기온은 -16.5℃, 최고기온은 21.0℃로 나타났다. 겨울철인 경우 바람이 심하게 부는 날이 대부분이므로 실질적으로 식물체에 가해지는 온도는 -20℃ 이하가 항상 유지되는 것으로 판단된다 또한 여름철 강한 광선하에서 식물체가 받는 위치의 온도는 백엽상내 측정치와 상당히 달라 최고 35℃에 이르기도 하였다 상대습도는 8월이 79.8%로 가장 높았는데 대부분이 65% 이상이 유지되는 비교적 높은 습도를 유지하였다 그러나 하루에도 날씨의 변화가 심하게 나타나서 최저와 최고의 습도의 변화 폭이 크게 나타나는 특성을 보였다.

이러한 기상특성은 제주도(22 m asl.)와 비교하여 볼 때 연평균 기온은 13.0℃가 낮았으며 상대습도는 5% 정도가 낮았다 비록 제주도 지역보다 상대습도는 정상부가 낮게 나타나기는 하였으나 안개 등에 의해서 식물체에 가해지는 상대습도가 90% 이상 지속되는 일수는 실질적으로 많은 것으로 사료되었다

3-2. 고산식물의 생육특성

1) 잎의 생장특성

한라산 고산식물의 생장은 전체적으로 4월 초순부터 시작되어 8월 중순까지 이루어졌다 그러나 잎의 주요 생장시기는 6월에 집중적으로 이루어지며, 종에 따라 다소 차이는 있으나 잎의 생장일수는 주로 30~60일 사이로 나타나 비교적 짧은 생장시기를 갖고 있었다(Fig. 1).

잎의 생장을 기준으로 하여 고산식물의 종별 생장특성을 살펴보면, 구름떡쑥(*A. sinica* ssp. *morri*), 섬바위장대(*A. serrata* var. *hallaisanensis*), 한라개승마(*A.*

Table 4. Air temperature and relative humidity in Paeknokdam, the crater of Mt. Halla(1997~1998)

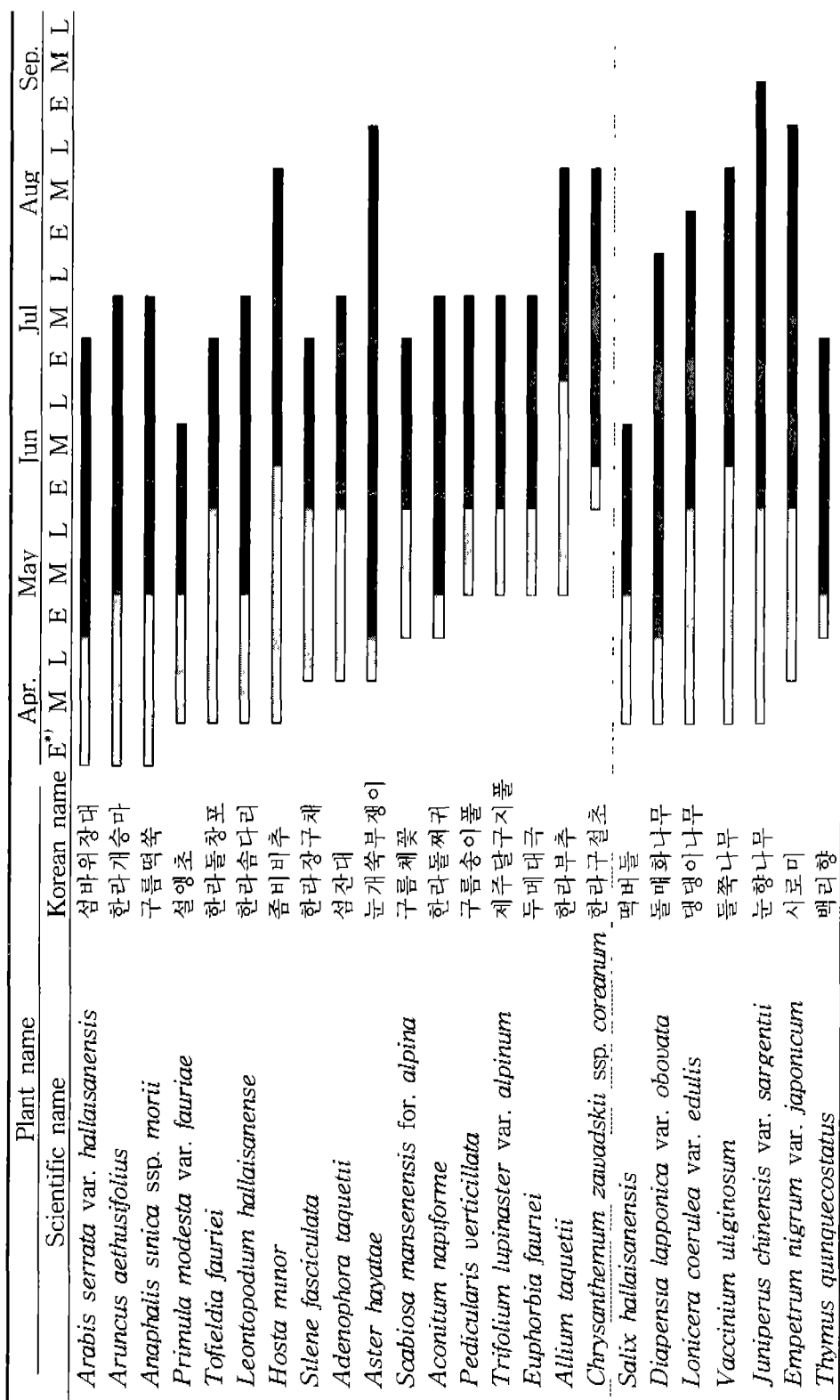
Area	Factors ³⁾	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul	Aug.	Sep.	Oct.	Nob.	Dec.	Annual
Paeknokdam ¹⁾	Mean	-9.0	-6.2	-1.6	4.7	8.14	10.6	12.9	14.5	9.4	4.9	1.0	-5.2	3.7
	T(°C)	Min.	-16.5	-13.3	-9.2	-2.7	2.7	6.0	1.5	10.0	4.5	-2.0	-7.75	-10.8
		Max.	0.0	0.5	6.5	11.8	14.7	15.5	21.0	20.5	19.2	12.1	10.2	0.5
		Mean	72.6	68.4	62.8	65.3	62.6	70.2	75.1	79.8	61.3	65.1	66.5	71.6
	H(%)	Min	23.5	19.5	10.0	11.0	10.0	18.0	10.0	37.0	22.0	14.0	12.0	38.0
		Max.	96.0	97.5	99.0	99.0	98.0	98.0	95.0	98.0	98.0	97.0	96.5	94.0
Cheju city ²⁾	Mean	5.9	7.8	9.9	15.2	18.9	22.2	27.0	27.5	23.6	18.9	13.8	9.1	16.7
	T(°C)	Min.	0.4	2.2	5.4	9.4	13.0	16.3	23.2	21.9	17.6	11.6	7.4	4.2
		Max.	12.1	14.4	15.8	23.4	25.4	29.2	32.9	32.6	31.0	24.4	20.6	15.2
		Mean	66.5	67.7	67.4	76.5	75.0	80.2	79.5	76.9	73.3	69.4	71.3	67.6
	H(%)	Min	46.5	48.0	40.8	45.0	45.0	47.5	52.5	56.0	54.0	38.0	50.0	48.5
		Max.	88.0	88.5	92.5	94.0	94.5	94.0	93.0	91.5	86.5	87.5	92.5	90.5

¹⁾ Data measured in Mt. Halla(1920 m a.s.l.), 1997~1998.

²⁾ Data obtained from Cheju Metrological Service, 1997~1998

³⁾ T : air temperature, H : relative humidity.

Fig. 1. Phenological diagrams for leaf growth of alpine plants in Mt. Halla(1850~1950 m a.s.l), 1998~1999



□ : lag phase, ■ : log phase, ■ . senescence phase. *) E : early, M : middle, L : late.

aethusifolius)가 가장 이른 시기인 4월 초순에 싹이 트기 시작하여 7월 중순까지 성장이 이루어졌다. 구름떡쑥은 백록담 서북정상 주변 등 나지나 초지에 주로 분포하는데, 4월 초순부터 7월 중순까지 잎의 생장이 이루어지며 5월 중순부터 7월 초순까지 50일 동안 대부분의 생장이 이루어졌고, 7월 중순 이후 잎의 노쇠가 시작되었다. 성숙한 엽장은 평균 22.9 mm(16.3~28.7 mm)이고, 엽폭은 평균 5.5 mm(2.7~8.0 mm)이다. 그리고 성숙한 잎의 크기가 다양하게 나타났는데, 이러한 차이는 부착된 위치에 따라 크기가 다르기 때문에 발생한 것으로, 싹에서 위로 올라 갈수록 잎의 크기가 작아지기 때문이다(Fig. 2-1). 섬바위장대는 한라산 정상에 암석지나 건조한 나지에 자라는데, 잎의 생장은 7월 중순까지 이루어지며, 엽병은 5월말까지는 생장이 거의 없다가 6월 초순부터 급격한 성장을 보이는 특징이 있었다. 성숙한 잎의 길이는 평균 23.5 mm이고, 엽폭은 평균 11.0 mm, 엽병이 평균 4.7 mm, 엽두께가 평균 0.5 mm로 나타났다(Fig. 2-2). 한라개승마는 정상에 암석지에 주로 자라는데, 잎의 생장은 7월 중순까지 90일 동안 성장하며 5월 중순에 6월말까지가 성장속도가 높은 것으로 나타났다. 성숙한 잎의 길이는 평균 43.0 mm이고, 엽폭은 평균 24.0 mm, 엽병은 평균 4.0 mm로 나타났다(Fig. 2-2).

4월 중순경에는 한라돌창포(*T. fauriei*), 좀비비추(*H. minor*), 설앵초(*P. modesta* var. *fauriae*), 한라솜다리(*L. hallaisanense*)와 대부분의 목본류가 성장을 시작하였다. 한라돌창포는 정상 부근의 바위틈에 주로 분포하는데, 7월 중순까지 잎의 생장이 이루어진다. 또한 6월 초순경에 새로운 잎이 다수 발생하며, 2년생 잎의 경우도 이 시기에 주로 성장하였다. 잎의 생장은 식물체의 연령에 따라 많은 차이를 보이는데, 개화가 이루어진 식물체를 대상으로 생장이 끝났을 때 엽장이 평균 39.9 mm(19.7~68.6 mm)이고, 엽폭은 평균 3.5 mm(2.4~4.9 mm)를 보였다. 그러나 생장이 끝난 상태의 잎 생장의 차이는 아주 크게 나타났는데, 이는 잎이 상록성으로 동일한 개체라도 1년생 또는 2년 이상 되는 잎이 혼재하여 2차 생장이 초래된 결과로 판단된다(Fig. 2-1). 좀비비추는 백록담 서쪽 정상일대 초지에 주로 자라는데, 잎은 8월 중순까지 지속적으로 성장한다. 성숙한 엽장은 평균 33.6 mm(27.0~38.0 mm)이고, 엽폭은 평균 12.9 mm(8.0~16.0 mm)로 나타났다(Fig. 2-1). 설앵초는 백록담 서북정상 주변 등 나지에 주로 분포하는데, 잎의 생장은 4월 하순부터 시작되어 6월 하순경에 대부분 성숙한다. 성숙한 엽장은 평균 25.6 mm이고, 엽폭은 평균 19.2 mm, 엽병이 평균 34.7 mm

로 엽병이 상대적으로 길게 성장하는 특성을 갖는 것으로 나타났다(Fig. 2-1). 한라산 정상 부근의 건조한 암석지 또는 초지에 자라는 한라솜다리의 잎 생장은 8월 초순까지 이루어지며, 성숙한 잎의 길이는 평균 33.0 mm(21.0~41.0 mm)이고, 엽폭은 평균 10.5 mm(9.0~13.0 mm)로 나타났다. 그러나 성숙한 잎의 길이와 폭이 차이가 높게 나타났는데, 이는 경생엽과 근생엽의 크기 차이에 의해 초래된 것으로 경생엽이 근생엽보다 비교적 작은 잎의 크기를 보였다(Fig. 2-2). 들쭉나무(*V. uliginosum*)는 정상 부근의 암석지에 주로 자라며, 잎의 생장은 8월 중순까지 이루어지나 5월 중순부터 30일 동안에 주로 성장하였다. 성숙한 잎의 길이는 평균 12.6 mm이고, 엽폭은 평균 9.3 mm, 엽병은 평균 1.5 mm로 나타났다(Fig. 2-3). 또한, 측지의 생장은 평균 24.3 mm로 성장량이 아주 낮게 나타났으며 성장범위도 15.5~36.3 mm로 조사되어 정상 주변의 들쭉나무의 수고 및 측지의 발달은 아주 작게 이루어지는 것으로 나타났다. 떡버들(*S. hallaisanensis*)은 한라산 정상부근에서는 암석지에 주로 자라며, 이 외의 고지대에서는 계곡 주변의 암석지에 주로 자란다. 잎의 생장은 6월 중순까지 이루어지나 5월 한달 동안에 대부분의 생장이 완료되었다. 성숙한 잎의 길이는 평균 42.0 mm이고, 엽폭은 평균 27.2 mm로 조사되었으며 엽병은 평균 9.3 mm로 나타났다. 또한 측지의 길이는 평균 35.6 mm가 일년에 성장하는 것으로 나타났다(Fig. 2-3). 돌매화나무(*D. lapponica* var. *obovata*)는 한라산 정상부근의 암벽에 부착하여 주로 자라며, 잎의 생장은 5월부터 7월 중순까지 주로 성장한다. 성숙한 잎은 길이가 평균 26.0 mm를 나타냈고, 엽폭은 평균 9.7 mm, 엽두께가 평균 0.33 mm, 엽병이 평균 2.47 mm로 조사되었고, 측지는 평균 17.65 mm, 두께가 평균 0.6 mm로 성장하는 것으로 나타났다.

4월 하순경에는 눈개쭉부쟁이(*A. hayatae*), 섬잔대(*A. taquetii*), 한라장구채(*S. fasciculata*) 등의 신초가 출현하면서 생장이 이루어지는데, 눈개쭉부쟁이는 정상부근의 암석지나 건조한 초지에 주로 자라며, 잎의 생장은 8월 하순까지 지속적으로 이루어지는데, 5월 상순부터 신초의 성장과 더불어 새로운 잎이 계속 출현하면서 성장하였다. 성숙한 잎은 엽장이 평균 13.8 mm를 나타냈고, 엽폭은 5.5 mm로 나타났다. 섬잔대는 백록담 서북정상 주변 등 나지에 주로 분포하는데, 잎은 5월 초순부터 7월말까지 성장하였으며, 7월 1일경부터 45일 동안 주로 성장하는 것으로 나타났다. 성숙한 잎의 엽장은 평균 22.1 mm(15.1~27.5 mm), 엽폭은 평균 10.3 mm(3.7~16.6 mm)

로 나타나 자이들 보였는데, 이는 이들 잎이 줄기의 부작된 부위에 따른 차이로써 줄기 중간부위에 잎의 크기가 가장 큰데 반하여 상층부위는 상대적으로 작기 때문에 나타난 것이다. 더욱이 엽폭의 범위폭이 45배 정도의 차이를 보이는 것은 줄기 상층부로 갈수록 피침형에 가까운 잎의 형태를 갖기 때문이다(Fig 2-2). 한라장구채는 한라산 정상부근의 암석지에 주로 자라며, 잎의 생장은 5월 초순부터 7월 초순까지 이루어지나 6월 초순부터 30일 동안에 주로 성장하는 것으로 나타났다. 성숙한 잎의 엽장은 평균 459 mm이고, 엽폭은 4.0 mm로 나타났으나, 엽장이 경우 최대 650 mm에서 최소 330 mm로 조사되어 큰 차이를 보였는데(Fig 2-1), 이는 각각의 잎의 출현 시기가 다르기 때문으로 판단된다. 땃대나무(*L. coerulea*)는 한라산 정상부근의 암석지에 주로 자라며, 잎의 생장은 4월 초순부터 8월 초순까지 이루어지나 6월 초순부터 45일 동안에 주로 성장한다. 성숙한 잎의 길이는 평균 275 mm이고, 엽폭은 평균 15.5 mm, 엽병은 2.5 mm로 나타났으며, 엽두께는 잎의 성장 단계에 관계없이 0.2~0.3 mm를 보였다(Fig 2-3).

5월에 접어들면서 한라돌쩌귀(*A. napiforme*), 백리향(*T. quinquecostatus*), 구름채꽃(*S. mansenensis*)의 신초형성이 시작된 후, 한라부추(*A. taquetii*), 제주달구지풀(*T. lupinaster* var. *alpinum*), 누메대극(*E. fauriei*), 구름송이풀(*P. verticillata*) 등의 신초형성이 시작된다. 한라돌쩌귀는 백록담 분화구의 남사면에 주로 자라는데, 잎은 8월 중순에 길이 성장이 끝났고, 주요 성장시기는 6월 중순에서 7월말까지 45일 정도 소요하였다. 성숙한 잎의 엽장은 평균 467 mm(32.0~60.0 mm)이고, 폭은 평균 42.0 mm(34.0~56.0 mm), 엽병은 13.3 mm로 나타났다. 또한 수고의 생장은 5월 초순부터 시작하여 8월말까지 성장하였고, 주요생장은 6월 초순부터 7월말까지 60일 사이에 대부분 이루어졌다(Fig 2-3). 백리향은 정상 부근의 건조한 초지에 주로 자라는데, 잎의 생장은 4월 중순부터 7월 초순까지 이루어지며 5월 중순부터 6월 중순까지 30일 동안 주로 성장하였다. 성숙한 잎의 엽장은 평균 8.3 mm이고, 엽폭은 평균 3.8 mm로 조사되었다(Fig. 2-2). 구름채꽃은 한라산 정상부근의 암석지에 주로 자라며, 잎의 생장은 5월 초순부터 7월 중순까지 이루어지며 6월 동안에 주로 성장한다. 성숙한 잎의 엽장은 평균 283 mm(70~160 mm)이고, 엽폭은 평균 10.7 mm(23.0~35.0 mm)로 나타났다(Fig. 2-2). 한라부추는 백록담 분화구내 기저부위에 주로 자생하는데, 4월 중순경에 잎의 생장이 시작되어 8월 중순경에 생장이 완료되었다. 주요 성장시기

는 6월 중순에서 7월 중순까지 30일 정도로 나타났다. 성숙한 잎의 엽장은 평균 213.8 mm(150~271 mm)이고, 엽폭은 평균 167 mm(15~18 mm), 엽두께는 평균 1.12 mm(1.1~1.2 mm)로 나타났다(Fig. 2-1). 제주달구지풀은 백록담 서쪽 정상일대 초지에 주로 자라는데, 잎은 호생하며 엽병이 짧고 장상복엽이며 소엽은 5개이고 양 끝이 뾰족하고 날카로운 거치가 있다. 잎의 생장은 5월 초순부터 시작하여 7월 초순까지 이루어진다. 6월중 대부분의 생장이 이루어지며, 성숙한 잎은 엽장이 평균 144 mm, 엽폭은 평균 5.6 mm로 나타났다(Fig. 2-1). 두메대극은 정상 부근의 초지에 주로 자라는데, 잎은 엽병이 없거나 평균 15 mm로 극히 짧은 특성을 갖는데, 잎의 생장은 5월 초순부터 7월 초순까지 이루어지나 6월 한달 동안 대부분 성장하는 것으로 나타났다. 성숙한 잎의 길이는 평균 12.2 mm이고, 엽폭은 평균 6.8 mm로 나타났다. 구름송이풀은 한라산 정상부근의 암석지에 주로 자라는데, 잎의 생장은 5월 초순부터 7월 초순까지 이루어지나 5월 중순부터 45일 동안 주로 생장이 이루어진다. 성숙한 잎의 길이는 평균 40.0 mm(27.0~67.0 mm)이고, 엽폭은 평균 22.3 mm(18~26 mm)로 나타났다(Fig. 2-2).

6월에 신초가 출현하는 식물으로는 백록담 서북정상 주변 등 나지에 주로 자라는 한라구절초(*C. zawadskii* ssp. *coreanum*)인데, 잎의 생장은 6월 초순부터 8월 중순까지 이루어지는 것으로 나타났다. 성숙한 잎은 엽장이 평균 15.6 mm, 엽폭은 평균 15.9 mm, 엽병은 14.3 mm까지 성장하였다. 그리고 성숙한 잎의 최대와 최소 범위는 엽장이 10.3~20 mm, 엽폭이 11.0~20.0 mm, 엽병이 11.0~16.0 mm를 보였다(Fig. 2-1).

이와 같이 초본류는 눈개쭈부쟁이, 제주달구지풀, 두메대극, 구름송이풀, 구름채꽃 등과 같이 잎이 포복형, 로제트형으로 이루어지는 식물이 많으며, 구름떡쭈, 한라솜다리 등과 같이 줄기의 생장도 왜소한 특성을 보였다. 목본류는 눈향나무, 시로미와 같은 포복성 또는 들쭈나무 같이 수고가 작은 관목성인 특성을 보였다. 또한 전체적으로 짧은 생장기간을 가졌는데, 이는 고지대의 환경이 저온 등에 의해 제한 받기 때문으로 판단된다(Larcher, 1995).

2) 개화주기

한라산 백록담일대 고산식물의 개화주기는 비교적 짧게 나타났는데 3월 하순부

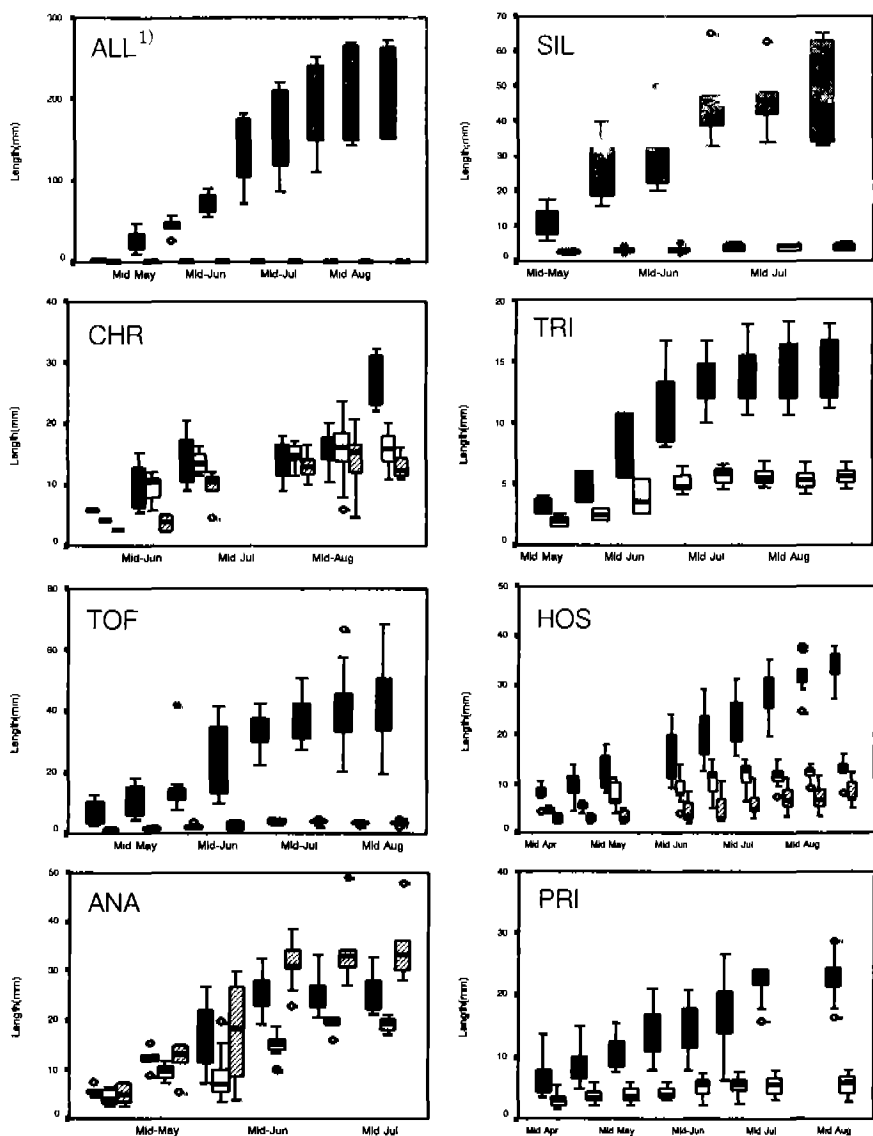


Fig. 2-1. Leaf growth patterns of alpine plants in the habitats of Mt. Halla, (1850~1950 m a.s.l.), 1998~1999.

