

## 한라산 구상나무 건전개체와 쇠약개체의 항산화효소활성 및 토양특성

林鍾煥<sup>1</sup> · 禹秀泳<sup>2\*</sup> · 權美貞<sup>3</sup> · 金暎傑<sup>1</sup>

<sup>1</sup>국립산림과학원 산림환경부 산림생태과, <sup>2</sup>서울시립대학교 환경원예학과,  
<sup>3</sup>서울대학교 농업과학공동기센터

## Antioxidant Enzyme Activities and Soil Properties of Healthy and Declining *Abies koreana* (Wils.) in Mt. Halla

Jong-Hwan Lim<sup>1</sup>, Su-Young Woo<sup>2\*</sup>, Mi Jeong Kwon<sup>3</sup> and Young Kul Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Forest Environment, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

<sup>2</sup>Department of Environmental Horticulture, University of Seoul, Seoul 130-743, Korea

<sup>3</sup>National Instrumentation Center for Environmental Management,  
Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

**요 약:** 구상나무의 스트레스 적응능력을 보여주는 항산화효소활성, 건전개체와 쇠약한 개체의 토양의 물리화학적 특성을 알아보기 위하여 윗세오름, 영실 그리고 성관악(진달래밭)지역의 건전개체와 쇠약개체를 조사·분석하였다. 항산화효소활성으로는 Ascorbate peroxidase(APX)와 Glutathione reductase(GR)를, 토양특성으로는 토성, pH, 유기물함량, 전 질소함량, 유효인산, 양이온치환용량, 양이온의 함량을 분석하였고, 구상나무 잎을 채취하여 식물체의 양분함량을 분석하였다. APX, GR 효소 활성에 있어서 건전개체와 쇠약한 개체 사이에는 큰 차이가 없었으나, 계절적으로 6월과 8월에 비해 9월의 항산화효소 활성도가 낮게 나타났다. 토양분석 결과 유기물함량, 전질소, 유효인산, 양이온치환용량, 양이온 함량이 건전개체가 있는 곳에 비해 쇠약한 개체가 있는 곳의 토양이 낮게 나타났다.

**Abstract:** In order to examine the differences in antioxidant enzyme activities which represent defence mechanism to stressful environments, and soil properties between healthy and declining (or unhealthy) trees, we selected three sites, Witscorum, Youngsil and Sungpanak (Jindallebat). Antioxidant enzymes including Ascorbate peroxidase (APX) and Glutathione Reductase (GR), forest soil properties including soil texture, soil pH, organic matter, total nitrogen, available phosphate, cation exchange capacity