¹⁾ALL : *Allium taquetii*, SIL : *Silene fasciculata*, CHR : *Chrysanthemum zawadskii* ssp. *coreanum*, TRI : *Trifolium lupinaster* var. *alpinum*, TOF : *Tofieldia fauriei*, HOS : *Hosta minor*, ANA : *Anaphalis sinica* ssp. *morii*, PRI : *Primula modesta* var. *fauriae*.

▣ : leaf length, □ : leaf width, ▨ : petiole length.

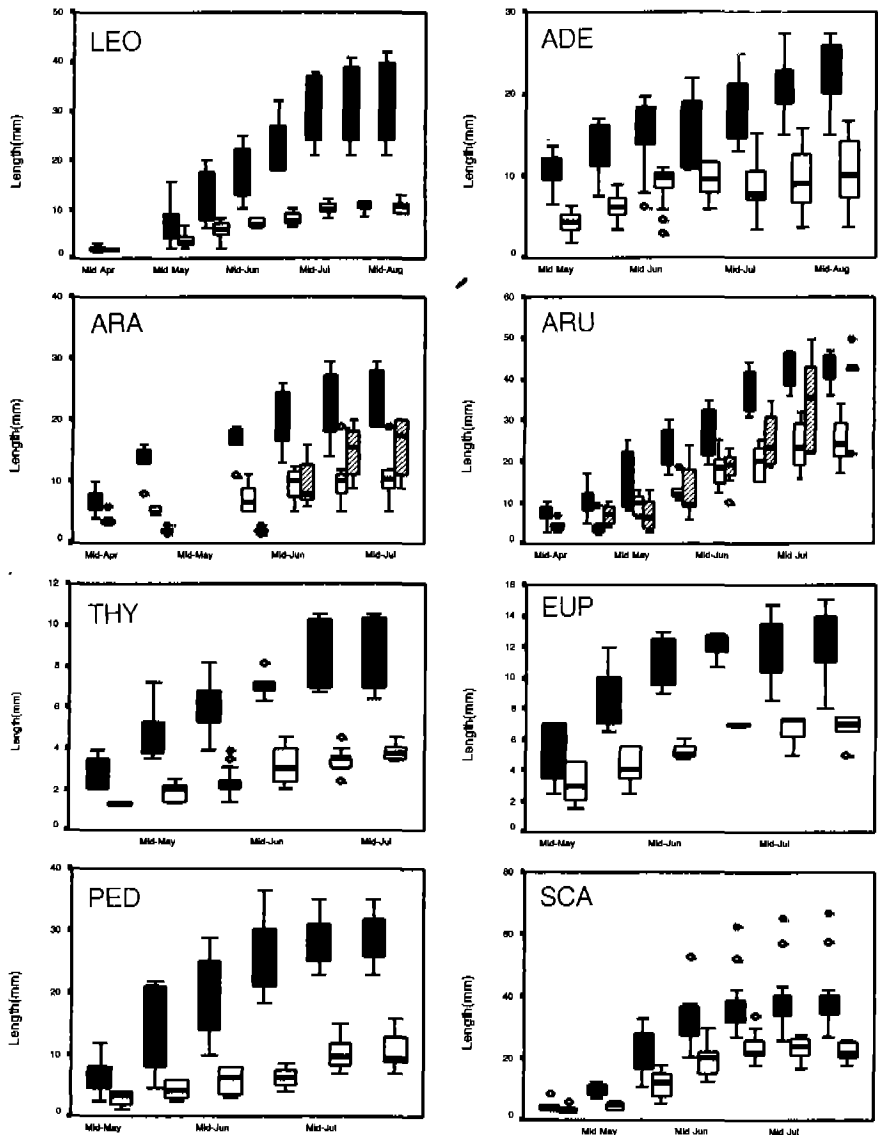


Fig 2-2. Leaf growth patterns of alpine plants in the habitats of Mt. Halla, (1850~1950 m a.s.l.), 1998~1999.

LEO : *Leontopodium hallaisanense*, ADE : *Adenophora taquetii*, ARA : *Arabis serrata* var. *hallaisanensis*, ARU : *Aruncus aethusifolius*, THY : *Thymus quinquecostatus*, EUP : *Euphorbia fauriei*, PED : *Pedicularis verticillata*, SCA : *Scabiosa mansenensis*.

■ : leaf length, □ : leaf width, ▨ : petiole length.

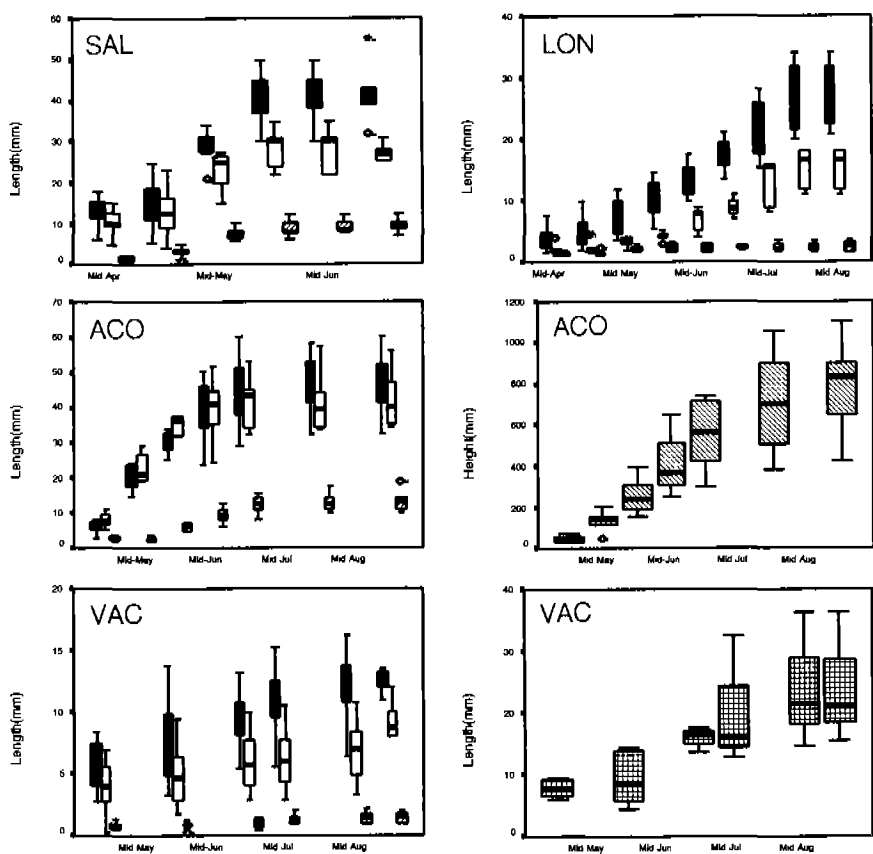


Fig. 2-3. Growth patterns of leaves, branch and height of alpine plants in the habitats of Mt. Halla(1850~1950 m a.s.l.), 1998~1999.

SAL : *Salix hallaisanensis* LON : *Lonicera coerulea* var. *edulis*,
ACO : *Aconitum napiformum*, VAC : *Vaccinium uliginosum*.

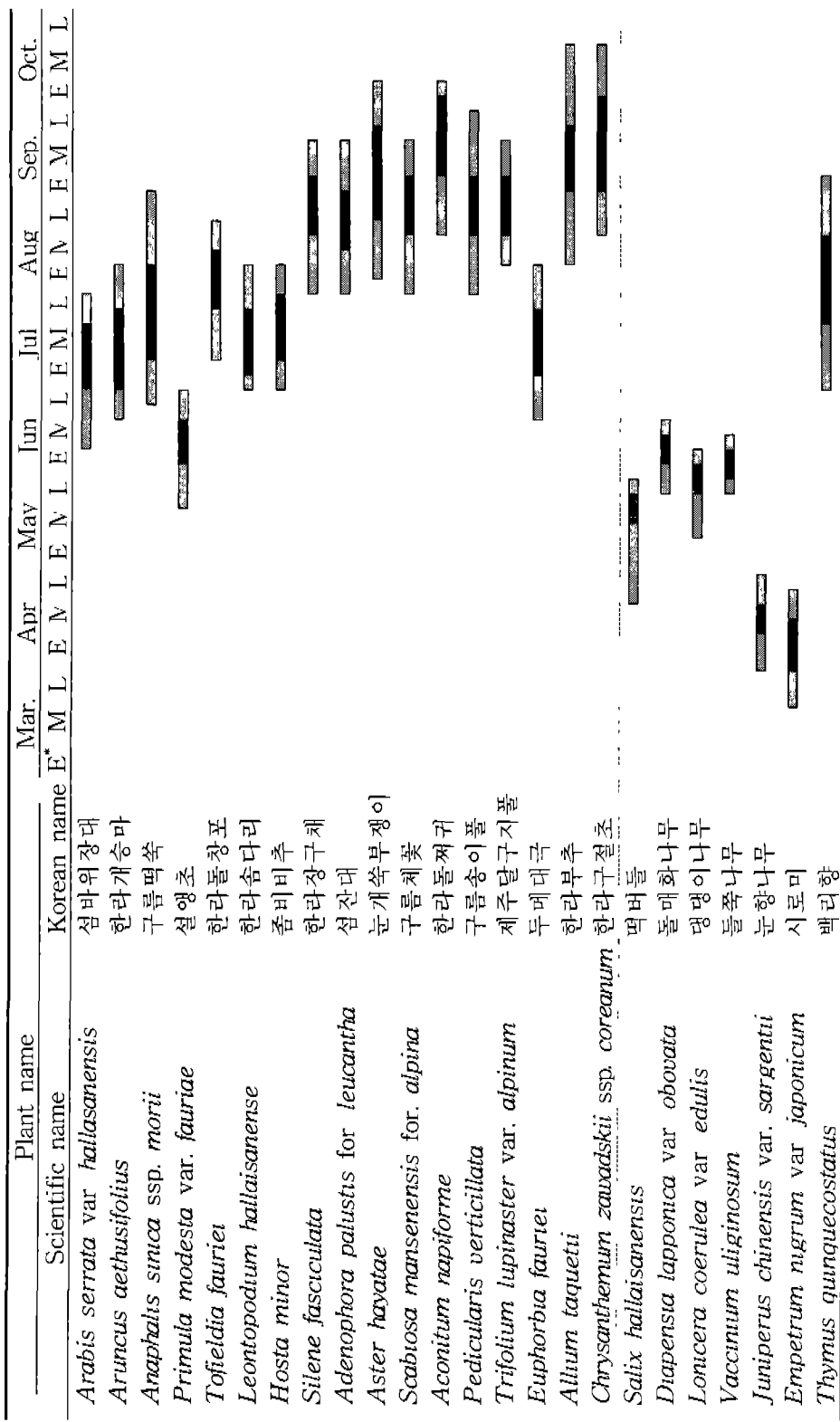
□ : leaf length, □ : leaf width, ▨ : petiole length, ▩ : height,
▤ : branch length.

터 시로미를 시작으로 8월 중순에 한라돌쩌귀, 한라구절초 등이 마지막으로 개화가 이루어진다(Fig. 3). 이들 고산식물의 개화주기를 식물별로 살펴보면, 떡버들 등 목본류가 4월 하순부터 개화가 이루어져 초본성 고산식물보다 개화시기가 전체적으로 먼저 이루어졌다. 그 중 떡버들이 4월 하순부터 관찰되었으나 개화기간은 10월 이내로 아주 짧게 나타났다. 냉대이나무 꽃은 5월 중순부터 6월 상순에 관찰되었고 5월 25일에서 6월 5일까지가 만개하는 시기로, 들쭉나무 꽃은 5월 25일에서 6월 15일 사이에 피며 6월 1일에서 10일 사이가 주로 만개시기로, 돌매화나무 꽃은 5월 25일경부터 6월 20일까지 관찰할 수 있으나 6월 5일에서 6월 15일에 주로 만개 하는 것으로 조사되었다.

초본성 고산식물 중에는 설앵초가 개화시기가 빨라서 5월 하순부터 개화되어 있어 생장이 왕성한 6월 5일에서 6월 20일까지 만개시기를 보였다. 6월에 개화가 시작된 식물은 구름떡쑥, 한라솜다리, 섬바위장대, 한라개승마, 두메대극 등으로 나타났다. 구름떡쑥 꽃은 6월 25일경부터 피기 시작하여 7월 중순에서 8월 상순까지 만개시기를 보였다. 한라솜다리 꽃은 6월 하순경에 피기 시작하여 8월 상순까지 볼 수 있는데, 7월 5일에서 7월 25일까지 만개를 보였다. 한라개승마 꽃은 6월 하순에서 8월 상순까지 피었고 7월 1일에서 7월 25일 사이가 만개시기로 나타났다.

한라산 고산식물의 대부분이 7~8월에 개화를 관찰 할 수 있었는데, 좀비비추 꽃은 7월 상순부터 개화하기 시작하여 8월 상순까지 볼 수 있는데, 80% 이상이 나타내는 시기는 7월 15일에서 7월 30일로 관찰되었고, 한라돌창포 꽃은 7월 중순경부터 개화가 시작되며 7월 5일에서 8월 10일 사이에 80% 이상이 개화되는 만개시기로 나타나 꽃이 피는 기간이 15일 전후로 아주 짧은 것으로 나타났다. 목본류인 백리향 꽃은 7월 상순에서 9월 상순까지 피는데 7월 1일에서 7월 20일까지가 만개시기로 나타났다. 8월에 개화하는 식물로는 섬잔대가 8월 상순부터 꽃이 피기 시작하여 8월 10일에서 8월 20일경에 만개되어 짧은 개화주기를 갖는다. 구름송이풀과 구름채꽃은 동일한 개화시기를 갖는데 8월 상순부터 9월 상순까지 피는데 8월 20일에서 9월 10일에 만개하이고, 개화시기는 15일 정도인 것으로 조사되었다. 한라장구채 꽃은 8월 상순부터 9월 중순까지 관찰되었으며 8월 20일에서 9월 10일 사이가 만개시기였으며, 눈개쭉부쟁이 꽃은 8월 상순부터 10월 상순까지 2개월 동안 관찰할 수 있는데, 만개시기는 8월 25일부터 9월 25일까지 었다. 제주달구지풀 꽃은 8월 중순부터 9월 중순까

Fig 3. Phenological diagrams for flowering of alpine plants in Mt Halla(1850~1950 m a.s.l.), 1998~1999



■ flowering periods, ■ full blooming periods *) E early, M : middle, L : late.

지 30일 동안 피며, 8월 20일에서 9월 10일까지 80% 이상이 개화되는 것으로 관찰되었다. 한라부추의 꽃은 8월 중순부터 개화가 시작되며 9월 5일에서 9월 25일 사이에 80% 이상이 개화된 반개시기로 나타났다. 한라돌쩌귀 꽃은 8월 하순부터 개화가 시작되며 9월 15일에서 10월 5일 사이에 80% 이상이 개화된 시기로 나타났으며, 한라구절초의 꽃은 8월 하순경에 개화가 시작되며 9월 5일에서 10월 5일 사이에 80% 이상이 개화되었으며, 꽃이 피는 기간은 30일 정도인 것으로 나타났다.

이처럼 고산식물은 비교적 한정된 지역에서도 개화주기가 다양한 특성을 보였고(Bahn and Körner, 1987), 특히 눈향나무와 시로미와 같은 목본류는 Fig. 1과 비교할 때 잎의 생장이 시작되기 이전에 개화가 이루어져 전해에 화기형성이 이루어진후 겨울이 지나면서 즉시 개화하는 것으로 나타났다(Larcher, 1995).

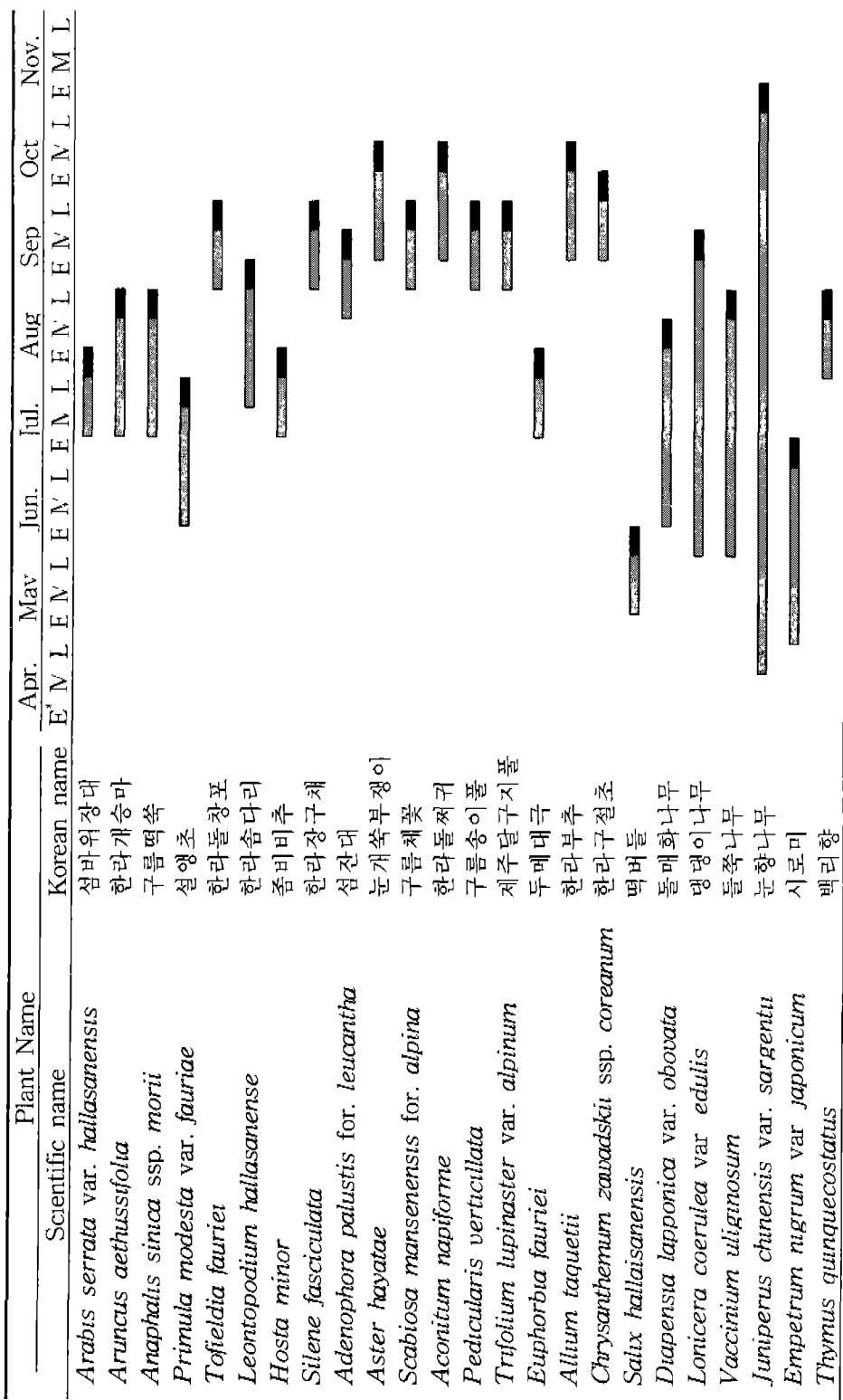
3) 결실주기

백록담일대의 대부분 초본성 고산식물은 종자가 성숙하는데 1개월 정도 소요되어 짧은 기간의 종자 발달 시기를 갖는 것으로 나타났다(Fig 4).

이들 종자 발달 시기를 식물별로 살펴보면, 설앵초 종자는 6월 중순부터 발달하기 시작하여 7월 하순경에 대부분 성숙하는 것으로 나타났다. 섬바위장대 종자는 6월 중순부터 발달하기 시작하여 8월 상순에 성숙하였고, 좀비비추, 한라개송마, 두메대극 및 백리향의 종자는 7월 중순부터 발달하기 시작하여 8월 중하순에 성숙하는 것으로 관찰되었다. 구름떡쑥과 한라솜다리 종자는 7월 하순부터 발달하기 시작하여 9월 상순에 성숙하는 것으로 나타났다. 섬잔대 종자는 8월 중순부터 발달하기 시작하여 9월 중순경에 대부분 성숙하여, 종자가 성숙하는데 20일 정도의 기간이 소요 되었으며, 눈개쑥부쟁이 종자발달은 8월 중순부터 시작하여 10월 중순에 성숙하는 것으로 관찰되었다. 한라돌창포, 제주달구지풀, 구름송이풀, 구름채꽃 및 한라장구채 종자는 9월 상순부터 발달하여 9월 하순이면 성숙하여 30일 정도가 소요되는 것으로 조사되었다. 한라부추, 한라돌쩌귀 및 한라구절초 종자는 9월 중순부터 발달하기 시작하여 10월 중순경에 대부분 성숙하여, 종자가 성숙하는데 20~30일 정도의 기간이 소요되었다

목본성 고산식물인 경우, 땃대이나부 종자는 6월 상순부터 9월 중순까지 110일 정도가 소요되었으며, 들쭉나무 종자의 성숙시기는 6월 상순부터 8월 하순까지 3개월이 소요되었다. 떡버들 종자는 6월 중순부터 7월 하순까지 45일 정도 소요되어 비교

Fig. 4 Phenological diagrams for seed developing and ripening of alpine plants in Mt Halla(1850~1950 m a.s.l.), 1998~1999.



□ : developing periods, ■ : ripening periods. * E : early, M : middle, L : late

적 짧은 발달시기를 가졌으며, 돌매화나무 종자는 6월 하순부터 발달하기 시작하여 8월 중순에 성숙하는 것으로 조사되었다

3-3. 고산식물의 성장과 환경요인과의 상관

자연상태 하에서 고산식물의 성장속도는 잎의 형태에 따라 뚜렷한 차이를 보였다. 즉, 한라부추, 한라구절초, 좀비비추, 한라돌창포 같이 선형이거나 잎이 작은 식물은 변이폭이 낮을 뿐만 아니라 성장속도도 낮게 관찰되었다. 이에 반하여 한라돌쩌귀, 섬잔대와 같은 비교적 잎이 넓은 식물은 성장속도가 빠르고 변이폭도 크게 나타났다(Fig. 5). 고산식물의 성장과 기온 및 상대습도와의 관계를 알아본 결과, 식물에 따라 차이를 보였으나, 엽면적의 성장에 있어 온도와 밀접한 상관을 보이고 상대습도와는 보다 낮은 상관을 보였다. 한라부추, 제주달구지풀, 섬잔대, 설앵초, 한라솜다리, 섬바위장대, 한라개승마, 두메대극, 구름송이풀, 구름채꽃, 땃대이나무 등이 온도와 높은 상관을 보였으며, 그 중에 한라부추, 섬잔대, 설앵초, 한라솜다리, 구름채꽃, 땃대이나무 등은 상대습도와의 높은 상관을 보였다(Table 5). Table 4와 같이 자생지에서는 비교적 높은 상대습도가 항상 유지되고 있어, 고산식물의 생장은 온도와 동조성이 높은 것으로 나타나 온도 변화가 성장에 중요한 환경요인으로 작용하는 것으로 보인다

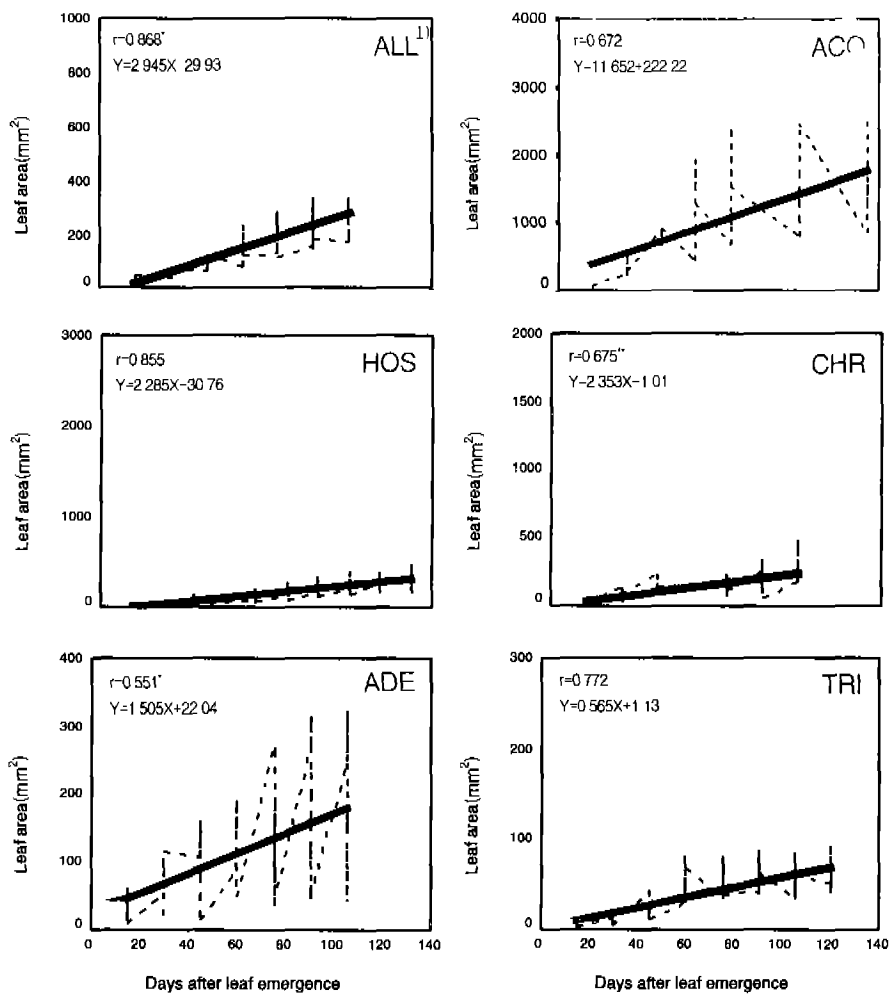


Fig. 5. Leaf area changes of alpine plants during growing seasons in the habitats of Mt. Halla(1850~1950 m a.s.l.), 1998~1999.

¹⁾ Each abbreviation was described at Fig. 2-1 to 2-3.

^{**} Significant at the 0.01%(2-tailed).

Table 5. Correlation of environmental factors and leaf growth in alpine plants in Mt. Halla(1850~1950 m a.s.l)

Plant name		Factors ¹⁾	Leaf		
Scientific name	Korean name		area	length	width
<i>Arabis serrata</i> var. <i>hallaisanensis</i>	섬바위장대	T	.833*	.992**	.799
		H	.657	.512	.648
<i>Aruncus aethusifolius</i>	한라개승마	T	.771*	.882**	.717*
		H	.534	.655	.423
<i>Anaphalis sinica</i> ssp. <i>morii</i>	구름떡쑥	T	.598	.713*	.494
		H	.598	.514	.580
<i>Primula modesta</i> var. <i>fauriae</i>	설앵초	T	.960**	.953**	.939**
		H	.767	.890**	.709
<i>Tofieldia fauriei</i>	한라돌창포	T	.463	.544	.521
		H	.191	.290	.252
<i>Leontopodium hallaisanense</i>	한라솜다리	T	.915**	.911*	.936**
		H	.713*	.972**	.664
<i>Hosta minor</i>	좀비비추	T	.077	.068	.038
		H	.544	.537	.346
<i>Adenophora taquetii</i>	섬잔대	T	.853*	.858*	.834*
		H	.757*	.801*	.720
<i>Scabiosa mansenensis</i> for. <i>alpina</i>	구름채꽃	T	.861*	.881**	.763*
		H	.851*	.807*	.753
<i>Aconitum napiforme</i>	한라돌쩌귀	T	.610	.662	.629
		H	.404	.474	.415
<i>Pedicularis verticillata</i>	구름송이풀	T	.945**	.745	.902*
		H	.841*	.615	.853*
<i>Trifolium lupinaster</i> var. <i>alpinum</i>	제주달구지풀	T	.753*	.792*	.670
		H	.484	.611	.399
<i>Euphorbia fauriei</i>	두메대극	T	.886*	.682	.941*
		H	.733	.555	.790
<i>Allium taquetii</i>	한라부추	T	.957**	.947**	.767*
		H	.771*	.778*	.564
<i>Chrysanthemum zawadskii</i> ssp. <i>coreanum</i>	한라구절초	T	.415	.327	.262
		H	.556	.282	.522
<i>Lonicera coerulea</i> var. <i>edulis</i>	댕댕이나무	T	.926**	.956**	.924**
		H	.760*	.669*	.730*
<i>Vaccinium uliginosum</i>	들쭉나무	T	.808	.930**	.784
		H	.296	.565	.299
<i>Thymus quinquecostatus</i>	백리향	T	.674	.683	.691
		H	.648	.575	.623

** Significant at the 0.01 level (2-tailed).

* Significant at the 0.05 level (2-tailed).

¹⁾ T : air temperature, H : relative humidity.

4. 적 요

한라산 백록담일대의 고산식물은 전체적으로 4월 초순부터 생장이 시작되어 8월 중순까지 이루어졌다. 그러나 잎의 생장시기는 6월에 집중적으로 이루어지며, 잎의 주요 생장일수는 30~60일 사이로 나타나 비교적 짧은 생장시기를 갖고 있었다. 개화시기는 10~30일로 비교적 짧게 나타났는데, 3월 하순에 시로미를 시작으로 8월 중순에 한라돌쩌귀, 한라구절초 등이 개화가 이루어졌다. 대부분 초본성 고산식물의 종자가 성숙하는데 30일 정도의 기간이 소요되어 비교적 짧은 종자 발달 시기를 갖는 것으로 나타났다. 대부분 고산식물의 생장은 온도 및 상대습도와 밀접한 관계를 갖고 있었으며 자생지에서는 비교적 높은 상대습도가 항상 유지되고 있어 온도 변화가 고산식물의 생장에 중요한 환경요소로 작용하였다.

IV. 한라산 고산식물의 저지대 환경에 대한 적응성

1. 서 론

식물의 생장은 유전적 요인 뿐만 아니라 그 식물이 자라고 있는 환경에 의하여 많은 영향을 받는다. 동일종이라 할지라도 그들이 처해있는 환경조건 즉, 온도, 수분, 광선, 토양, 고도, 바람 등의 환경요인과 주변 식생과 같은 생물학적 요인에 의하여 생장상태가 크게 달라진다(Beatly, 1974; Weaver and Clements, 1966). 뿐만 아니라 식물들은 개체를 유지하고 번식해 나가기 위해서는 외적 환경요인에 적응할 수 있도록 형태적 변화는 물론 생리적 활성도 달라진다(Mooney and Billings, 1965). 따라서 서로 다른 지역에서 동일한 환경으로 옮겨져 재배하여도 형태적 및 생리적 차이를 나타내기도 한다. 환경에 대한 식물의 반응은 광수준에 따른 광합성이나 온도에 따른 증산 또는 효소가 조절하는 반응 등은 환경이 변할 때 즉시 변한다. 이에 반하여 환경변화에도 불구하고 기공개폐와 광합성의 상관성이나 생장조절물질의 체내 농도 등은 변화가 미미하여 식물체내 조건을 일정하게 유지하는 항상성을 갖기고 한다.

한편, 일반적으로 저지대보다 고산으로 갈수록 식물의 분포상태가 달라지고 뚜렷한 형태적 변화가 일어난다(Seifriz, 1935). 그리고 해발고에 따라 특징적인 생태적 변천이 이루어지며(정, 1969), 고도가 높아짐에 따라 왜성화되는 경향이 있다. 고산식물은 저지대식물에 비하여 유전적으로 낮은 생장률을 갖고 있으며 엽장이 감소하는데 반해 두께나 밀도가 증가하는 특성을 가지고 있다(Atkin *et al.*, 1996). 또한 유형이나 양적인면에서 저지대 식물과는 다른 cuticular wax를 가지고 있어 강한 광을 차단하고 수분 손실을 막는다(Pilon *et al.*, 1999). 이러한 특성은 저온이나 강한 직사광선 등 극한 환경에 자라기 때문이며 이로인하여 저지대 식물에 비하여 환경 적응성이 높은 것으로 알려져 있다. 그러나 고산식물의 자원화나 유전자원으로 활용하기 위한 선결 과제는 저지대 환경에 대한 적응성이라 할 수 있는데, 이들 고산식물의 저지대

에서의 생장특성에 관한 연구는 미흡한 실정이다. 더욱이, 한라산에는 59종의 고산식물이 있고 이중 75.3%가 관상용 또는 약용 등 유용식물로 알려져 있을 뿐만 아니라 고산식물 중에는 특산식물이 많고 멸종위기에 처한 것도 다수 포함되어 있어, 한라산 고산식물의 종 보존 및 유전자 보존 대책으로 이들의 저지대 환경에 대한 적응성에 관한 연구가 시급하다 그리고 자원적 가치가 높은 고유한 자생식물을 자원화 할 수 있는 연구가 수반되어야 한다 이를 위하여 대량생산을 위한 번식법의 개발과 더불어 생태규명, 개화생리와 영양생리 등에 대한 연구가 필요하다 하겠다.

이에 본 연구는 고산식물의 보존 및 자원화 방안을 모색하기 위하여 고산식물의 생육특성 및 저지대 환경에 대한 적응성 등을 규명하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2-1. 저지대 환경에서의 고산식물 생육특성 조사

1) 연구재료

고산식물의 환경적응성을 알아보기 위하여 비교적 저지대에 잘 자라는 것으로 관찰된 다음의 초본류 7종을 대상으로 조사하였다.

한라부추 (*A. taquetii*), 한라돌쩌귀 (*A. napiforme*), 한라구절초 (*C. zawadskii* ssp. *coreanum*), 한라돌창포 (*T. fauriei*), 좀비비추 (*H. minor*), 제주달구지풀 (*T. lupinaster* var. *alpinum*), 섬잔대 (*A. taquetii*)

2) 실험조건

저지대에서의 고산식물의 환경적응성을 알아보기 위하여 해발 150 m에 위치한 제주도 수목시험소 온실에서 자라는 고산식물을 대상으로 실시하였다. 온도 및 상대습도는 온실에 설치된 전자식자기온습계에 기록된 측정치를 자생지에서와 동일한 방법으로 1997년에서 1998년까지 자료를 분석하여 이용하였다.

3) 생장량 조사

생장량 조사를 위하여 1997년 온실에 생육중인 고산식물 중 비교적 생장량이 균등한 식물을 5~10개체씩 선택하여 표지한 뒤 1998년 3월부터 1999년 8월말까지 표지된 식물체를 중심으로 생육상황을 조사하였다. 잎의 생장은 자생지에서의 측정방법과 동일하게 실시하였다.

4) 개화 및 결실주기 조사

개화주기 및 결실주기 조사는 자생지와 동일한 방법으로 실시하였다. 즉, 개화율이 80% 이상일 때를 만개시기로, 종자가 흑색으로 변환된 후는 성숙단계로 규정하여 조사하였다.

5) 생장과 환경요인과의 상관분석

온실에서 측정 한 온도와 상대습도 자료를 생장량 조사시기와 동일한 15~20일 간격으로 구분하여 평균값을 산출한 뒤 생장량과의 상관관계를 분석하였다 모든 분석은 SPSS통계 package(SPSS Inc., Release 7.5, 1996)를 이용하여 분석하였다

2-2. 고산식물의 증식

1) 연구재료

고산식물 중 한라부추(*A. taquetii*), 한라돌쩌귀(*A. napiforme*), 한라구절초(*C. zawadskii* ssp *coreanum*), 한라솜다리(*L. hallaisanense*), 구름채꽃(*S. mansenensis* for *alpina*) 등을 선택하여 1997년 종자를 채종한 뒤 실온에 보관하면서 발아시험에 이용하였다 또한, 시로미(*Empetrum nigrum* var. *japonicum*), 눈향나무(*Juniperus chinensis* var. *sargentii*), 제주산버들(*Salix blinii*) 등은 삼복시험을 실시하여 증식 및 저지대에서의 환경적응성 조사를 실시하였다.

2) 발아실험

발아시험은 1997년 채종한 종자를 다음해 3월에 기내 및 온실내 포지상에 파종하여 각각의 발아율을 조사하였다. 기내발아는 petri dish에 여과지 2장을 깔고 종자를 30립씩 3반복으로 파종한 후 수분을 충분히 유지키면서 25±2℃의 온도와 2,500 lux의 형광등 하에서 광주기가 16/8시간 조건에서 실시하였다 포지상의 발아시험은 vermiculite : peatmoss : perlite가 동일한 부피로 혼합된 배양토에서 각각의 시험구 별로 종자 100립씩 3반복으로 파종한 뒤 수분을 충분하게 유지시키면서 실시하였다. 각각의 발아율은 10일 간격으로 조사하였다

3) 삼복시험

삼복은 1997년 5월 자생지에서 채취한 후 삼수를 일정한 크기로 제조하여 vermiculite : peatmoss : perlite가 동일한 부피로 혼합된 배양토에서 실시하였다 식물생장조절물질에 따른 발근효과를 알아보기 위하여 IBA, NAA가 각각 0.1, 0.5, 1.0

mg/l 용액에 5분 동안 침전시킨 후 실시하였다. 삽목상은 수분이 충분하게 유지되도록 하였으며, 일년 후 발근율, 1차 근수와 길이, 신초길이 등을 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

3 1. 고산식물의 저지대 환경에 대한 적응성

저지대에서의 개화시기와 종자결실 등 생식생장과 관련된 형질, 그리고 영양생상단계에서 식물체의 길이, 형태적 특징 등을 조사하여, 자생지에서 자라는 식물과 비교하였다. 환경적응성은 연평균 온도가 20.6℃로 자생지보다 17℃가 높게 유지되고 상대습도는 평균 74%로 비교적 높게 유지되는 해발 150 m에 위치한 온실에서 조사하였다(Table 6). 이들 온실내 환경 조건은 Table 4의 자생지와 비교할 때 습도는 유사한 반면 온도는 높게 유지되어 고온에 의한 고산식물의 적응성을 알아보는데 더욱 효과적인 것인 것으로 판단되었다.

1) 저지대에서 잎 생장

해발 150 m에 위치한 온실내에서 고산식물의 환경적응성을 알아보기 위하여 잎생장량을 측정한 결과(Fig. 6, 7), 좀비비추는 3월 상순부터 신초가 형성되기 시작하였고, 이후 3월 중순부터 한라돌쩌귀, 한라돌창포, 한라부추가, 4월 초순에 제주달구지풀, 섬잔대의 신초가 출현하였다. 좀비비추의 잎은 4월에 주로 생장하였으며 5월 중순경에 대부분의 생장이 완료되었다. 성숙한 잎의 길이는 평균 62.4 mm, 엽폭은 평균 34.5 mm, 엽병은 평균 44.4 mm로 나타났다. 한라돌쩌귀 잎의 생장은 3월 중순부터 시작하여 8월 중순까지 지속적으로 생장하였는데, 잎의 생장은 4월 초순에 제 1~3엽의 길이생장이 완료되었으며, 이후 새로운 잎이 출현하면서 6월 중순까지 지속적으로 생장하는 특성을 보였다. 4월 중순부터 6월 초순까지 45일 동안 주로 생장하였다. 성숙한 잎의 길이는 평균 49.6 mm, 엽폭은 평균 58.3 mm, 엽병은 평균 66.7 mm로 나타났다.

한라부추 잎의 생장은 4월 초순부터 시작하여 8월 중순까지 지속적으로 생장하였다. 성숙한 잎의 길이는 평균 291.7 mm이고, 엽폭이 평균 2.5 mm, 엽두께가 평균 1.5 mm로 나타났다. 섬잔대 잎의 생장은 4월 초순부터 6월 초순까지 길이생장이 이루어졌는데, 엽폭의 경우 5월 초순에 길이생장이 완료되었다. 성숙한 잎의 길이는 평균 42.3 mm, 엽폭은 평균 29.6 mm, 엽병은 평균 37.5 mm로 나타났다. 제주달구지풀

Table 6. Air temperature and relative humidity in the green house(150 m, a.s.l.)

Factors ¹⁾	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Annual
Mean	17.3	18.6	16.9	18.0	21.1	23.8	28.0	26.9	22.1	19.1	17.2	18.2	20.6
T(°C)													
Min.	10.0	10.5	8.9	9.8	7.0	15.9	22.3	19.5	13.8	11.5	8.4	12.0	7.0
Max.	26.0	29.0	28.5	41.9	31.8	32.2	36.5	36.2	32.0	29.0	35.0	27.0	41.9
Mean	68.2	69.8	70.3	79.2	74.2	80.7	78.4	75.8	73.1	78.3	73.8	66.9	74.1
H(%)													
Min.	38.0	40.0	6.0	43.0	33.0	41.0	48.0	48.0	37.0	35.0	30.0	43.0	6.0
Max.	94.0	93.0	97.0	94.0	92.0	93.0	92.0	92.0	86.0	92.0	93.0	91.0	97.0

¹⁾ T : air temperature, H : relative humidity.

Each factors measured in the green house(150 m, a.s.l.)

Fig. 6. Phenological diagrams for leaf growth of alpine plants in the green house(150 m a.s.l.), 1998~1999.

Plant name		Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.
Scientific name	Korean name	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 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 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 E M L E M L E M L
<i>Hosta minor</i> .	쑤비비추						
<i>Aconitum napiforme</i>	한라돌쩌귀						
<i>Tofieldia fauriei</i>	한라돌창포						
<i>Trifolium lupinaster</i> var. <i>alpinum</i>	제주달구지풀						
<i>Adenophora taquetii</i>	섬잔대						
<i>Allium taquetii</i>	한라부추						
<i>Chrysanthemum zawadskii</i> ssp. <i>coreanum</i>	한라구절초						

*) E : early, M : middle, L : late

Each bar was represented leaf growth in the green house(: growth phase, : senescence phase).

Each line was represented leaf growth in Mt. Halla(: lag phase, : log phase, : senescence phase)

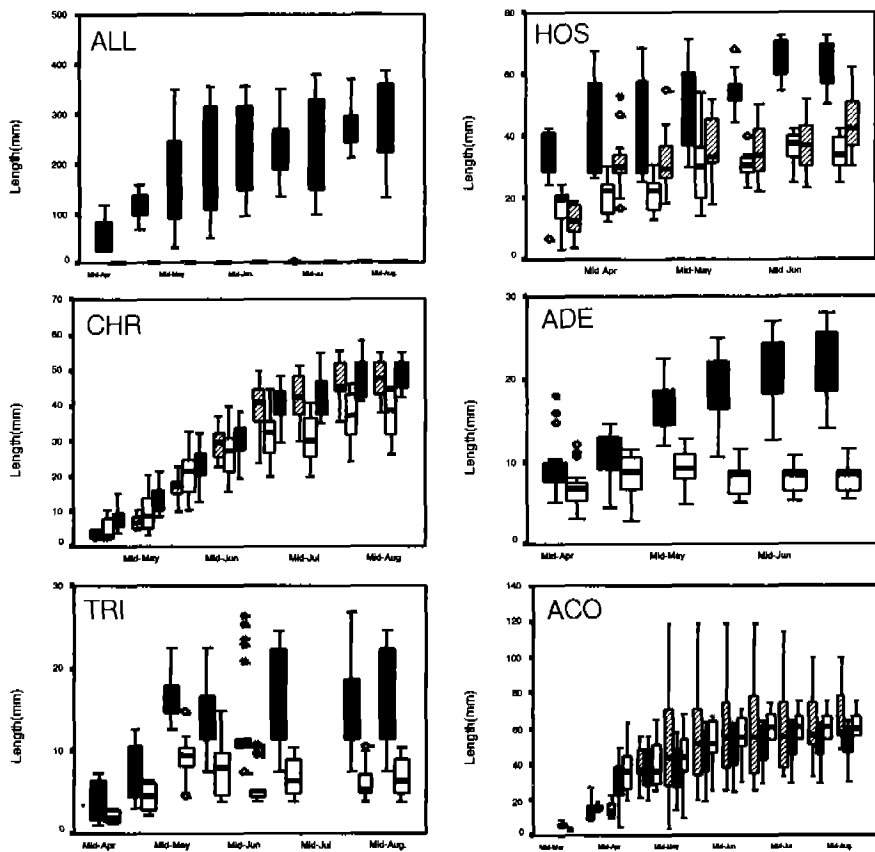


Fig. 7. Growth patterns of leaves and height alpine plants in the green house (150 m a.s.l.), 1998~1999.

Each abbreviation was described at Fig. 2-1 to 2-3.

□ : leaf length, □ : leaf width, ▨ : petiole length, ▩ : height.

잎의 생장은 4월 초순부터 시작하여 7월 초순에 대부분의 길이생장이 완료되었다. 성숙한 잎의 엽장은 평균 16.3 mm, 엽폭이 평균 6.6 mm로 나타났고, 성숙한 잎의 길이는 평균 15.0 mm, 엽폭은 8.2 mm로 나타났다. 한라구절초 잎의 생장은 4월 하순부터 시작하여 7월 하순까지 성장하였으며, 5월 중순에서 7월 초순까지 주로 생장이 이루어졌다. 성숙한 잎의 엽장은 평균 47.5 mm이고, 엽폭은 37.1 mm, 엽병은 47.6 mm로 나타났다.

이와 같이 잎의 성장 pattern은 Fig. 1과 같이 자생지에서는 lag phase, log phase, senescence phase인 3단계의 구분이 뚜렷한데 비하여 저지대에서는 lag phase가 없이 growth phase와 senescence phase인 2단계로 성장하는 특성을 보였다. 또한, 저지대에서의 고산식물 대부분은 자생지에 비해 30~50일 정도 일찍 신초가 발생하였으며, 잎은 계속하여 출현함으로서 자생지에 비해 상대적으로 높은 변이폭을 갖는 특성을 보였다.

2) 저지대에서 고산식물의 개화 및 결실주기

좀비비추 등 7종의 고산식물을 대상으로 저지대에서 개화특성을 조사한 결과 (Fig. 8), 좀비비추, 제주달구지풀, 섬잔대, 한라돌창포 등이 7~8월에 꽃이 피었는데 개화시기가 20~30일 정도를 나타냈다. 그러나 한라돌쩌귀, 한라부추, 한라구절초 등은 9월에 꽃이 피었는데 30일 정도의 개화시기를 보였다. 그러나 제주달구지풀은 7월 중순부터 개화가 시작하여 7월 하순경에 만개시기로 나타났으나 개화정도는 아주 낮게 관찰되었다. 또한, 섬잔대는 7월 중순부터 개화가 시작되어 7월 하순에는 개화가 종료되어 자생지에 비해 개화시기가 아주 짧은 특성을 보였다. 그리고 한라부추는 9월 상순부터 시작하여 10월 상순까지 피는데, 10월 하순경 10여일 동안 만개시기로 관찰되었다. 개화시기는 한라구절초, 한라부추는 저지대에서 자생지보다 30일 정도 늦게 개화하였다. 반면, 제주달구지풀은 저지대에서 자생지보다 30일 정도 일찍 개화하였으며, 섬잔대는 15일 정도 저지대에서 일찍 개화되었다. 그리고 저지대에서 꽃이 달리는 기간이 짧을 뿐만 아니라 꽃의 밀도도 낮게 나타났는데, 이는 고산식물이 저지대로 옮겨올 때 꽃의 밀도가 급격히 감소하는 특성을 갖는 것으로 판단된다 (Stenstrom *et al.*, 1997).

저지대에서 고산식물의 종자 발달은 좀비비추가 7월 하순부터 발달하기 시작하

Fig. 8. Phenological diagrams for flowering of alpine plants in the green house(150 m a.s.l.), 1998 ~ 1999

Plant name		Jun.			Jul.			Aug.			Sep.			Oct.		
Species	Koreana name	E	M	L	E	M	L	E	M	L	E	M	L	E	M	L
<i>Hosta minor</i>	좁비비추															
<i>Aconitum napiforme</i>	한라돌쩌귀															
<i>Tofieldia fauriei</i>	한라돌창포															
<i>Trifolium lupinaster</i> var. <i>alpinum</i>	제주달구지풀															
<i>Adenophora taquetii</i>	섬잔대															
<i>Allium taquetii</i>	한라부추															
<i>Chrysanthemum zawadskii</i> ssp. <i>coreanum</i>	한라구절초															

*1) E : early, M : middle, L : late.

Each bar was represented flowering in the green house(■ : flowering periods, ■ - full blooming periods).
Each line was represented flowering in Mt. Halla(— : flowering periods, — : full blooming periods).

이 8월 하순에 성숙하여 내상 식물 중 가장 이른 시기에 종자가 완숙하였으며, 섬잔대 종자는 7월 하순부터 발달하기 시작하여 8월 하순이며 완숙한 단계로 접어들었다. 한라돌쩌귀 종자는 8월 중순부터 발달하기 시작하여 9월 중순에 성숙하였으며, 한라부추는 9월 중순부터 발달하기 시작하여 10월 하순에 종자가 성숙하였다. 한라부추는 10월 중순부터 종자가 발달하기 시작하여 11월 중순에 성숙하는 것으로 관찰되었다 (Fig. 9). 이처럼 저지대보다는 자생지에서가 종자발달시기가 짧은 것으로 나타났다.

3) 생장과 환경요인과의 상관

고산식물의 생장속도는 자생지에서는 잎의 형태에 따라 뚜렷한 차이를 보인 반면 저지대에서는 잎의 형태에 관계없이 생장속도가 빨랐으며, 변이폭이 아주 크게 나타났다(Fig. 10). 이처럼 변이폭이 크게 나타나는 것은 지속적으로 온도가 높게 유지됨으로서 신초가 계속 발생하는대서 초래된 것으로 판단된다.

해발 150 m의 온실에서 자라는 고산식물인 경우 한라돌쩌귀, 한라구절초 등은 온도와 높은 유의성을 보이는 반면 상대습도와는 유의성이 없는 특성을 보였다 (Table 7). 그리고 Table 5의 자생지에는 제주달구지풀, 섬잔대, 한라부추 등이 온도와 밀접한 관계가 있는 것으로 나타난 반면 저지대에서는 온도와 유의성이 없는 것으로 나타난 것은 저지대에서는 Table 4와 같이 이른 봄부터 비교적 높은 온도가 계속 유지되기 때문으로 판단된다. 이와 같이 자생지인 경우 온도와 생장과는 동조성이 높은 반면 저지대에서는 낮은 것으로 나타났다.

3-2. 발아 및 무성증식 특성

고산식물들 중에는 자원적 가치가 높아 체계적인 자원화 방안의 모색 또는 개발이 요구되고 있으나, 자생지에서의 무분별한 채취와 환경변화로 인하여 고산식물 자원이 점차 감소하고 있다. 이에 고산식물의 번식을 위하여 발아특성을 조사하였다 (Fig. 11). 그 결과, 기내에서의 발아율은 한라부추가 평균 91.2%, 한라돌쩌귀가 평균 76.1%, 한라구절초가 평균 73.0%, 한라습다리가 71.8%로 비교적 높은 발아능력을 보였다. 인공토양을 이용한 파종상에는 평균 20~30%로 기내발아율 보다 낮게 나타났다. 이에 반하여 시로미, 눈향나무 등 목본류는 평균 50% 이하의 발아율을 보여 무

Fig. 9. Phenological diagrams for seed developing and ripening of alpine plants in the green house(150 m a.s.l.) 1998~1999.

Scientific name	Plant name	Jul.			Aug.			Sep.			Oct.			Nov.			Dec.		
		E	M	L	E	M	L	E	M	L	E	M	L	E	M	L	E	M	L
<i>Hosta minor</i>	줄비비추																		
<i>Aconitum napiforme</i>	한라돌쩌귀																		
<i>Tofieldia fauriei</i>	한라돌창포																		
<i>Trifolium lupinaster</i> var. <i>alpinum</i>	제주달구지풀																		
<i>Adenophora taquetii</i>	섬잔대																		
<i>Allium taquetii</i>	한라부추																		
<i>Chrysanthemum zawadskii</i> ssp. <i>coreanum</i>	한라구절초																		

*) E : early, M : middle, L : late.

Each bar was represented seed development in the green house(▨ : developing periods, ▩ : ripening periods)
Each line was represented seed development in Mt. Halla(— : developing periods, — : ripening periods).

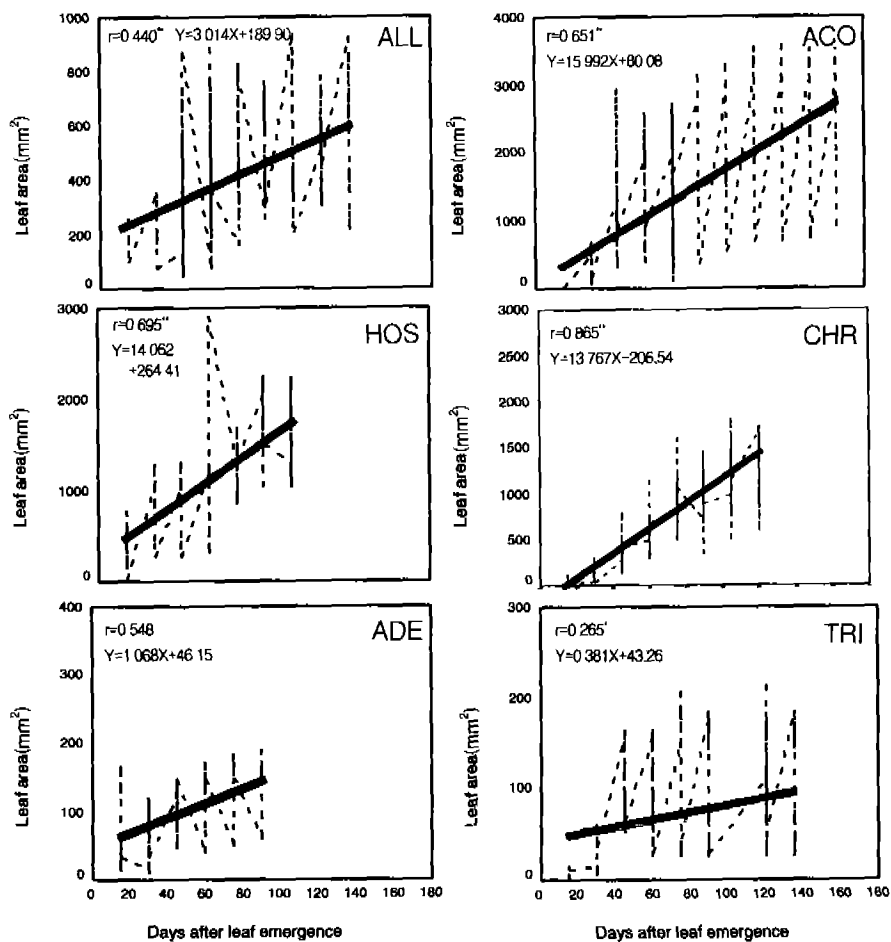


Fig. 10. Leaf area changes of alpine plants during growing seasons in the green house(150 m a.s.l.), 1998~1999.

¹⁾ Each abbreviation was described at Fig. 2-1 to 2-3.

^{**} Significant at the 0.01%(2-tailed).

Table 7 Correlation of environmental factors and leaf growth in alpine plants in the green house(150 m a.s.l.)

Plant name		Factors ¹⁾	Leaf		
Scientific name	Korean name		area	length	width
<i>Hosta minor</i>	좀비비추	T	.725	.796	.648
		H	.258	.127	.401
<i>Aconitum napiforme</i>	한라돌쩌귀	T	.843**	.728*	.737**
		H	.417	.493	.486
<i>Trifolium lupinaster</i> var. <i>alpinum</i>	세주달구지풀	T	.659	.704	.689
		H	-.265	-.265	.280
<i>Adenophora taquetii</i>	선잔대	T	-.442	-.034	-.585
		H	.536	.501	.504
<i>Allium taquetii</i>	한라부추	T	.458	.762	-.087
		H	-.908	-.855	-.732
<i>Chrysanthemum zawadskii</i> ssp. <i>coreanum</i>	한라구절초	T	.863**	.899**	.903**
		H	.164	.189	.088

** Significant at the 0.01 level (2-tailed).

* Significant at the 0.05 level (2-tailed).

¹⁾ T : air temperature, H : relative humidity

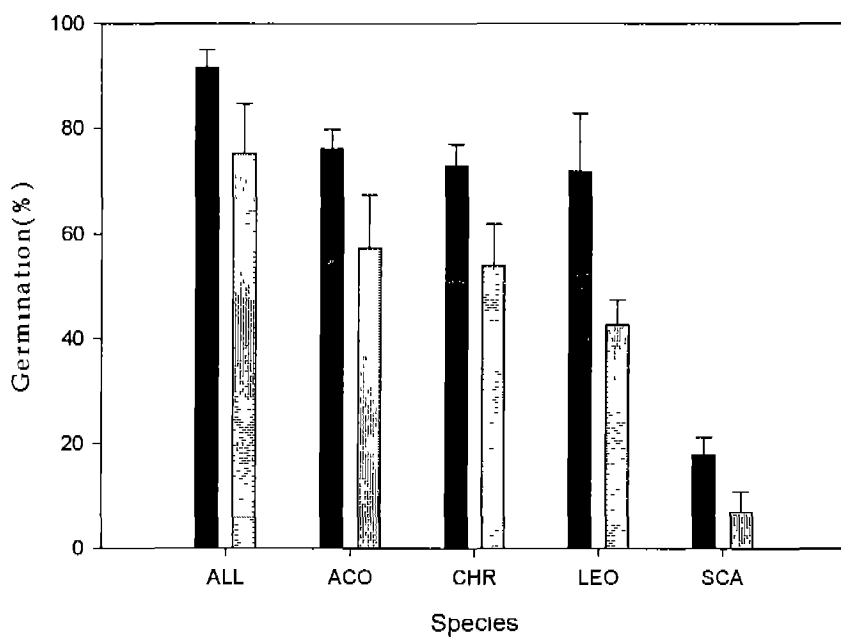


Fig. 11. Germination rate of alpine plant seeds *in vitro*(■) and in the bed of green house(▨).

* Each abbreviation was described at Fig. 2-1 to 2-3

성증식 방법 개발이 요구되었다

고산식물 중 발아가 어려워 삼목증식 기술개발이 요구되는 시로미, 눈향나무 등의 고산성 목본류에 대하여 삼수 채취시기와 발근촉진제 처리별로 삼목증식 시험을 실시하였다. 그 결과(Table 8), 좁고채목, 들쭉나무, 털진달래인 경우 삼목증식에 극히 낮은 발근율을 보이거나 전혀 발근이 이루어지지 않는 반면 눈향나무, 제주산버들, 떡버들 등은 삼수 채취시기와 식물생장조절물질 처리에 따라 다소 차이가 있으나 평균 50% 이상의 발근율을 보였고 성장도 양호하게 이루어졌다. 특히, 시로미는 삼목시기와 식물생장조절물질 처리에 따라 발근율이 평균 160~750%로 차이를 보였으나 4월초에 채취한 삼수를 이용하여 0.5 mg/ℓ NAA에 5분 동안 침적한 후 삼목한 경우 56.3%의 발근을 보여 최적조건이라 판단되었다. 눈향나무는 10 mg/ℓ IBA를 처리한 경우 가장 양호한 증식을 보였고, 제주산버들인 경우는 IBA와 NAA 처리구간에 발근율이 70~80%로 많은 차이는 없었으나 0.5 mg/ℓ IBA 처리구에서가 1차 근수, 줄기와 뿌리생장이 가장 양호하여 번식에 최적 조건임을 알 수 있었다.

이상의 결과를 종합하여 보면 한라부추, 한라돌쩌귀, 쭉비비추, 한라구절초, 한라장구채, 눈개쭉부쟁이, 백리향 등은 고산지대와 개화주기 및 성장단계에서 차이를 보였으나 저지대 환경에서도 비교적 적응이 잘되는 것으로 판단되었다. 목본류를 제외한 대부분의 식물이 종자발아율은 아주 높게 나타났고, 눈향나무, 시로미 등 목본류의 영양생식도 잘되는 것으로 나타났다. 그러나 설앵초, 큰앵초, 돌매화나무 등은 저지대에서 유식물의 생장이 잘 되지 않는 것으로 관찰되어 이에 대한 종 보전 대책이 수립되어야 할 것으로 보인다.

Table 8. Survival frequency, rooting percentage, and growth rooted cuttings in *Empetrum nigrum* var. *japonicum*, *Juniperus chinensis* var. *sargentii*, *Salix blinii*

Species	Growth regulators(mg/ℓ)	Survival frequency(%)	Rooting frequency(%)	No. of primary root	Length of primary root(cm)	Length of shoot(cm)
<i>Empetrum nigrum</i> var. <i>japonicum</i>	Control	41.90	26.90	2.10	9.90	4.58
	IBA 0.5	54.40	31.90	2.40	12.27	4.81
	1.0	53.20	33.80	2.70	11.64	4.89
	NAA 0.5	76.30	56.30	2.53	10.97	5.47
<i>Juniperus chinensis</i> var. <i>sargentii</i>	1.0	66.90	54.40	2.67	11.92	6.13
	Control	58.75	58.75	4.44	7.57	3.62
	IBA 0.5	57.50	57.50	5.70	6.25	3.62
	1.0	70.00	70.00	5.57	6.71	3.34
<i>Salix blinii</i>	NAA 0.5	20.00	20.00	4.59	5.47	2.82
	1.0	33.75	33.75	4.34	5.08	2.75
	Control	50.00	50.00	4.80	18.30	17.57
	IBA 0.5	71.70	71.70	11.50	29.00	18.50
<i>Salix blinii</i>	1.0	81.70	81.70	5.40	26.80	18.30
	NAA 0.5	73.30	73.30	6.30	19.30	9.23
	1.0	70.00	70.00	6.60	14.45	11.65

The mixture of peatmoss, perlite and vermiculite(1 : 1 : 1, v/v/v) was used as an artificial soil for rooting.

4. 적 요

환경적응성 조사는 해발 150 m에 위치한 온실에서 자라는 고산식물을 대상으로 잎의 성장특성 및 개화시기와 종자결실 등 생식생장과 관련된 형질 등을 조사하였다. 한라부추, 한라돌쩌귀, 좀비비추, 한라구절초, 한라장구채, 눈개쑥부쟁이, 백리향 등은 고산지대와 개화주기 및 성장단계에서 차이를 보였으나 저지대 환경에서도 적응이 잘 되는 것으로 판단되었다. 그러나 한라구절초, 한라부추의 개화시기는 저지대에서 자생지보다 30일 정도 늦게 개화하였다. 반면, 제주달구지풀은 저지대에서 자생지보다 30일 정도 일찍 개화하였으며, 섬잔대는 15일 정도 저지대에서 일찍 개화되었다. 목본류를 제외한 대부분의 식물이 종자 발아율은 71.8~91.2%로 아주 높게 나타났고, 시로미, 눈향나무, 제주산버들 등 목본류도 삼목했을 때 50% 이상의 발근율을 보여 영양생식이 잘 되는 것으로 나타났다.

V. 환경변화에 의한 고산식물의 엽록소형광의 변화

1. 서 론

식물은 자연 조건하에서 여러 환경 스트레스에 영향을 받아 생리활성이 달라진다. 특히 광합성은 식물세포의 중요한 대사과정 중 하나로서 환경요인에 따라 매우 민감하게 반응한다. 또한, 광합성의 광계 II 활성화는 엽록소형광을 측정함으로써 빠르고 비파괴적으로 산출할 수 있다(Ball *et al.*, 1994). 이러한 이유로 엽록소형광은 환경요인 변화에 대한 중간 반응성의 차이, 여러 가지 환경스트레스에 대한 식물의 생리적 반응이나 내성 등을 연구하는데 활용되고 있다. 한편, 빛이 과다해지면 광합성 기구에 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, 1987, Öquist *et al.*, 1987) 이는 광계 II 손상시 복구율이 광피해율을 보상하지 못할 때에 일어나며(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). 이러한 광억제 과정은 일시적인 광억제(dynamic photoinhibition)와 만성적인 광억제(chronic photoinhibition)로 구분되며, 엽록소형광을 측정함으로써 알 수 있다. 즉, 광계 II의 광화학적 효율인 F_v/F_m 과 F_o 가 동시에 감소할 때 일시적인 광억제가 발생하고, F_v/F_m 의 감소와 F_o 의 증가가 일어날 때 만성적인 광억제가 발생된다(Krause, 1988, Osmond, 1994). 또한, 이들 광억제 과정은 강한 빛에 대한 광합성 기능을 보호하는 것으로 알려지고 있다(Anderson *et al.*, 1997).

한편, 고산지대에 자라는 식물은 낮은 온도, 가뭄, 강한 바람, 서리 등 극한 환경에 노출되어 있어 이들 환경적 요인에 의해 영향을 많이 받는다고 볼 수 있다 하

지만, 일부 고산식물들은 저온이나 고광에 의한 광합성의 피해가 관찰되지 않으며, 이는 광피해를 피하기 위한 기구를 가지고 있기 때문인 것으로 알려지고 있다. 또한 고도가 높아짐에 따라 고산식물의 잎은 항산화물질을 더 많이 가지게 되어 활성산소로부터 보호되며(Wildi and Lutz, 1996), 저지대식물에 비하여 광계 II의 반응중심단백질인 D1의 분해가 억제되어 광억제를 피할 수 있는 것으로 알려지고 있다(Shang and Feirabend, 1998) 하지만, 이와 같은 결과는 일부 연구에서 관찰되는 현상으로 대부분 고산식물에서 일어나는 보편적인 현상인지는 의문이다 따라서 많은 고산식물을 대상으로 한 광억제 현상을 규명할 필요가 있다. 더욱이, 고산식물들이 저지대에서 생육할 때 광억제 현상이나 환경변화에 따른 생리적 반응이 어떠한지를 밝히는 것은 저지대 환경적응성 여부뿐만 아니라 종 보전이나 활용 가능성을 규명하는데 유용한 자료를 제공할 것이다.

따라서 본 연구에서는 한라산 자생지에서, 그리고 저지대에서 자라고 있는 고산식물의 엽록소형광 특성을 조사하여, 환경요인 변화에 대한 고산식물의 적응능력을 밝히기 위하여 실시하였다.

2. 재료 및 방법

2-1. 연구재료

한라산 고산식물의 엽록소형광 특성을 알아보기 위하여 백록담일대의 식물상 조사 결과(Appendix 1) 고산식물로 판단된 59종의 식물 중 한라부추(*A. taquetii*) 등 25종의 식물을 대상으로 실시하였다 또한, 비교적 저지대에서도 잘 자라며 정상적인 생활사를 갖는 한라부추 등 11종의 식물을 대상으로 조사하였다

2-2. 기상요인조사

기상조사는 엽록소형광 측정 당시의 광량, 온도, 상대습도를 조사하였다. 온도와 상대습도는 ONDOTORI Thermo Recorder TR-72(T&D Co. Ltd, Japan)를 이용하여 식물체 높이에 센서를 설치하여 측정하였고, 광량은 LI-250 Light Meter(LI-COR, USA)를 이용하여 측정하였다 각각의 기상요인은 3회 측정한 뒤 평균값을 엽록소형광 측정 당시의 대표값으로 처리하여 분석하였다.

2-3. 엽록소형광의 측정 및 특성 분석

1) 종간의 엽록소형광 비교

엽록소형광 측정은 Plant Efficiency Analyzer(Hanstech, UK)를 이용하였으며, 15~20분간 광을 차단하여 암적응 시킨 뒤 $1,500 \mu\text{mole}/\text{m}^2/\text{sec}$ 의 광량을 5초간 조사하여 측정하였다. 재료는 한라부추(*A. taquetii*) 등 25종에서 외부로 노출되어 있는 잎을 대상으로 크기를 3단계로 구분하여 이용하였다. NPQ(nonphotochemical fluorescence quenching)의 산출은 Stern-Volmer equation($F_m/F_m'-1$)으로 산출하였다(Krause and Weis, 1991). F_m' 의 측정은 자연광에 적응된 잎을 이용하여 암적응과정 없이 상기한 방법으로 측정하였다

2) 엽록소형광의 일변화

엽록소형광의 일변화는 1999년 7월 9~12일과 8월 10~13일에 2시간 간격으로 24시간 측정하여 기상요인과 엽록소형광의 각 변수에 대한 일변화를 측정하였다. 재료는 해발 1850~1950 m에 위치한 자생지와 해발 150 m에 위치한 제주도 수목시험소 온실에 자라는 고산식물을 대상으로 노쇠기로 접어들지 않은 건강한 잎을 크기에 따라 3 단계로 구분하여 측정하였다.

3) 기상요인 및 생장단계와 엽록소형광과의 상관관계분석

기상요인, 생장단계와 엽록소형광의 상관관계는 1999년 7월 1일부터 8월 28일까지 측정한 결과를 가지고 SPSS 통계 package(SPSS Inc., Release 7.5, 1996)를 이용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 엽록소형광의 일변화

광량, 온도, 상대습도와 고산식물 잎의 엽록소형광의 일변화를 측정하였다(Fig. 12) 고지대의 기상은 수시로 변하기 때문에 자생지에서 광량, 온도, 상대습도의 일변화 경향성을 설명하기가 쉽지 않다 더욱이 식물이 자라는 위치에 따른 기상인자의 변이는 매우 심한 것으로 나타났다. 엽록소형광 측정 당시인 7, 8월에 눈개쭉부쟁이, 한라구절초, 섬잔대 등이 자라는 빛이 잘드는 나지 또는 암적지에서 식물체가 받는 온도가 $16^{\circ}\text{C} \sim 33^{\circ}\text{C}$, 습도가 40%~98%로 일교차가 크게 나타났으며, 광량은 최대 $2,000 \mu\text{M}$ 정도를 보였다. 그리고 한라둘창포 등이 자라는 음지에서는 양지에 비해 온도가 $15 \sim 20^{\circ}\text{C}$ 로 낮았고, 습도의 변화폭은 작았으며, 광량은 최대 $500 \mu\text{M}$ 정도를 나타냈다. 그러나 일반적으로 온도와 광량의 경우 12~15시까지 증가하다가 이후 감소하는 경향이었고, 상대습도는 광량이나 온도와 반대 경향을 나타냈다.

자생지에서 고산식물 잎의 엽록소형광의 일변화를 측정한 결과, 광합성 효율을 나타내는 F_v/F_m 는 눈개쭉부쟁이 등 모든 식물에서 12~15시 사이에 낮아지는 경향을 보였다 기상인자와 F_v/F_m 의 변화를 비교하면 제주달구지풀을 제외한 모든 식물에서 광량과 온도의 변화와는 반대현상을 나타냈다. 그리고 눈개쭉부쟁이, 한라구절초, 섬잔대에서는 상대습도의 일변화와 유사하였고, 한라둘창포, 제주달구지풀에서는 상대습도의 변화와 일정한 경향을 보이지 않아 생태적 위치에 따라 다르게 나타났다. 그러나 F_v/F_m 이 광량이 높아지는 오후에 감소된 것으로 보아 대부분 고산식물이 오후에 광억제가 발생하는 것으로 보이며, 이들 광억제는 광량의 변화뿐만 아니라 온도와 습도와도 관계가 있는 것으로 판단된다. 또한, F_v/F_m 의 감소 시 눈개쭉부쟁이, 제주달구지풀에서는 F_o 가 증가한 반면 F_m 는 감소하는 현상을 나타냈으나, 한라둘창포와 한라구절초 및 섬잔대에서는 F_o 와 F_m 이 동일하게 감소되어 식물간에 광억제 기작이 다른 것으로 사료된다 자생지에서는 한라둘창포, 한라구절초, 섬잔대를 포함한 대부분 식물이 F_v/F_m 와 F_o 가 동시에 감소하는 나타나 일시적인 광억제(dynamic

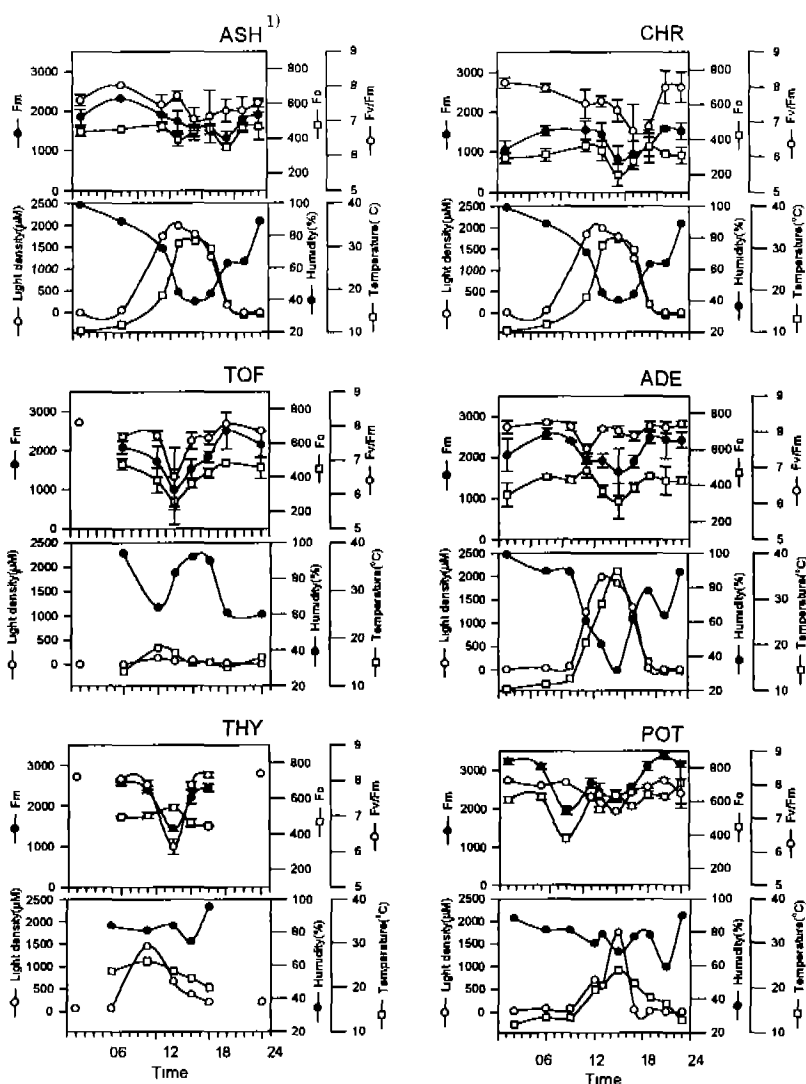


Fig. 12. Diurnal changes of environmental factors and chlorophyll fluorescence from the leaves of several alpine plants in the habitats of Mt. Halla(1850~1950 m, a.s.l.).

¹⁾ Each abbreviation was described at Fig. 2-1 to 2-3.

photoinhibition)이 이루어졌다(Krause, 1988; Osmond, 1994).

한편, 해발 150 m에 위치한 온실에서는 기상환경은 비교적 일정한 변화를 보여 엽록소형광의 변화와의 관계를 보다 뚜렷하게 볼 수 있었다. 더욱이 측정 당시 온도는 19~28℃, 습도는 65~98%이고, 광량은 최대 500 μ M로 나타났는데, 이러한 기상 변화는 온실내 환경조건을 인위적으로 조절함으로써 7, 8월에 지속적으로 유지되었다. 이들 저지대에서 고산식물 잎의 엽록소형광 일변화(Fig. 13)는 모든 식물에서 Fv/Fm가 12~14시에 가장 낮은 경향을 나타내었다. Fv/Fm의 변화는 상대습도의 일 변화와 유사하고 광량과 온도의 변화와는 반대현상이 뚜렷하였다. 그리고 모든 식물에서 Fv/Fm의 감소는 Fm의 감소와 Fo의 증가에 의해 초래되었으나, 제주양지꽃은 Fm과 Fo의 감소에 의해 초래되었다. 이와 같은 결과는 한라돌창포, 한라구슬초, 섬잔대와 같이 동일한 식물이라도 자생지에서는 Fo와 Fm의 감소에 의해 초래한데 비하여 저지대에서는 Fo의 증가와 Fm의 감소에 의해 초래되는 다른 특성을 보여 식물이 자라는 환경적 위치에 따라 광억제 기작이 다른 것으로 보인다. 자생지에서와는 달리 저지대서는 실험대상 식물 중 제주양지꽃을 제외한 대부분 식물이 만성적인 광억제(chronic photoinhibition)에 의해 광화학적 효율이 감소하는 것으로 나타났다(Krause, 1988; Osmond, 1994). 또한, 지금까지 엽록소형광의 일변화시 Fv/Fm이 오후에 감소하는 것은 광에 의한 광억제 현상을 주요 요인으로 보았으나 (Ögren and Sjöström, 1990), 온도 및 상대습도의 변화와도 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었다. 이는 고산식물이 저지대 환경에서의 적응력이 고지대보다 약하게 하는 요인으로 작용할 것으로 판단된다.

3-2. 엽록소형광의 특성

1) 엽록소형광의 종간 비교

한라산 해발 1850~1950 m 자생지에 자라는 한라부추 등 24종의 잎을 이용하여 엽록소형광을 측정하여 비교하였다(Table 9). 측정 당시의 기상은 한라산 고산지대의 일반적인 날씨로 안개가 많고, 비교적 바람이 강하게 부는 날로서, 기상조건은 온도가 평균 19.9℃(16.4~26.2℃), 상대습도가 평균 86.5%(68.4~97.7%), 광량이 평균

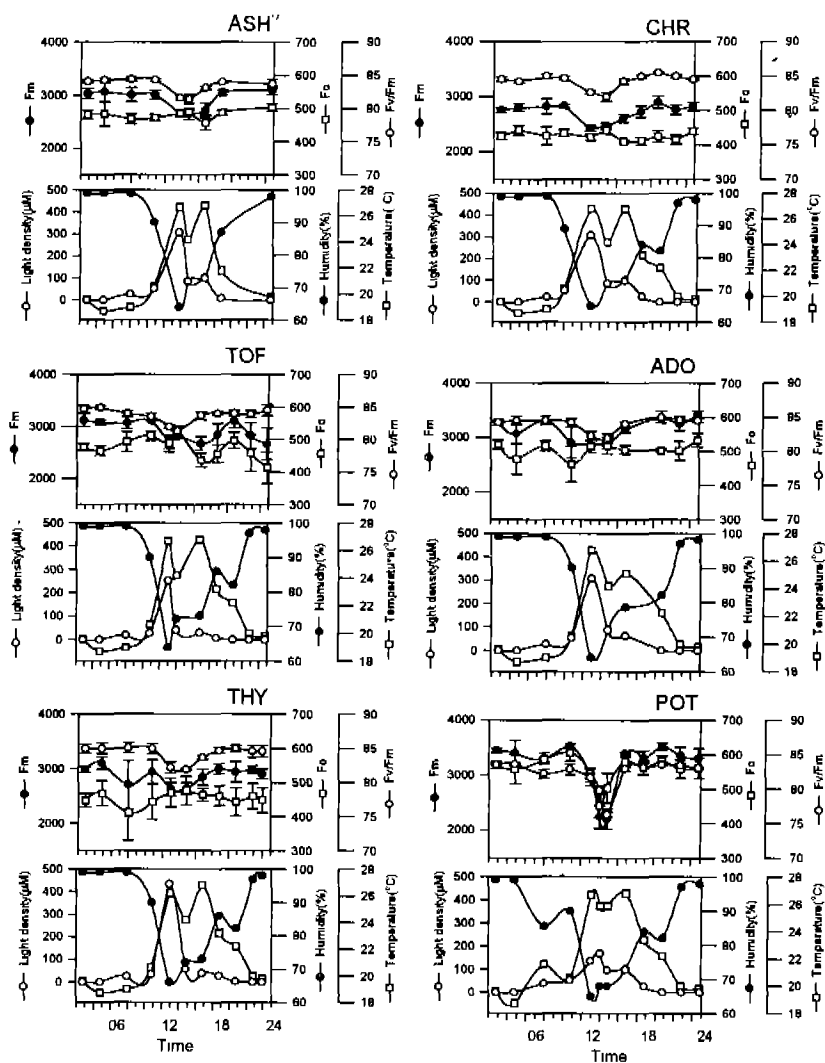


Fig. 13. Diurnal changes of environmental factors and chlorophyll fluorescence from the leaves of several alpine plants in the green house(150 m, a.s.l.)

¹⁾ Each abbreviation was described at Fig. 2-1 to 2-3.

Table 9. Chlorophyll fluorescence parameters from the dark-adapted leaves in alpine plants of Mt. Halla(1850~1950 m, a.s.l.)

Plant Name			Fo	Fm	Fv/Fm
Scientific name	Korean name				
<i>Allium taquetii</i>	한라부추	Mean	440.6	1471.0	0.700 ^{a*}
		S. E.	96.3	97.5	0.057
<i>Silene fasciculata</i>	한라장구채	Mean	283.0	1263.7	0.743 ^{abc}
		S. E.	82.2	461.7	0.052
<i>Hosta minor</i>	좀비비추	Mean	488.2	1998.7	0.754 ^{abcd}
		S. E.	21.7	94.7	0.013
<i>Pedicularis verticillata</i>	구름송이풀	Mean	451.7	1927.5	0.764 ^{abcde}
		S. E.	12.0	94.4	0.008
<i>Aruncus aethusifolius</i>	한라개승마	Mean	450.7	2114.5	0.785 ^{bcde}
		S. E.	25.1	145.7	0.006
<i>Tofieldia fauriei</i>	한라돌창포	Mean	355.7	1755.3	0.798 ^{bcde}
		S. E.	51.3	228.1	0.009
<i>Arabis serrata</i>	섬바위장대	Mean	444.2	2270.7	0.804 ^{bcde}
var. <i>hallaisanensis</i>		S. E.	5.2	56.0	0.003
<i>Trifolium lupinaster</i>	제주달구지풀	Mean	458.5	2483.0	0.805 ^{bcde}
var. <i>alpinum</i>		S. E.	93.5	851.0	0.029
<i>Aster hayatae</i>	눈개쭉부쟁이	Mean	451.0	2358.3	0.809 ^{cde}
		S. E.	10.4	25.4	0.003
<i>Aconitum napiforme</i>	한라돌쩌귀	Mean	419.3	2214.8	0.810 ^{cde}
		S. E.	11.5	77.2	0.005
<i>Anaphalis sinica</i>	구름떡쭉	Mean	431.0	2289.3	0.811 ^{cde}
ssp. <i>morii</i>		S. E.	15.1	93.1	0.004
<i>Potentilla stolonifera</i>	제주양지꽃	Mean	426.4	2317.7	0.816 ^{cde}
var. <i>quelpaertensis</i>		S. E.	8.4	48.9	0.001
<i>Primula modesta</i>	설앵초	Mean	378.3	2125.0	0.822 ^{cde}
var. <i>fauriae</i>		S. E.	19.6	128.5	0.003
<i>Leontopodium hallasanense</i>	한라솜다리	Mean	453.0	2595.5	0.825 ^{de}
		S. E.	25.2	167.5	0.005
<i>Chrysanthemum zawadskii</i>	한라구절초	Mean	310.8	1815.8	0.829 ^{de}
ssp. <i>coreanum</i>		S. E.	17.7	108.3	0.002
<i>Adenophora taquetii</i>	섬잔대	Mean	323.5	1922.0	0.832 ^{de}
		S. E.	49.5	293.0	0.000
<i>Euphorbia fauriei</i>	두메대극	Mean	454.0	2817.2	0.839 ^e
		S. E.	22.2	109.9	0.005
<i>Juniperus chinensis</i>	눈향나무	Mean	344.6	1203.4	0.728 ^{ab}
var. <i>sargentii</i>		S. E.	85.4	216.6	0.021
<i>Empetrum nigrum</i>	시로미	Mean	500.7	1725.1	0.728 ^{ab}
var. <i>japonicum</i>		S. E.	106.4	169.7	0.024
<i>Salix hallaisanensis</i>	떡버들	Mean	465.9	1975.4	0.764 ^{abcde}
		S. E.	40.2	68.8	0.016
<i>Lonicera coerulea</i>	댕댕이나무	Mean	384.3	1718.7	0.775 ^{abcde}
var. <i>edulis</i>		S. E.	14.1	104.3	0.007
<i>Vaccinium uliginosum</i>	들쭉나무	Mean	376.1	1735.9	0.784 ^{bcde}
		S. E.	18.5	38.4	0.008
<i>Diapensia lapponica</i>	돌매화나무	Mean	342.0	1795.1	0.810 ^{cde}
var. <i>obovata</i>		S. E.	20.6	104.9	0.003
<i>Thymus quinquecostatus</i>	백리향	Mean	366.2	2067.8	0.823 ^{cde}
		S. E.	19.0	113.5	0.004

*Duncan's multiple range test, 5% level.

489.4 μM (205.1~1214.5 μM)이었다

각 종의 엽록소형광 특성 중 광합성 효율을 나타내는 Fv/Fm을 분산분석한 결과, 1% 수준에서 유의성이 인정되어 종간 차이를 보였다. Fv/Fm을 Duncan 검정하여 종간에 비교하면, 한라부추, 좀비비추, 구름송이풀, 한라장구채, 땃대이나무, 눈향나무, 시로미, 떡버들 등이 그 값이 낮아서 a group으로 분류되었고, 구름송이풀, 땃대이나무, 떡버들을 포함하여 나머지 식물 모두는 그 값이 높아서 c group으로 분류되었다. 목본류 중에는 백리향과 돌매화나무를 제외한 대부분의 목본류가 낮은 Fv/Fm값을 보였는데 특히 시로미와 눈향나무가 0.728로 낮았다. 또한 Fv/Fm는 한라부추, 한라돌창포, 한라장구채 등 선형인 형태의 잎을 갖는 초본류와 눈향나무, 시로미 등 대부분의 목본류를 포함하여 실험대상 식물 중 11종이 0.70~0.79로 낮았으며, 한라돌쩌귀 등 13종의 초본류와 돌매화나무는 0.80~0.83의 범위에 존재하여 일반적인 범주에 속하는 것으로 나타났다(Ball *et al.*, 1994, Demmig and Bjorkman, 1987) 이러한 차이는 고산지대에 자라는 식물의 광합성 능력은 광엽 초본이 상록성 관목보다 높다는 보고와 유사한 경향을 보여(Körner, 1995; Körner and Pelacz Menendez-Riedl, 1989), 잎의 형태적인 특징도 엽록소형광에 관여하는 것으로 사료된다. 그리고 초본류 중에는 자라는 생태적 위치 즉, 한라부추와 한라장구채와 같은 습지나 음지 또는 구름송이풀, 한라개송마와 같은 강한 빛을 받는 암석지에 자라는 식물이 제주양지꽃, 한라구절초, 두메대극 등과 같은 나지나 건조지에 자라는 식물보다 광합성 능력이 낮은 것으로 나타났다. 목본류는 눈향나무나 시로미와 같이 상록성 식물이 낙엽성 식물보다 광합성 능력이 낮은 것으로 나타났다. 따라서 고산식물은 잎의 형태적 특성이나 상록성 여부 및 생태적 위치에 따라 각기 다른 광합성 능력을 갖는 것으로 판단된다.

2) NPQ의 종간 비교

고산식물 24종을 대상으로 Table 9의 Fm과 자연광에서 측정한 Fm'을 이용하여 NPQ를 산출하여 비교한 결과(Fig. 14), 초본류는 한라장구채, 한라부추, 선잔대 등 3종에서는 -0.024~-0.086으로 음의 값을 나타냈고, 한라개송마, 섬마위장대, 한라솜다리 등은 0.018~0.096으로 낮은 반면, 한라구절초, 눈개쭉부쟁이, 좀비비추, 두메대극, 제주양지꽃 등은 0.254~0.417로 비교적 높게 나타났다. 또한 목본류는 시로미와 눈향

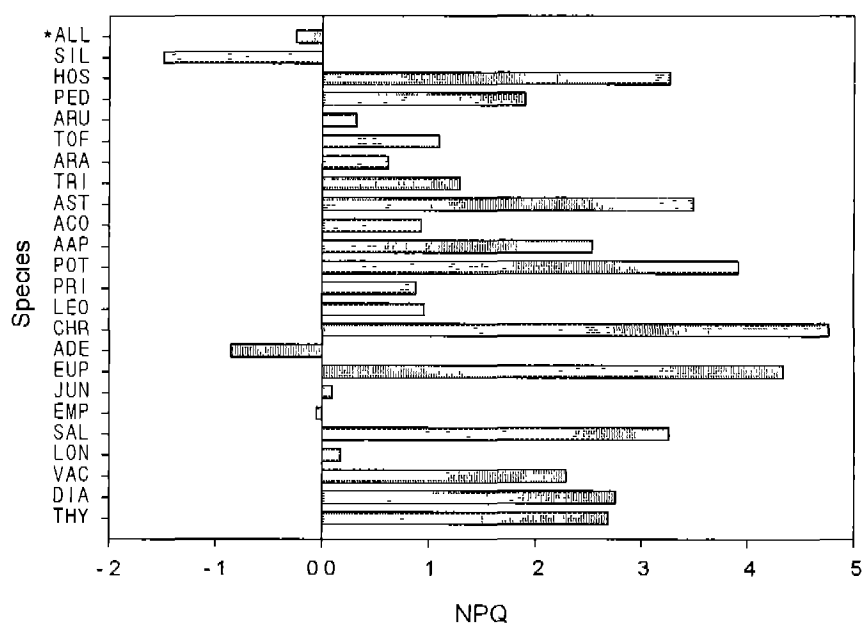


Fig 14 Values of nonphotochemical fluorescence quenching(NPQ) of alpine plants in Mt Halla

* Each abbreviation was described at Fig 2-1 to 2-3.

나무가 -0.001~0.009로 낮은 반면 떡버들, 돌매화나무, 들쭉나무, 백리향 등은 0.229~0.303으로 비교적 높고 유사한 값을 보였다. 한라부추, 섬잔대, 한라장구채, 시로미 등이 음의 값을 보인 것은 F_m' 이 F_m 보다 높은 값을 나타낸 결과이다. 또한, 좀비비추 등 대부분 식물에서 NPQ를 결정하는 변수는 자연광에 적응된 잎에서 F_m' 의 감소폭에 의해 크게 결정되는 것으로 나타났다.

한편, 비광화학적 형광소멸능력을 나타내는 NPQ는 강한 빛에 대한 광계 II의 보호능력을 의미하는 것으로(Demmig-Adams and Adams, 1992, Russel *et al.*, 1995) NPQ가 높을수록 형광소멸 능력이 상대적으로 높아 광계 II의 보호기구가 발달된 반면 NPQ가 낮을수록 형광소멸 능력이 상대적으로 낮아 광계 II의 보호기구가 덜 발달한 것으로 보인다. 그러나 광계 II에 대한 보호능력은 F_v/F_m 을 측정한 조건이 15~20분 암적응하여 측정한 것으로 식물간에 충분히 암적응한 최적의 조건이라 볼 수 없기 때문에 유사한 F_v/F_m 을 갖는 식물간에 비교를 실시하였다. 그 결과, Table 9에서 유사한 F_v/F_m 을 갖는 a group에서는 한라부추나 한라장구채보다 좀비비추나 구름송이풀이 보호능력이 강한 것으로 나타났다. 이는 습지나 음지에 보다 양지에 자라는 고산식물이 보호능력이 강한 것으로 판단된다. 또한, e group으로 구분된 식물 간에는 구름송이풀, 한라개송마, 한라돌창포 보다는 제주양지꽃, 설앵초, 한라솔다리, 한라구절초, 섬잔대, 두매대국 등이 보호능력이 강한 것으로 나타나 양지에 자라는 식물간에도 암석지보다 건초지나 나지에 자라는 고산식물이 더욱 보호능력이 강한 것으로 판단된다. 목본류에서도 상록성인 눈향나무와 시로미보다 낙엽성인 백리향, 들쭉나무 등이 보호능력이 강한 것으로 판단된다.

3-3. 성장과 엽록소형광의 상관관계

잎의 성장과 엽록소형광과의 관계를 알아보기 위하여, 자생지 또는 저지대에서 자라는 한라부추 등 22종을 대상으로 Fig. 2과 Fig. 7에서 잎의 성장특성을 기준으로 건강한 잎을 크기에 따라 3단계로 구분하고, 각 성장단계에서 측정된 엽록소형광값과의 상관관계를 분석하였다(Table 10).

그 결과, 22종 중 한라부추 등 6종에서 F_v/F_m 과 정 또는 역의 상관을 나타냈

Table 10. Correlation of leaf growth and chlorophyll fluorescence parameters in alpine plants in the green house(150 m a.s.l.) and the habitats of Mt. Halla(1850~1950 m a.s.l.)

Plant name		Altitude(m)	Fo	Fm	Fv/Fm
Scientific name	Korean name				
<i>Allium taquetii</i>	한라부추	1900	.522**	-.314	-.505**
		150	.550*	.332	-.635*
<i>Silene fasciculata</i>	한라장구재	1900	-.264	-.183	-.159
<i>Hosta minor</i>	좀비비추	1900	-.002	-.424*	-.597**
		150	-.011	-.283	-.151
<i>Pedicularis verticillata</i>	구름송이풀	1900	.644	.802**	.676*
<i>Aruncus aethusifolius</i>	한라개송마	1900	.601	.762*	.583
<i>Tofieldia fauriei</i>	한라돌창포	1900	.147	.333	.115
		150	.296	.152	-.233
<i>Arabis serrata</i> var. <i>hallaisanensis</i>	섬바위장대	1900	-.146	.622	.605
<i>Trifolium lupinaster</i> var. <i>alpinum</i>	제주달구지풀	1900	.026	.535**	.209
		150	.411	-.324	-.380
<i>Aster hayatae</i>	눈개쑥부쟁이	1900	.321	.548**	.416*
		150	.639**	.541**	.085
<i>Aconitum napiforme</i>	한라돌쩌귀	1900	.118	.587	.628
		150	.553*	.855**	-.214
<i>Anaphalis sinica</i> ssp. <i>morii</i>	구름떡쑥	1900	.096	.503**	.398*
<i>Potentilla stolonifera</i> var. <i>quelpaertensis</i>	제주양지꽃	1900	-.649	.271	.610
		150	.308*	.254	-.015
<i>Primula modesta</i> var. <i>fauriae</i>	설앵초	1900	-.783**	-.283	.466
<i>Leontopodium hallaisanense</i>	한라솜다리	1900	.882*	.928**	.373
<i>Chrysanthemum zawadskii</i> ssp. <i>coreanum</i>	한라구절초	1900	.212	.287	.123
		150	.453**	.143	-.123
<i>Adenophora taquetii</i>	섬잔대	1900	.005	.055	.086
		150	.333*	.337*	.144
<i>Euphorbia fauriei</i>	두메대극	1900	-.058	-.110	-.108
<i>Scabiosa mansenensis</i> for. <i>alpina</i>	구름채꽃	1900	-.155	.510	.581*
<i>Lonicera coerulea</i> var. <i>edulis</i>	댕댕이나무	1900	-.230	-.135	.065
<i>Vaccinium uliginosum</i>	들쭈크나무	1900	-.571*	-.450	.475
<i>Diapensia lapponica</i> var. <i>obovata</i>	돌매화나무	1900	.628**	.627*	-.140
		150	-.145	.037	.069
<i>Thymus quinquecostatus</i>	백리향	150	.711**	.546**	-.455**

** Significant at the 0.01 level (2-tailed).

* Significant at the 0.05 level (2-tailed).

다 이중 구름송이풀, 눈개쭉부쟁이, 구름떡쭉, 구름채꽃은 자생지에서 정의 상관을 보였는데, 이들 식물은 줄기상의 신초가 계속 발생하여 초기에 형성된 근생엽이 이후 발생된 경생엽보다 잎의 크기가 작은 공통적인 형태적 특성을 보였다. 즉, 생장의 단위 잎 면적으로 기준하여 비교한데서 발생한 결과라 판단된다. 이와는 달리 한라부추는 장소에 관계없이 역의 상관을 보였다. 그리고 좀비비추는 자생지에서는 역의 상관을 보였으나 저지대에서는 상관을 보이지 않았으며, 백리향은 저지대에서는 역의 상관을 보였다. 또한, 이들 상관은 한라부추, 백리향은 Fo에 의해, 좀비비추, 구름송이풀, 눈개쭉부쟁이, 구름떡쭉은 Fm에 의해 결정되었다. 그리고 저지대에서 자라는 눈개쭉부쟁이와 백리향은 Fo와 Fm에 의해 Fv/Fm을 결정하는 것으로 나타났다. 그러나 한라장구채 등 15종에서 생장과 Fv/Fm는 상관을 보이지 않았다. 이처럼 종에 따라 빛을 이용할 수 있는 잠재적인 능력은 유전적 차이에 의한 차이도 있지만(Ball *et al.*, 1994), Fig. 12와 Fig. 13에서와 같이 환경요인이 광계 II의 광화학적 효율에 영향을 주는 것으로 보아, 기상 등 환경요인 광합성 능력에 주요한 결정변수로 작용하는 것으로 판단된다.

3-4. 고지대와 저지대에서 환경요인과 엽록소형광 특성의 비교

환경요인의 변화에 따른 엽록소형광의 변화를 알아보기 위하여 자생지에서 자라는 14종의 식물을 대상으로 엽록소형광과 환경요인과의 상관관계를 분석하였다 (Table 11). 자생지에서 Fv/Fm은 한라구절초, 섬잔대, 구름떡쭉, 백리향, 제주양지꽃 등이 온도와 5% 수준에서 역의 상관을 보인 반면 한라부추, 제주달구지풀은 온도와 정의 상관을 나타내었다. 상대습도와는 제주달구지풀이 유일하게 1% 수준에서 역의 상관을 보인 반면 한라구절초, 섬잔대, 제주양지꽃, 구름송이풀 등이 5% 수준에서 정의 상관을 보였다. 그리고 광량과는 한라돌창포가 정의 상관을 보였으나 한라구절초, 설앵초, 제주양지꽃, 구름송이풀은 역의 상관을 나타냈다. 이들 결과에서 온도와 정의 상관을 보인 한라부추와 제주달구지풀은 습지성으로 비교적 저온에 생육하고 있어 온도의 상승이 광합성 능력을 상승시킨 것으로 보인다. 그리고 온도와 역의 상관을 보인 식물 중 백리향은 Fo의 감소와 밀접한 관계가 있었으나 제주양지꽃, 한라구절

Table 11 Correlation of environmental factors and chlorophyll fluorescence parameters in alpine plants in Mt Halla(1850~1950 m a s l)

Plant name		Factors ¹⁾	Fo	Fm	Fv/Fm
Scientific name	Korean name				
<i>Allium taquetii</i>	한라부추	T	-459*	.133	.445*
		H	.310	.019	-.279
		L	.335	-.375	-.399
<i>Hosta minor</i>	좀비비추	T	.075	.256	.347
		H	-.032	.050	-.011
		L	-.305	-.378	-.209
<i>Pedicularis verticillata</i>	구름송이풀	T	.286	.364	.359
		H	.580	.740*	.773*
		L	-.598	-.762*	-.795*
<i>Tofieldia fauriei</i>	한라돌창포	T	-.138	.187	.316
		H	-.150	-.223	-.110
		L	-.141	.171	.390*
<i>Trifolium lupinaster</i> var. <i>alpinum</i>	제주달구지풀	T	-.462**	.271	.504**
		H	.679**	-.299	-.662**
		L	-.159	.118	.221
<i>Aster hayatae</i>	눈개쭉부쟁이	T	-.081	-.131	-.133
		H	.167	.338	.342
		L	-.003	-.002	-.018
<i>Anaphalis sinica</i> ssp. <i>moru</i>	구름떡쭉	T	.226	-.163	-.342*
		H	-.369*	-.095	.175
		L	.273	-.036	-.257
<i>Potentilla stolonifera</i> var. <i>quelpaertensis</i>	제주양지꽃	T	.580	-.759*	-.797*
		H	-.842**	.735*	.962**
		L	.640	-.766*	-.841**
<i>Primula modesta</i> var. <i>fauriae</i>	설앵초	T	.832**	.245	-.548
		H	-.807**	-.248	.513
		L	.839**	.187	-.672*
<i>Chrysanthemum zawadskii</i> ssp. <i>coreanum</i>	한라구절초	T	-.245	-.449**	-.436*
		H	.163	.542**	.588**
		L	-.092	-.313	-.363*
<i>Adenophora taquetii</i>	섬잔대	T	-.243	-.403**	-.291*
		H	.150	.341**	.338**
		L	-.082	-.201	-.191
<i>Euphorbia fauriei</i>	두메대극	T	.432*	-.343*	-.195
		H	-.339*	.171	-.052
		L	.225	-.157	-.062
<i>Juniperus chinensis</i> var. <i>sargentii</i>	눈향나무	T	-.367*	-.244	.082
		H	.253	.256	.111
		L	-.222	-.062	.149
<i>Thymus quinquecostatus</i>	백리향	T	.791**	.103	-.351*
		H	.128	.264	.087
		L	.310	-.138	-.254

** Significant at the 0.01 level (2-tailed).

* Significant at the 0.05 level (2-tailed).

¹⁾ T : air temperature, H : relative humidity, L : light density.

초, 섬잔대에서는 F_m 의 감소와 관계가 있었다. 습도와 상관을 보인 제주달구지풀은 F_o 의 감소, 구름송이풀, 제주양지꽃, 한라구절초, 섬잔대에서는 F_m 의 증가와 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다. 또한, 광량과 상관을 보인 구름송이풀과 제주양지꽃은 F_m 의 감소와 관계가 있는 것으로 나타났다. 그리고 좀비비추, 눈개쭉부쟁이, 두메대극, 눈향나무 등 4종에서는 어떠한 환경요인과의 상관을 보이지 않았다. 그러나 전체적으로 F_v/F_m 과 F_m 는 유사하게 환경인자와의 상관을 나타내는데 온도와는 역의 상관, 상대습도와는 정의 상관, 광량은 온도와 유사한 특성을 보였다.

한편, 해발 150 m의 온실에 자라는 10종의 고산식물을 대상으로 환경요인과 엽록소형광과의 상관을 분석한 결과(Table 12), 자생지와 유사한 상관을 뚜렷하게 보였는데, 한라부추를 제외한 모든 식물에 F_v/F_m 이 온도와 광량과는 역의 상관을 보이고 상대습도와는 정의 상관을 보였다. 그리고 온도와 역의 상관을 보이는 식물 중 좀비비추, 제주달구지풀, 눈개쭉부쟁이 등은 F_o 의 증가와 관계가 있는 것으로 보아 온도에 의해 만성적인 광억제가 발생 또는 촉진되는 것으로 보이며 제주양지꽃, 한라구절초, 백리향 등은 F_o 의 감소와 관계가 있어 일시적인 광억제가 발생하는 것으로 판단된다. 이처럼 대부분 고산식물이 고온에 의해 광합성 능력이 감소되는 것으로 나타났다. 특히, 제주양지꽃, 한라구절초, 백리향 등이 좀비비추나 제주달구지풀, 눈개쭉부쟁이보다 고온에 대한 적응력이 높은 것으로 판단된다. 또한, 습도와는 한라부추와 한라돋꺼귀를 제외한 모든 식물에서 정의 상관을 보였고 F_m 과 관계가 있는 것으로 나타났다. 이처럼 습도의 증가는 F_v/F_m 감소나 F_o 의 증감에 영향을 주지 않아 광억제를 완화시키는 요인으로 작용하는 것으로 사료된다. 그러나 F_v/F_m 와 광량과는 한라부추, 좀비비추를 제외한 모든 식물에서 역의 상관을 보여 광량이 높을수록 광억제가 발생되는 것으로 나타났다. 그리고 F_v/F_m 의 감소는 한라구절초, 섬잔대, 백리향에서는 F_m 의 감소와 관계가 있었다. 이와는 달리 제주달구지풀과 눈개쭉부쟁이에서는 F_o 의 감소와 관계를 보여 만성적인 광억제가 일어나고 제주양지꽃은 일시적인 광억제가 이루어지는 것으로 판단된다. 이는 Fig. 12에서 보인 광억제 현상과 유사하였으며, 특히 Fig. 14의 NPQ와 비교하면 Table 11에서 온도나 광량에 의해 일시적인 광억제를 보이는 제주양지꽃, 한라구절초, 백리향이 만성적인 광억제를 보이는 좀비비추, 제주달구지풀, 눈개쭉부쟁이보다 NPQ가 높은 것으로 나타나 NPQ가 고산식물이 저지대에서의 적응력을 규명하는데 중요한 변수인 것으로 판단된다.

Table 12. Correlation of environmental factors and chlorophyll fluorescence parameters in alpine plants in the green house(150 m a.s.l.)

Plant name		Factors ¹⁾	Fo	Fm	Fv/Fm
Scientific name	Korean name				
<i>Allium taquetii</i>	한라부추	T	-.521*	-.518*	.118
		H	.417	.445	-.020
		L	.413	.441	-.018
<i>Hosta minor</i>	좁비비추	T	.546**	-.143	-.430*
		H	-.505**	.205	.442*
		L	.481**	.009	-.290
<i>Tofieldia fauriei</i>	한라돌창포	T	-.196	-.527**	-.553**
		H	-.050	.391*	.695**
		L	.146	-.168	-.480**
<i>Trifolium lupinaster</i> var. <i>alpinum</i>	제주달구지풀	T	.728**	-.941**	-.938**
		H	-.728**	.941**	.938**
		L	.717**	-.941**	-.933**
<i>Aster hayatae</i>	눈개쑥부쟁이	T	.258*	-.520**	-.678**
		H	-.196	.540**	.627**
		L	.244*	-.498**	-.644**
<i>Aconitum napiforme</i>	한라돌쩌귀	T	.247	-.369	-.567*
		H	.128	-.258	-.342
		L	.223	-.387	-.540*
<i>Potentilla stolonifera</i> var. <i>quelpaertensis</i>	제주양지꽃	T	-.344**	-.545**	-.418**
		H	.239*	.545**	.532**
		L	-.343**	-.622**	-.558**
<i>Chrysanthemum zawadskii</i> ssp. <i>coreanum</i>	한라구절초	T	-.278*	-.813**	-.810**
		H	.283*	.803**	.786**
		L	-.220	-.780**	-.799**
<i>Adenophora taquetii</i>	섬잔대	T	-.169	-.641**	-.795**
		H	.241	.652**	.682**
		L	-.167	-.627**	-.790**
<i>Thymus quinquecostatus</i>	백리향	T	-.376**	-.687**	-.749**
		H	.169	.497**	.702**
		L	-.088	-.348*	-.529**

** Significant at the 0.01 level (2-tailed).

* Significant at the 0.05 level (2-tailed).

¹⁾ T : air temperature, H : relative humidity, L : light density.

그리고 Table 11와 Table 12를 종합하여 환경요인과 엽록소형광과의 상관을 분석해 보면(Table 13), Fv/Fm은 한라산 고산식물 자생지에서 상관계수(r)가 온도, 상대습도와는 $-.110^{**}$, $.088^{*}$ 로 나타났고, 해발 150 m 온실내 적응된 고산식물에서는 온도, 상대습도, 광량과는 -591^{**} , 591^{**} , -562^{**} 로 나타났다. 자생지에서 광량과 상관관계가 나타나지 않은 것은 연중 대부분이 안개로 덮여 있는 등 맑은 날이 별로 없어 광량에 따른 정확한 실험을 할 수 없는 결과로 보인다. 일반적으로 온도가 높고, 광량이 많을수록 전자를 전달할 수 있는 능력 즉, 광합성 능력은 작아지고, 상대습도가 높을수록 광합성 능력이 커진다는 것을 알 수 있었다.

이상의 결과로부터 한라산 백록담일대의 자생지에서 엽록소형광 변수가 종에 따라 다른 경향을 보인 것은 종의 생태적 위치에 의해 크게 결정된 것으로 보인다. 즉, 온도와 관계에서는 한라구절초, 설앵초, 제주양지꽃, 구름송이풀 등 강한 햇볕을 받는 건조지에 주로 자라는 식물들은 뚜렷한 역의 관계를 보여 온도가 높아짐에 따라 광합성 효율이 떨어지는 경향을 보였다. 이와는 달리 한라돌창포는 유일하게 온도와 정의 상관을 보였는데 이것은 이 식물이 북사면 또는 북서사면 바위 아래 등에 주로 분포하여 직사광선을 받지 않는 등 낮은 기온이 항상 유지되 곳이기 때문에 발생한 결과로 사료된다. 비록 한라돌창포 등 음지에 주로 자라는 식물이 온도와 광량의 정의 상관을 보였으나 이는 자생지에서 측정하여 온도와 광량의 범주가 낮은데서 이루어진 것으로 절대적인 경향이라 할 수 없다. 이것은 온도와 광량이 비교적 높게 유지되는 저지대 환경에서 한라돌창포도 온도와 광량에 역의 상관을 나타나는 것으로 알 수 있었다. 상대습도인 경우 구름송이풀, 제주양지꽃 등 대부분의 식물에서 정의 상관을 보여 중요한 기상요인으로 작용하는 것으로 나타났다. 한편, 저지대에서 의 대부분 고산식물은 온도나 광량에 의한 광억제 현상이 뚜렷한 것으로 나타났다. 그러나 광억제 기작은 식물간에 차이를 보였는데 제주달구지풀이나 눈개쭉부쟁이는 만성적인 광억제가 이루어지는 반면 제주양지꽃, 한라구절초, 백리향 등은 일시적 광억제가 이루어지는 것으로 나타났다. 이러한 광억제는 비교적 약한 광량($500 \mu M$)에 의해서 초래되었는데 이는 온도상승에 의해 더욱 촉진되는 것으로 나타났다. 또한, 동일한 조건하에서 일시적 광억제가 일어나는 식물인 제주양지꽃, 한라구절초, 백리향 등이 NPQ값도 높은 것으로 나타나, 형광소멸능력이 비교적 높은 고산식물 대부분은 저지대에서도 다른 고산식물보다 적응력이 높은 것으로 판단된다. 그러나 NPQ가

Table 13 Correlation of environmental factors and chlorophyll fluorescence parameters in alpine plants

Altitude	Factors ¹⁾	Fo	Fm	Fv/Fm
150m	T	-.054	-.529**	-.591**
	H	.035	.513**	.591**
	L	-.067	-.491**	-.552**
1900m	T	-.028	-.171**	-.110**
	H	-.007	.110**	.088*
	L	-.040	-.124**	-.054

** Significant at the 0.01 level (2-tailed).

* Significant at the 0.05 level (2-tailed).

¹⁾ T : air temperature, H : relative humidity, L : light density.

높은 식물도 고온보다는 저온에 대한 적응력이 높고, 강한 광선에 대한 적응력은 낮은 것으로 나타나 저지대에서 환경적응시 고온이나 강한 광선에 의해 스트레스를 받는 것으로 나타났다.

이와 같은 결과로 볼 때 고산식물의 엽록소형광은 환경요인과 밀접한 관계를 가지고 있음을 알 수 있었고, 이는 엽록소형광 측정을 통하여 고산식물이 환경변화에 따른 종간의 생리적 반응과 내성을 규명하는데 유용한 것으로 판단된다

4. 적 요

광합성 효율을 나타내는 F_v/F_m 는 한라부추, 한라돌창포, 한라장구채 등 11종이 0.70~0.79를 나타내고 한라돌찌귀 등 13종의 초본류와 돌매화나무는 0.80~0.83의 범위에 존재하는 것으로 나타났다. 그리고 한라구절초와 같이 양지에 자라는 식물이 한라부추나 한라장구채와 같은 습지나 음지에 자라는 식물에 비해 비광화합적인 형광소멸 능력이 상대적으로 높아 광계 II의 보호기구가 발달한 것으로 나타났다. 환경요인이 엽록소형광에 미치는 영향을 보면, 온도가 16~33℃, 상대습도가 40~90%, 광량 0~2,000 μM 의 환경조건에서 전체적으로 F_v/F_m 은 상대습도와 정의 상관율, 온도와 광량과는 역의 상관율을 나타냈다. 그리고 저지대에서의 고산식물은 대부분 온도나 광량에 의한 광억제 현상이 뚜렷하였고, 제주달구지풀이나 눈개쭉부쟁이는 만성적인 광억제가 이루어지는 반면 제주양지꽃, 한라구절초, 백리향 등은 일시적 광억제가 이루어지는 것으로 나타났다. 그리고 이러한 광억제는 온도가 높아짐으로써 더욱 촉진되는 것으로 나타났다. 또한, 일시적 광억제가 일어나는 식물은 NPQ값도 높은 것으로 나타났으며, 형광소멸능력이 상대적으로 높은 고산식물 대부분은 저지대에서도 다른 고산식물보다 적응력이 높은 것으로 판단된다.

VI. 종합고찰

한라산 백록담일대에 분포하는 관속식물은 Appendix 1과 같이 49과 121속 125종 2아종 33변종 2품종으로 총 162분류군인 것으로 조사되었다. 이 지역의 식물상을 기존의 보고(中井, 1914; 森, 1928, 이와 이, 1957; 도와 박, 1976)와 비교하면 석송 등 119종을 확인할 수 없었고, 다람쥐꼬리 등 49종을 본 조사에서 새로 추가되었다. 이 중 특산식물은 제주산버들 등 28종으로, 회귀식물은 들쭉나무 등 36종으로 조사되었다. 이 지역에 분포하는 고산식물은 32과 48속 40종 2아종 15변종 2품종 등 총 59분류군이 분포하는 것으로 분석되었으며, 한라산 1500 m 이상의 지역에서도 추가되는 종은 관찰할 수 없었을 뿐아니라 한라산 고산식물에 대한 정(1989)이 보고한 81종과 공(1998)이 보고한 125종보다 크게 적은 것으로 분석되었다. 이러한 차이는 기존의 고산식물에 대한 보고가 문헌자료를 토대로 실시하거나 제주도에 분포하지 않는 것으로 알려진 식물, 또는 고산지대에 분포하지 않는 식물이 다수 포함되어 있기 때문으로 사료된다. 그리고 고산식물의 분포유형은 제주산버들 등 22종은 제주도 또는 한국특산으로 고산 환경에 잘 적응한 것으로 보이며, 한라산 백록담과 한반도 일부 산지 및 일본과의 공통종은 좁고채목 등 21종으로 나타났다. 이처럼 고산식물중에는 22의 특산식물과 17종의 회귀식물이 포함되어 있을 뿐아니라 Table 3과 같이 대부분 유용식물로 나타나 자원적 가치가 매우 높은 것으로 판단된다.

한편, 한라산 정상부는 Table 4와 같이 연평균 기온이 3.7℃로 매우 낮고 척박한 토질로 이루어져 식물의 생육에 열악한 조건이라 할 수 있는데, 자생지에서 고산식물의 생장은 Fig. 1과 같이 전체적으로 4월 초순부터 시작되어 8월 중순까지 이루어졌다. 그러나 주요 생장시기는 6월에 집중적으로 이루어지며, 종에 따라 다소 차이는 있으나 잎의 주요 생장일수는 30~60일 사이로 나타나 비교적 짧은 생장시기를 갖고 있었다. 백록담일대 고산식물의 개화시기는 Fig. 3과 같이 3월 하순부터 시로미를 시작으로 8월 중순에 한라돌쩌귀, 한라구절초 등이 마지막으로 개화가 이루어졌고, 대부분 초본성 고산식물은 종자가 성숙하는데 30일 정도의 기간이 소요되어 비교적 짧은 기간 동안에 종자 발달이 이루어지는 것으로 나타났다. 그리고 상기한 바와 같이 고산식물들은 자원적 가치가 매우 높은 것으로 나타났는데, 자원화를 위해서는

저지대에서의 증식이나 환경적응성에 대한 조사가 이루어져야 한다. 이를 알아보기 위하여 해발 150 m에 위치한 온실에서 자라는 고산식물을 대상으로 잎의 생장특성과 개화시기 및 종자결실 등을 조사하였다. 그 결과, Fig. 6~9와 같이 한라부추, 한라돌쩌귀, 좀비비추, 한라구절초, 한라장구채, 눈개쭉부쟁이, 백리향 등은 개화주기 및 생장단계에서 고산지대와 차이를 보였으나 저지대 환경에서도 적응이 잘되는 것으로 판단되었다. 또한, 목본류를 제외한 대부분의 식물이 종자발아율은 높았으며, 눈향나무와 시로미 등 목본류의 영양생식도 잘되는 것으로 나타나 자원으로의 활용 가능성이 매우 높은 것으로 판단된다. 그러나 설앵초, 큰앵초, 돌매화나무 등 일부 고산식물은 저지대에서 유식물의 생장이 잘 되지 않는 것으로 관찰되어 이에 대한 종 보전 대책이 수립되어야 할 것으로 보인다.

한편, 한라산의 고산식물은 극히 한정된 환경에서 자라고 생육지가 좁아 조그만 환경적 변화나 생태계 교란에 의해서도 쉽게 절멸할 가능성이 높다. 따라서 자연조건에서의 환경적인 스트레스나 고산식물의 특성을 비교하기 위하여 엽록소형광 분석을 실시하였는데, 이들 분석은 식물의 생장(Long *et al.*, 1994), 생태의 유동성(Kamaluddin and Grace, 1992), 자연조건에서의 환경스트레스(Lee *et al.*, 1995) 등과의 관계를 알아보는데 이용되고 있다. 엽록소형광의 일변화는 Fig. 12와 Fig. 13에서와 같이 대체로 13~15시 사이에 가장 낮은 Fv/Fm을 보였다. Fv/Fm은 상대습도의 일변화와 유사하였고, 광량과 온도의 변화와는 반대현상을 나타내었다. Fig. 12에서와 같이 자생지에서는 제주달구풀이 1,500 μ M의 광량과 25℃ 전후에 만성적인 광억제가 뚜렷하게 발생하는 반면 한라돌창포, 한라구절초, 섬잔대에서는 일시적인 광억제가 발생하였다. 그러나 Fig. 13에서와 같이 저지대의 온실에서는 실험대상 식물 중 제주양시꽃만이 일시적인 광억제가 발생한 반면 다른 모든 식물은 만성적인 광억제에 의하여 광합성 효율이 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 만성적인 억제는 광계 II의 반응중심이 비활성 또는 손상을 입히는 것으로써(Anderson *et al.*, 1997), 식물체에 대한 광합성 기능을 크게 약화시키는 것을 볼 수 있어 저지대에서가 고산식물이 받는 광억제가 더욱 치명적이라고 볼 수 있다.

그리고 고산식물의 엽록소형광은 종간에 다른 특성을 보였는데 Table 9와 같이 Fv/Fm는 한라부추, 한라돌창포, 한라장구채 등 선형인 형태의 잎을 갖는 초본류와 눈향나무, 시로미 등 대부분의 목본류 등 11종의 고산식물은 0.70~0.79로 나타나 그

값이 낮았고, 한라돌쩌귀 등 13종의 초본류와 돌매화나무는 0.80~0.83으로 일반적인 범주에 속하는 것으로 나타났다(Demmig and Bjorkman, 1987). 한편 고산식물의 환경 변화에 대한 적응 능력을 알아보기 위해 NPQ를 조사하였는데, 한라부추나 한라장구새보다 좀비비추나 구름송이풀 등 양지에 자라는 고산식물이 보호능력이 강한 것으로 판단된다. 또한, 구름송이풀, 한라개승마, 한라돌장포 보다는 제주양지꽃, 실앵초, 한라솜다리, 한라구절초, 섬잔대, 두메대극 등이 양지에 자라는 식물중에도 건초지나 나시에 자라는 고산식물이 더욱 보호능력이 강한 것으로 판단된다. 목본류에서도 상록성인 눈향나무와 시로미보다 낙엽성인 백리향, 들쭉나무 등이 보호능력이 강한 것으로 판단된다.

고산식물의 잎의 생장에 따른 F_v/F_m 는 Table 10에서와 같이 실험대상 22종 중 한라부추 등 6종에서 정 또는 역의 상관관계를 나타낸 반면 15종에서는 장소에 관계없이 상관관계를 보이지 않았다. 이처럼 종에 따라 빛을 이용할 수 있는 잠재적인 능력은 유전적 차이에 의해 식물에 따라 차이도 있지만(Ball *et al.*, 1994), Fig. 12와 15에서와 같이 환경요인이 광합성 효율에 영향을 주는 것으로 보아, 기상 등 환경요인 광합성 능력에 주요한 결정변수로 작용하는 것으로 판단된다. 따라서 환경요인이 엽록소형광에 어떠한 영향을 주는지 살펴보면, Table 13과 같이 전체적으로 F_v/F_m 은 상대습도와 정적 상관관계를, 온도와 광량과는 역의 상관관계를 나타냈다. 이는 온도가 높고 광량이 강할수록 전사를 전달할 수 있는 능력, 즉 광합성능력은 작아지고, 상대습도가 높을수록 광합성 능력이 커진다는 것을 알 수 있었다. 그리고 Table 12의 저지대에서는 F_v/F_m 과 광량과는 한라부추, 좀비비추를 제외한 모든 식물에서 역의 상관관계를 보여 광량이 높을수록 광억제가 발생하는 것으로 나타났다. 그리고 F_v/F_m 의 감소는 한라구절초, 섬잔대, 백리향에서는 F_m 의 감소와 밀접한 관계가 있었다. 이와는 달리 제주달구지풀과 눈개쭉부쟁이에서는 F_o 의 감소와 밀접한 관계를 보여 만성적인 광억제가 일어나는 반면 제주양지꽃은 일시적인 광억제가 이루어지는 것으로 판단된다. 이는 Fig. 12에서 보인 광억제 현상과 유사하였으며 특히, Fig. 14의 NPQ와 비교하면 Table 11서 온도나 광량에 의해 일시적인 광억제를 보이는 제주양지꽃, 한라구절초, 백리향이 만성적인 광억제를 보이는 좀비비추, 제주달구지풀, 눈개쭉부쟁이보다 NPQ가 높은 것으로 나타나 NPQ가 고산식물이 저지대에서의 적응력을 규명하는데 중요한 결정변수로 작용할 것으로 판단된다.

따라서, 고산지대에 자라는 식물은 온도, 상대습도, 광량 등 환경적 요인에 대한 영향을 크게 받으며, 백록담일대의 자생지인 경우 고산식물의 생장에 상대습도와 광량도 중요한 요소이나 실질적인 자생지에서의 영향은 낮으며, 가장 중요하게 작용하는 기상요소는 기온인 것으로 판단된다. 또한, 저지대에서도 고지대와 같이 온도, 광량, 습도 등에 의해 크게 영향을 받는다. 더욱이 저지대에서는 Fig. 13에서와 같이 27℃에서 300 μ M 정도의 낮은 광량에서도 광억제가 발생하는 것으로 나타나 온도가 광억제를 유도 또는 촉진시키는 중요한 변수로 보인다. 이러한 결과는 Table 6으로 볼 때 7, 8월에 평균 온도가 27℃로 나타나 강한 광선에 의한 광억제는 더욱 증가할 것으로 판단된다. 이는 저지대에서 고산식물의 적응력을 높이기 위해서는 강한 광선을 차단시키는 것도 중요하지만 생장기간 동안 비교적 낮은 온도를 유지시키는 것이 중요한 것으로 판단된다. 이와 같이 비파괴적인 엽록소형광 측정을 통하여 식물의 생리적 반응 특히, 환경요인의 변화에 따른 영향을 규명하는데 이용이 가능할 뿐만 아니라 고산식물의 저지대에 환경적응 조건을 제시할 수 있는 등 고산식물의 종 보전과 자원적으로 활용하는데 기여할 것으로 판단된다.

VII. 요 약

한라산의 수종 고산식물을 대상으로 저지대 환경에 대한 적응성을 규명하고 그 자원적 활용 가능성을 알아보고자, 1) 백록담일대의 식물상을 파악하고, 2) 자생지와 저지대에서의 잎의 생장, 개화 그리고 종자의 발달 등 생육특성 조사하고, 3) 광합성 효율을 포함한 엽록소형광 특성을 조사하여 비교·분석하였다

한라산 백록담일대에 분포하는 관속식물은 4과 121속 125종 2아종 33변종 2품종으로 총 162분류군인 것으로 나타났는데, 그 중 고산식물은 32과 49속 40종 2아종 15변종 2품종 등 총 59분류군이 분포하는 것으로 나타났다. 그 중 특산식물 22종과 희귀식물 17종이 포함되어 있고 자원적 가치가 높은 것으로 분석되었다.

한라산 고산식물은 대체로 4월 초순부터 생장이 시작되어 8월 중순까지 이루어졌다. 잎의 생장시기는 주로 6월에 집중적으로 이루어지며 생장일수는 대부분 30~60일 사이로 나타나 비교적 짧았다. 고산식물의 개화시기도 비교적 짧게 나타났으며, 초본성 고산식물은 종자가 성숙하는데 대부분 1개월 정도 소요되어 종자발달 기간도 짧은 것으로 나타났다. 저지대에서는 고산지대와 달리 생장주기와 종자발달주기는 길었고 개화주기는 짧게 나타났으나 비교적 식용이 잘 되는 것으로 나타났다.

고산식물의 엽록소형광 변수 중 광합성 효율(F_v/F_m)은 한라부추 등 11종이 0.70~0.79로 낮았고 한라돌쩌귀 등 13종의 초본류와 돌매화나무는 0.80~0.83으로 비일반적인 범위를 보였다. 자생지의 고산식물 대부분은 비교적 높은 광량에서 F_v/F_m 과 F_o 가 동시에 감소되는 일시적 광억제가 나타나는 반면 저지대에서는 F_v/F_m 의 감소와 F_o 의 증가에 의해 일어나는 만성적인 광억제 나타났다. F_v/F_m 은 온도가 16~33°C, 상대습도가 40~90%, 광량 0~2,000 μM 의 환경조건에서 상대습도와 정의 상관관, 온도 또는 광량과는 역의 상관관 나타냈다.

또한, 비광화학적 형광소멸 능력(NPQ)은 양지에 자라는 식물이 습지나 음지에 자라는 식물에 비해 상대적으로 높아 양지에 자라는 식물이 광계 II의 보호기구가 발달한 것으로 나타났다. 한편, 저지대에서는 낮은 광량 하에서도 고온에 의한 광억제 현상이 더욱 많이 일어나는 것으로 나타났다. 그리고 일시적 광억제가 일어나는

제주양지꽃, 한라구절초, 백리향 등의 식물이 만성적인 광억제가 일어나는 좀비비추, 제주탈구지풀, 눈개쭈부쟁이 등의 식물보다 NPQ값이 높았으며, NPQ가 높은 식물일 수록 다른 고산식물보다 저지대 환경에 대한 적응력이 높은 것으로 판단되었다

VII. 인용문헌

- 공우석. 1998. 한라산 고산식물의 분포 특성 대한지리학회지 33(2):191-208
- 김분홍. 1992. 제주식물도감 제주도. 제주 pp.1-714
- 김문홍. 1993 제주도 관속식물의 연구와 제문제 -식물상 및 특산식물의 기재와 식생 대 구분을 중심으로-. 한국생물과학협회 생물과학심포지움 14:109-131
- 김태정. 1996. 한국의 자원식물(Vol. I - V). 서울대학교출판부. 서울
- 김형옥, 손인석. 1985. 한라산천연보호구역학술보고서; 한라산의 기후 개관. 제주도. 제주. pp.32-33
- 도상학, 박수현. 1976 나리동·백록담 화구내의 식물분포 조사연구. 동대논총 5:267-288
- 박만규. 1942. 조선 고산식물목록 조선박물학회지 9(33):1-12
- 박완근, 백원기, 이우철, 안상득. 1997. 만덕봉일대의 자원식물상과 식생 한국자원식물학회지 10(1):64-85
- 박행신, 오문유, 오덕철, 김원택. 1977. 한라산 백록담 분화구내의 생태계에 관한 연구 (I). 제대논문집 7:177-192
- 엄규백. 1962 송백류의 분포를 중심으로 하는 한라산의 수직분포대. 한국식물학회지 5(2):17-20
- 오계철. 1968. 천연보호구역 한라산 및 홍도; 기후와 삼림군집. 문화공보부 서울 pp.68-88
- 이영노. 1968. 천연보호구역 한라산 및 홍도, 특산식물. 문화공보부. 서울. pp.112-126
- 이영노, 이명보. 1957. 한라산 화구내 식물과 토도 식물. 한국약학회지 4(1):21-34
- 이우철. 1996. 한국식물명고. 아카데미서적. 서울. pp.1-1688
- 이창복. 1980. 대한식물도감. 향문사. 서울. pp.1-990.
- 이창복. 1985 한라산의 특산 및 희귀식물. 서울대 농학연구 10(2):1-16
- 임양재. 1970. 한반도의 기후조건과 수종의 분포와의 관계에 관한 연구. 인천교대논문집 5:315-336
- 정병화. 1969 Chocorua산의 식물분포에 관한 생태학적 연구 고대논문집 11:229-241

- 정영호 1989 우리 나라 고산식물의 분포 특성. 자연보존 66:29-38
- 성태현, 이우철. 1965. 한국삼림대 및 적지적수론. 성대논문집 10:329-435
- 차종환. 1969. 한라산 식물의 수직분포. 한국식물학회지 12(4):19-29
- 한라산국립공원관리사무소. 1993. 한라산 백록담 담수적량 보존용역 보고서. p. 212
- 中井猛之進. 1914. 濟州道竝莞島植物調査報告書. 朝鮮總督府. pp 164
- 中井猛之進. 1927. 濟州道高山植物 概況. 科學知識 8(1):38-43
- 森爲 三. 1928. 濟州道所生植物分布. 文教朝鮮 38:33-60
- 武田久吉. 1976. 續原色日本高山植物図鑑(Vol. II). 保育社 pp.1-118
- 武田久吉. 1977. 原色日本高山植物図鑑(Vol. I). 保育社 pp.1-170
- 植木秀幹. 1933. 朝鮮森林植物帶. 朝鮮分類地理 2(2):73-85
- Agakhanjanz, O. and S. W. Breckle. 1995. Origin and evolution of the mountain flora in middle Asia and neighbouring mountain regions. *In: Arctic and Alpine Biodiversity*(Eds. Chapin, F. S. and C. K. Körner). Springer-Verlag. Berlin. pp. 63-80.
- Anderson, J. M., Y. I. Park and W. S. Chow. 1997. Photoinactivation and photoprotection of photosystem II in nature. *Physiologia Plantarum* 100:214-223
- Atkin, O. K., B. Botman and H. Lambers. 1996. The cause of inherently slow growth in alpine plants: An analysis based on the underlying carbon economies of alpine and lowland *Poa* species. *Functional Ecology* 10(6):698-707
- Bahn, M. and C. H. Körner. 1987. Vegetation and phänologie der hochalpinen gipfflur des glungzer in Tirol. *Ber Naturwiss Med Ver Innsbruck* 74:61-80
- Ball, M. C., J. A. Butterworth, J. S. Roden, R. Christian and J. G. Egerton. 1994. Applications of chlorophyll fluorescence to forest ecology. *Australian Journal of Plant Physiology* 22:211-319
- Beatly, J. C. 1974. Effects of rainfall and temperature on the distribution and behavior of *Larrea tridentata* in the Mojave desert of Nevada. *Ecology* 55:245-261

- Billings, W. D. 1974. Adaptations and origins of alpine plants. *Arctic and Alpine Research* 6:126-142
- Billings, W. D. 1988. Alpine vegetation. In: North American terrestrial vegetation (Eds. Barbour M. G. and W. D. Billings) Cambridge University Press, Cambridge, pp.391-420
- 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. Bjorkman, 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. 1992. Photoprotection and other responses of plants to high light stress. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 43:599-626
- Kamaluddin, M. and J. Grace. 1992. Photoinhibition and light accimilation in seedings of *Bischofia javanica*, a tropical forest tree from Asia. *Annals Botany* 69:47-52
- Körner, C. 1995. Alpine plant diversity: A global survey and functional interpretations. In: Arctic and alpine biodiversity: Patterns, causes and ecosystem consequences (Eds. Chapin, F. S. and C. Körner), Springer-Verlag Berlin Heigelberg New York. pp.45-62
- Körner, C. and S. Pelaez Menendez-Riedl. 1989. The significance of deveopmental aspects in plant growth analysis. In: Causes and consequences of variation in growth rate and productivity of higher plants (Eds H. Lambers., M. L

- Cambridge., H. Konings and T. L. Pons). SPB Acad. Publ The Hague. pp.141-157
- Krause, G. H. and E. Weis. 1991. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basis. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 42:313-349
- Krause, G. H. 1988. Photoinhibition of photosynthesis. An evaluation of damaging and protective mechanisms. *Physiologia Plantarum* 74:566-574
- Larcher W. 1995. Physiological plant ecology(3rd ed). Springer-Verlag, New York pp.1-305
- Lee C. B., C. H. Lee, H. S. Chang and S. B. Ha, 1995, Mercury-induced light dependent alterations of chlorophyll a fluorescence kinetics in barley leaves. *Journal of Plant Biology* 38(1):11-18
- Long S. P., S. Humpries and P. G. Falkowski. 1994. Photoinhibition of photosynthesis in nature. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 45:633-662
- Ludlow, M. M. 1987. Light stress at high temperature. *In: Photoinhibition*(Ed Kyle, D. J., C. B. Osmond and C. J Arntzen), Elsevier, Amsterdam. pp89-109
- May, D. E. and P. J. Webber. 1982. Spatial and temporal variation of the vegetation and its productivity, Niwot Ridge, Colorado. *In: Ecological studies in the Colorado alpine: A festschrift for John Marr*(Ed. Halfpenny, J. C.). Institute for Arctic and Alpine Research, Boulder, Occasional Paper, 37:35-62
- Moony, H. A. and W. D. Billings. 1965. Effects of altitude on carbohydrate content of mountain plants. *Ecology* 46(5):750-751
- Norman, J. M. and G. S. Campbell. 1989. Canopy structure. *In: Plant Physiological Ecology*(Ed Percy, R. W., J. Ehleringer, H. A. Mooney and P W. Rundel), Chapman and Hall, London, New York. pp.301-325
- Ogren 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., V. M. Hurry, M. G. Öquist and P. A. Huner 1992. Differential resistance of frost-hardened and non-hardened winter rye to photoinhibition of photosynthesis is due to an increased capacity of frost-hardened rye to keep Q_A oxidized under similar irradiance and temperature. *Photosynthetica* 101:231-235
- Osmond, C. B. 1994. What is photoinhibition? Some insights from comparisons of sun and shade plants. *In: Photoinhibition of photosynthesis: From molecular mechanisms to the field*(Eds. Baker, N. R. and J. R. Bowyer), Bios Scientific Publications, Oxford, pp.1-24
- Pilon, J. J., H. Lamber, W. Baas, M. Tosserams, J. Rosema and O. K. Atkin. 1999. Leaf waxes of slow-growing alpine and fast-growing lowland *Poa* species: Inherent differences and responses to UV-B radiation. *Phytochemistry* 50(4):571-580
- 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 and Environment* 6:117-123
- Russel, A. W., C. Critchley, S. A. Robinson, L. A. Franklin, G. R. Seaton, W. S. Chow, J. M. Anderson and C. B. Osmond. 1995. Photosystem II regulation and dynamics of the chloroplast D1 protein in *Arabidopsis* leaves during photosynthesis and photoinhibition. *Plant Physiology* 107:943-952
- Seifriz, W. 1935. The altitudinal distribution of lichens and mosses on Mt. Gede. *Java Journal of Ecology* 7:307-313
- Shang, W. and J. Feirabend. 1998. Slow turnover of the D1 reaction center protein of photosystem II in leaves of high mountain plants. *FEBS Letters* 425(1):97-100
- Stenstrom, M., F. Gugerli and G. H. R. Henry. 1997. Response of *Saxifraga oppositifolia* L. to simulated climate change at three contrasting latitudes. *Global Change Biology* 3(1):44-54
- 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 Physiology* 100:1310-1317

Weaver, J. E. and F. E. Clements. 1966. Plant ecology. McGraw-Hill Book Co. Inc., New York, pp.1-601

Wildi, B. and C. Lutz. 1996. Antioxidant composition of selected high alpine species from different altitudes. *Plant, Cell and Environment* 19:138-146

Appendix 1 List of the vascular plants in Paeknokdam, the crater of Mt. Halla

Plant name	¹⁾ Publication				Usefulness ²⁾	Remark ³⁾
	LL	DP	PA	KO		
Family 1. Lycopodiaceae 석송과						
<i>Lycopodium serratum</i> 땃뿔	○	○	○	○	O	
<i>L. chinense</i> 다람쥐꼬리 ^{*)}				○	O	
<i>L. clavatum</i> var. <i>nipponicum</i> 석송			○			
<i>L. cryptomerinum</i> 섬솔석송			○			
Family 2. Ophioglossaceae 고사삼과						
<i>Japonobotrychium virginianum</i> 늦고사리삼			○			
Family 3. Aspidiaceae 먼마과						
<i>Dryopteris crassirhizoma</i> 관중	○	○	○	○	E, O, M	
<i>D. monticola</i> 왕지네고사리	○	○				
<i>D. varia</i> 족제비고사리	○	○				
<i>D. lacera</i> 비늘고사리		○				
<i>D. austriaca</i> 퍼진고사리			○			
<i>Lastrea oligophlebia</i> var. <i>elegans</i> 각시고사리 ^{*)}				○	U	RP
<i>Rumohra muquelliana</i> 왓살고사리			○	○	U	
<i>R. maximowiczii</i> 진저리고사리	○	○		○	U	
<i>Athyrium reflexipinnatum</i> 거꾸리개고사리 ^{*)}				○	U	
<i>A. vidalii</i> 산개고사리 ^{*)}				○	U	RP
<i>A. yokoscense</i> 뱀고사리	○	○	○			
<i>A. crenatum</i> 두메고사리			○			
<i>Phegopteris polypodioides</i> 가래고사리	○	○	○	○	O	
<i>Thelypteris japonica</i> 지네고사리	○	○				
Family 4. Aspleniaceae 꼬리고사리과						
<i>Asplenium incisum</i> 꼬리고사리	○	○		○	U	
Family 5. Polypodiaceae 고란초과						
<i>Lepisorus ussuriensis</i> 산일엽초 ^{*)}				○	O, M	
<i>L. thunbergianus</i> 일엽초			○			
Family 6. Taxaceae 주목과						
<i>Taxus cuspidata</i> 주목	○		○	○	E, O, I, M	
Family 7. Pinaceae 소나무과						
<i>Abies koreana</i> 구상나무	○	○	○	○	O, I, M	EP
Family 8. Cupressaceae 측백나무과						
<i>Juniperus chinensis</i> var. <i>sargentii</i> 눈향나무	○	○	○	○	O, M	RP, AP
Family 9. Gramineae 벼과						
<i>Agrostis flaccida</i> 뿔겨이삭	○	○	○			

Continued from previous page

Plant name	¹⁾ Publication				Usefulness ²⁾	Remark ³⁾
	LL	DP	PA	KO		
<i>A. flaccida</i> var. <i>trinii</i> 검정겨이삭 ^{*)}				○	P	AP
<i>A. matsumurae</i> 겨이삭	○	○	○			
<i>Deschampsia caespitosa</i> 쯔새풀 ^{*)}				○	P	RP
<i>Festuca ovina</i> 김의털	○	○		○	P	
<i>F. ovina</i> var. <i>coreana</i> 참김의털				○		
<i>Melica nutans</i> 왕쌀새 ^{*)}				○	P	
<i>Zoysia japonica</i> 잔디			○	○	O	
<i>Arundinella hirta</i> 새	○	○		○	P	
<i>A. hirta</i> var. <i>hirtiglumis</i> 털새	○	○		○	P	
<i>Koeleria gracilis</i> 도랭이피	○	○				
<i>Trisetum bifidum</i> 잡자리피	○	○				
<i>Poa sphondylodes</i> 포아풀	○	○				
<i>P. nemoralis</i> var. <i>glauca</i> 자주포아풀				○		
<i>Calamagrostis arundinacea</i> var. <i>brachytricha</i> 실새풀				○		
<i>Muhlenbergia hakonensis</i> 선취꼬리새				○		
Family 10. Cyperaceae 사초과						
<i>Carex nervata</i> 양지사초 ^{*)}				○	P	
<i>C. erythrobasis</i> 한라사초		○	○	○	P	EP, AP
<i>C. tenuiformis</i> 나도그늘사초 ^{*)}				○	P	RP, AP
<i>C. teinogyna</i> 폭이사초 ^{*)}				○	P	RP
<i>C. metallica</i> 흰이사초 ^{*)}				○	P	RP
<i>C. lanceolata</i> 그늘사초	○	○				
<i>C. capillacea</i> 잔솔잎사초				○		
<i>C. conica</i> 애기사초				○		
<i>C. distantiflora</i> 청피사초				○		
<i>Cleistogenes hackelu</i> 대새풀 ^{*)}				○	P	
Family 11. Araceae 천남성과						
<i>Arisaema robustum</i> 넓은잎천남성 ^{*)}				○	O, M	
<i>A. ringens</i> var. <i>praecox</i> 큰천남성	○	○	○			
Family 12. Juncaceae 갈대과						
<i>Juncus bufonius</i> 애기비녀골풀	○	○				
<i>J. hallaisanensis</i> 한라비녀골풀				○		
<i>J. effusus</i> var. <i>decipiens</i> 골풀		○	○	○	O, I, M	
<i>Luzula oligantha</i> 두메팽의밥	○	○	○			

Continued from previous page.

Plant name	Publication ¹⁾				Usefulness ²⁾	Remark ³⁾
	LL	DP	PA	KO		
Family 13. Liliaceae 백합과						
<i>Tofieldia fauriei</i> 한라돌창포	○	○	○	○	U	AP
<i>Hosta minor</i> 좀비비추	○	○	○	○	E, O	AP
<i>Hemerocallis minor</i> 애기원추리	○	○	○	○	E, O, M, N	
<i>Allium taquetii</i> 한라부추	○	○	○	○	E, I, M	RP, AP
<i>A. sacculiferum</i> 참산부추				○		
<i>Polygonatum odoratum</i> var. <i>pluriflorum</i> 등굴레			○	○	E, O, M	
<i>Majanthemum bifolium</i> 두루미꽃	○	○	○	○	O	
<i>Disporum smilacinum</i> 애기나리	○	○		○	E, M	
<i>Smilax sieboldii</i> 청가시덩굴*)				○	E, O, M	
<i>Clintonia udensis</i> 나도옥잠화	○	○	○	○	E, O	
<i>Veratrum versicolor</i> 흰여로*)				○	O, M	
<i>V. maximowiczii</i> 파란여로	○	○				
Family 14. Orchidaceae 난초과						
<i>Gymnadenia conopsea</i> 손바닥난초	○	○	○	○	U	RP, AP
<i>Platanthera mandarinorum</i> 산제비난	○	○		○	O	
<i>P. maximowicziana</i> 제비난초	○	○				
<i>P. ophrydioides</i> 구름제비난	○	○	○			
<i>Spiranthes sinensis</i> 타래난초*)				○	O	
<i>Goodyera repens</i> 애기사철란*)				○	U	RP, AP
<i>Liparis japonica</i> 키다리난초	○	○				
Family 15. Salicaceae 버드나무과						
<i>Salix hallaisanensis</i> 떡버들	○	○	○	○	O, I, M	EP, AP
<i>S. blinii</i> 제주산버들	○	○		○	U	EP, AP
<i>S. hulteni</i> 호랑버들				○		
Family 16. Betulaceae 자작나무과						
<i>Betula ermani</i> var. <i>saitoana</i> 줄고채목	○	○	○	○	O, I, M	EP, AP
<i>B. ermanii</i> var. <i>genuina</i> 고채목				○		
Family 17. Aristolochiaceae 귀방울덩굴과						
<i>Asarum maculatum</i> 개족도리	○	○	○	○	O, M	EP
<i>A. sieboldii</i> 족도리		○		○	O, M	
Family 18. Polygonaceae 마디풀과						
<i>Bistorta alopecuroides</i> 가는범꼬리	○	○	○	○	U	RP
<i>B. suffulta</i> 눈범꼬리	○	○	○	○	E, N	RP, AP
<i>B. tenuicaulis</i> 이른범꼬리*)				○	U	RP

Continued from previous page.

Plant name	Publication				Usefulness ²⁾	Remark ³⁾
	LL	DP	PA	KO		
<i>Reynoutria elliptica</i> 호장근	○	○	○	○	E, O, M, N	
Family 19. Caryophyllaceae 석죽과						
<i>Pseudostellaria palibiniana</i> 큰개별꽃 ^{*)}				○	E, M	
<i>Cerastium holosteoides</i> var. <i>hallaisanense</i> 점나도나물	○	○				
<i>C. caespitosum</i> var. <i>hallaisanense</i> 섬점나도나물				○	E	
<i>Dianthus superbis</i> var. <i>longicalycinus</i> 술패랭이	○	○	○	○	M, O	
<i>D. superbis</i> var. <i>speciosus</i> 구름패랭이꽃				○		
<i>Silene fasciculata</i> 한라장구채 ^{*)}				○	U	EP, AP
<i>S. tenuis</i> 가는다리장구채				○		
Family 20. Ranunculaceae 미나리아재비과						
<i>Anemone stolonifera</i> 세바람꽃	○	○		○	U	RP
<i>Ranunculus borealis</i> 구름미나리아재비	○	○	○	○	U	EP, AP
<i>R. acris</i> 애기미나리아재비				○		
<i>R. acris</i> var. <i>japonicus</i> 미나리아재비	○	○				
<i>R. crucilobus</i> var. <i>chrysotrichus</i> 바위미나리아재비	○	○	○			
<i>Thalictrum filamentosum</i> 산평의다리	○	○	○	○	E	AP
<i>T. minus</i> var. <i>hypoleucum</i> 좀평의다리 ^{*)}				○	E, O	
<i>T. uchiyamai</i> 자주평의다리	○	○	○	○	E	EP, AP
<i>T. aquilegifolium</i> 평의다리	○	○				
<i>T. taquetii</i> 한라평의다리	○	○	○			
<i>T. actaeifolium</i> 참평의다리				○		
<i>Aquilegia buergeriana</i> var. <i>oxysepala</i> 매발톱꽃 ^{*)}				○	O	RP ^{*)}
<i>Aconitum napiforme</i> 한라돌쩌귀	○	○		○	O, M	RP, AP
<i>A. pseudo-laeve</i> 진범	○	○				
<i>Clematis chiisanensis</i> 누른종덩굴	○	○	○	○	O, M	EP, AP
<i>C. koreana</i> 세잎종덩굴				○		
<i>Cimicifuga japonica</i> 왜송마	○	○				
Family 21. Berberidaceae 매자나무과						
<i>Berberis amurensis</i> var. <i>quelpaertensis</i> 섬매발톱나무	○	○	○	○	E, O, I, M	EP, AP
Family 22. Cruciferae 십자화과						
<i>Arabis serrata</i> var. <i>hallaisanensis</i> 섬바위장대	○	○		○	U	EP, AP
<i>A. gemmifera</i> 큰산장대				○	E	AP
<i>A. glauca</i> 바위장대				○		
Family 23. Crassulaceae 돌나무과						
<i>Orostachys sikokianus</i> 난장이바위솔	○	○		○	O	

Continued from previous page.

Plant name	¹⁾ Publication				Usefulness ²⁾	Remark ³⁾
	LL	DP	PA	KO		
Family 24. Saxifragaceae 범의귀과						
<i>Saxifraga fortunei</i> var. <i>incislobata</i> 바위떡풀	○			○	E, O, M	
<i>S. fortunei</i> var. <i>pilosissima</i> 털바위떡풀				○		
<i>Parnassia alpicola</i> 애기물매화				○		
<i>P. palustris</i> 물매화	○	○		○	O, N	AP
<i>Ribes maximowiczianum</i> 명자순	○	○	○	○	U	
<i>Hydrangea petiolaris</i> 등수국 ^{*)}				○	O, M, N	
Family 25. Rosaceae 장미과						
<i>Aruncus aethusifolius</i> 한라개송마	○	○	○	○	U	EP
<i>Potentilla stolonifera</i> var. <i>quelpaertensis</i> 제주양지꽃 ^{*)}				○	E, O	AP
<i>P. yokusaiana</i> 민눈양지꽃	○	○		○	E	
<i>P. dickinsii</i> var. <i>breviseta</i> 돌양지꽃	○	○	○			
<i>P. matsumurae</i> 쏜양지꽃	○	○	○			
<i>P. fragarioides</i> var. <i>major</i> 양지꽃				○		
<i>Sibbaldia coreana</i> 너도양지꽃				○		
<i>Fragaria nipponica</i> 흰딸딸기	○	○	○	○	M	RP
<i>Rubus oldhamii</i> 줄딸기				○	E, M, N	
<i>Geum japonicum</i> 뱀무				○		
<i>Sanguisorba officinalis</i> 오이풀	○	○	○	○	E, O, M	
<i>S. globularis</i> 구슬오이풀				○		
<i>Prunus maximowiczii</i> 산개벚나무	○	○		○	U	
<i>P. leveilleana</i> var. <i>typica</i> 개벚나무				○		
<i>Sorbus commixta</i> 마가목	○	○	○	○	O, I, M	
<i>S. alnifolia</i> 팔배나무 ^{*)}				○	E, I, O, M	
Family 26. Leguminosae 콩과						
<i>Astragalus membranaceus</i> var. <i>alpinus</i> 제주황기	○	○	○	○	U	EP, AP
<i>Trifolium lupinaster</i> var. <i>alpinum</i> 제주달구지풀	○	○	○	○	O, P, N	EP, AP
<i>T. repens</i> 토끼풀				○		
<i>Lespedeza bicolor</i> var. <i>japonica</i> 싸리	○	○				
Family 27. Geraniaceae 쥐손이풀과						
<i>Geranium tripartitum</i> 쏜쥐손이 ^{*)}				○	M	RP
<i>G. koreanum</i> var. <i>hirsutum</i> 털이질풀	○	○				
<i>G. koraiense</i> 참이질풀				○		
<i>G. shikokianum</i> 사국이질풀	○			○		
<i>G. shikokianum</i> var. <i>quelpaertense</i> 섬쥐손이	○	○	○	○	M	EP, AP

Continued from previous page.

Plant name	Publication ¹⁾				Usefulness ²⁾	Remark ³⁾
	LL	DP	PA	KO		
<i>G. davuricum</i> 산취송이	○	○	○	○	U	RP, AP
<i>G. yesoense</i> var. <i>yesoense</i>			○			
Family 28. Oxalidaceae 켈이밥과						
<i>Oxalis acetosella</i> 애기켈이밥	○	○	○	○	E, O, M	AP
<i>O. corniculata</i> 켈이밥		○				
Family 29. Polygalaceae 원지과						
<i>Polygala japonica</i> 애기풀	○	○	○	○	O, M	
Family 30. Euphorbiaceae 대극과						
<i>Euphorbia fauriei</i> 두메대극	○	○	○	○	O, M	EP, AP
Family 31. Empetraceae 시로미과						
<i>Empetrum nigrum</i> var. <i>japonicum</i> 시로미	○	○	○	○	E, O, M	RP, AP
Family 32. Celastraceae 노박덩굴과						
<i>Euonymus alatus</i> 화살나무				○		
Family 33. Tiliaceae 피나무과						
<i>Tilia taquetii</i> 뽕잎피나무				○		
Family 34. Hypericaceae 물레나물과						
<i>Hypericum laxum</i> 좀고추나물 ^{*)}				○	E, O, M	
<i>H. variotii</i> 다복고추나물	○	○	○			
<i>H. japonicum</i> 애기고추나물		○				
<i>Triadenum japonicum</i> 물고추나물	○			○	U	
Family 35. Violaceae 제비꽃과						
<i>Viola patrinii</i> 흰제비꽃 ^{*)}				○	E, O, M	
<i>V. acuminata</i> 줄방제비꽃	○	○		○	E, O, M	
<i>V. crassa</i> 구름털제비꽃 ^{*)}				○	U	AP
<i>V. boissieuana</i> 각시제비꽃 ^{*)}				○	E, O, M	RP
<i>V. grypoceras</i> 낚시제비꽃 ^{*)}				○	E, O, M	
<i>V. collina</i> 둥근털제비꽃 ^{*)}				○	E, O, M	
<i>V. mandshurica</i> 제비꽃	○	○				
<i>V. selkirkii</i> 피제비꽃	○	○				
<i>V. uniflora</i> 노랑제비꽃	○	○				
Family 36. Onagraceae 바늘꽃과						
<i>Circaea alpina</i> 쥐털이슬	○	○	○	○	U	
<i>Epilobium cephalostigma</i> 들바늘꽃	○	○	○			
<i>E. angulatum</i> 두메바늘꽃				○		
<i>E. nudicaupum</i> 넓은잎바늘꽃				○		

Continued from previous page.

Plant name	1) Publication				Usefulness ²⁾	Remark ³⁾
	LL	DP	PA	KO		
Family 37. Halorrhagaceae 개미탑과						
<i>Halorrhagis micrantha</i> 개미탑	○	○	○			
Family 38. Umbelliferae 산형과						
<i>Bupleurum longiradiatum</i> 개시호	○	○	○	○	M, E	
<i>B. leveillei</i> 좀시호	○	○				
<i>Libanotis coreana</i> 털기름나물	○	○		○	M, E	AP
<i>Peucedanum terebinthaceum</i> 기름나물	○	○				
<i>P. coreanum</i> 두메기름나물				○		
<i>Cnidium tachuroei</i> 개회향	○	○	○	○	U	AP
<i>Angelica decursiva</i> 바디나물*)				○	E, M	
<i>A. fallax</i> 제주사약채	○	○				
<i>A. gigas</i> 참당귀				○		
<i>A. ubatakensis</i>				○		
<i>Cryptotaenia japonica</i> 참나물				○		
<i>Osmorhiza aristata</i> 긴사상자				○		
Family 39. Diapensiaceae 돌매화나무과						
<i>Diapensia lapponica</i> var. <i>obovata</i> 돌매화나무	○	○	○	○	O, M	RP, AP
Family 40. Pyrolaceae 노루발과						
<i>Chimaphila japonica</i> 매화노루발*)				○	O, M	
Family 41. Ericaceae 진달래과						
<i>Rhododendron yedoense</i> var. <i>poukhanense</i> 산철쭉	○	○	○	○	O, M	
<i>R. mucronulatum</i> var. <i>ciliatum</i> 털진달래	○	○	○	○	E, O, M	
<i>R. dauricum</i> 산진달래	○	○	○			
<i>Hugeria japonica</i> 산매자나무*)				○	U	RP
<i>Vaccinium uliginosum</i> 들쭉나무	○	○	○	○	E, M	RP, AP
Family 42. Primulaceae 앵초과						
<i>Primula jesoana</i> 큰앵초	○	○	○	○	E, O, M	AP
<i>P. modesta</i> var. <i>fauriae</i> 설앵초	○	○	○	○	E, O, M	RP, AP
<i>P. farinosa</i> ssp. <i>fauriei</i>				○		
Family 43. Gentianaceae 용담과						
<i>Swertia tetrapetala</i> 네귀쓴풀	○	○	○	○	M	AP
<i>Gentiana squarrosa</i> 구슬봉이	○	○	○	○	O, M	
<i>G. squarrosa</i> var. <i>microphylla</i> 좀구슬봉이	○					
<i>G. scabra</i> var. <i>buergeri</i> 용담	○	○	○			
<i>G. pseudo-aquatica</i> 흰그늘용담				○ ○	O, M	RP, AP

Continued from previous page.

Plant name	Publication ¹⁾				Usefulness ²⁾	Remark ³⁾	
	LL	DP	PA	KO			
<i>Tripterospermum japonicum</i> 덩굴용담*)				○	U	RP	
Family 44. Asclepiadaceae 박주가리과							
<i>Cynanchum ascyrifolium</i> 민백미꽃*)				○	O, M		
Family 45. Labiatae 꿀풀과							
<i>Thymus quinquecostatus</i> 백리향	○		○	○	E, Q, I, M, N	AP	
<i>Prunella vulgaris</i> var. <i>lilacina</i> 알풀	○	○	○	○	E, O, M, N		
<i>Elsholtzia minima</i> 좀향유	○	○		○	U	AP	
Family 46. Scrophulariaceae 현삼과							
<i>Melampyrum roseum</i> 꽃벼느리밥풀	○	○	○	○	O, N		
<i>Euphrasia coreana</i> 갈끔좁쌀풀	○	○	○	○	E, O	EP	
<i>E. mucronulata</i> 애기좁쌀풀				○			
<i>Pedicularis resupinata</i> 송이풀	○	○		○	E, O, M, N		
<i>P. resupinata</i> var. <i>oppositifolia</i> 마주송이풀	○	○	○	○	E, O, M, N	RP	
<i>P. verticillata</i> 구름송이풀			○	○	E, O, M, N	AP	
<i>P. amaena</i> 섬송이풀	○						
<i>P. spicata</i> 이삭송이풀	○	○	○				
Family 47. Plantaginaceae 질경이과							
<i>Plantago asiatica</i> 질경이*)				○	E, M		
<i>P. alata</i> 섬질경이	○	○	○				
Family 48. Rubiaceae 꼭두서니과							
<i>Galium pusillum</i> 애기솔나물	○	○	○	○	E, O, N	EP, AP	
<i>G. kamtschaticum</i> 털둥근갈퀴*)				○	U	AP	
<i>G. gracilens</i> 좀네잎갈퀴	○	○					
<i>Mitchella undulata</i> 호자덩굴*)				○	E, P		
Family 49. Caprifoliaceae 인동과							
<i>Viburnum furcatum</i> 분단나무*)				○	O	RP	
<i>V. erosum</i> var. <i>incisa</i>				○			
<i>Weigela subsessilis</i> 병꽃나무	○			○	O, N	EP	
<i>W. florida</i> 붉은병꽃나무			○	○	O, N		
<i>Lonicera sachalinensis</i> 홍피불나무	○	○	○	○	U		
<i>L. chrysantha</i> 산피불나무	○	○					
<i>L. coerulea</i> var. <i>emphylocalyx</i> 개들쭉	○	○					
<i>L. coerulea</i> var. <i>edulis</i> 땡땡이나무				○	○	U	AP
<i>L. coerulea</i> var. <i>glabrescens</i> 넓은잎땡땡이				○			
Family 50. Valerianaceae 마타리과							

Continued from previous page.

Plant name	Publication				Usefulness ²⁾	Remark ³⁾
	LL	DP	PA	KO		
<i>C. rhinoceros</i> for. <i>albiflorum</i> 흰바늘영경취 ^{*)}				○	E, M	EP, AP
<i>C. japonicum</i> var. <i>spinosissimum</i> 가시영경취 ^{*)}				○	U	
<i>Saussurea gracilis</i> 은분취	○	○	○	○	U	
<i>Synurus deltoides</i> 수리취			○	○	E, M	RP
<i>Solidago virga-aurea</i> var. <i>asiatica</i> 미역취	○	○	○	○	E, O, M	
<i>Picris hieracioides</i> var. <i>glabrescens</i> 쇠서나물	○	○	○	○	E, M	AP
<i>Taraxacum hallaisanensis</i> 쯔민들레	○	○	○	○	E, O, M, N	EP, AP
<i>T. platycarpum</i> 민들레			○			
<i>Senecio nemorensis</i> 금방망이	○	○		○	E, O	RP, AP
<i>S. flammeus</i> 산썸방망이	○	○	○	○	E, O	RP
<i>Chrysanthemum zawadskii</i> ssp. <i>coreanum</i> 한라구절초	○	○	○	○	U	RP, AP
<i>Youngia denticulata</i> var. <i>alpina</i> 한라고들빼기 ^{*)}				○	E, O, M	EP
<i>Leontopodium hallaisanense</i> 한라썸다리 ^{*)}				○	U	EP, AP
<i>L. japonicum</i> 왜썸다리	○	○				
<i>Gnaphalium hypoleucum</i> 금떡쭉	○	○				
<i>G. luteo-album</i> var. <i>multiceps</i> 떡쭉	○	○				
<i>Ixeris chinensis</i> 선썸바귀	○	○				
<i>I. dentata</i> 썸바귀				○		
<i>Lactuca raddeana</i> 산썸바귀	○	○	○			
<i>L. chelidoniifolia</i> 까치고들빼기	○	○				

^{*)} Newly identified to each category in this research

¹⁾ Reported by LL(Lee and Lee, 1957), DP(Do and Park, 1976), PA(Park *et al.*, 1978), KO(this research).

²⁾ Described at Table 3.

³⁾ EP : Endemic plant, RP : Rare plant, AP : Alpine plant

감사의 글

지난 3년 6개월 동안 한라산과 함께 생활하면서 시작된 연구의 한 과정을 마무리하고 이제 또 다른 시작이라는 문턱에서 그 동안 저에게 많은 도움을 베풀어주신 분들에게 감사의 마음을 전하고자 합니다.

먼저 짧지 않은 지난 10여년 동안 부족한 저에게 많은 가르침을 주신 고석찬 교수님에게 감사드립니다. 부족한 제 논문 심사를 맡아 많은 조언을 해주신 서울대학교 권영명 교수님, 제주대학교 허인옥 교수님, 김문홍 교수님, 부산대학교 이춘환 교수님께 진심으로 감사드립니다. 그리고 많은 가르침으로 제 연구에 토대를 만들어주신 제주대학교 생물학과 오문유 교수님, 이용필 교수님, 오덕철 교수님, 김원택 교수님, 이화자 교수님, 김세재 교수님께 감사드립니다.

아울러 연구를 수행함에 있어 한라산 산행에 늘 함께하고 많은 도움을 주신 한라산국립공원 신용만 형님, 한라산 정상에 함께 방새우며 도와준 오희삼님, 그리고 한라산국립공원 직원 모두에게 감사드립니다.

아버지... 나의 삶에 든든한 버팀목이 되어주시는 아버지의 헌신적인 사랑에 죄송한 마음뿐입니다. 나의 가족들... 어려운 가운데고 많은 도움을 준 형님, 형수님, 동생들과 지혁이 지성이를 끼우리라 고생하신 어머니, 아버님을 비롯한 나의 처가에 형님과 동생들의 도움이 없었다면 오늘 이 순간은 없었을 것입니다. 그리고 본 논문이 나오기까지 늘 함께 해준 명옥이와 근희 또한 나의 가족임을...

끝으로 지난 3년 동안 지치고 힘든 삶 속에서 희망과 믿음으로 나에게 힘을 준 나의 영원한 벗인 아내 희재에게 그리고 바쁘다는 이유로 함께 지내지 못해 늘 미안한 사랑스러운 아들 지혁이와 학위논문 발표와 함께 태어난 지성이에게 나의 사랑을 이 논문으로 대신합니다.

이제 다시 한라산 산행이 시작되겠지요...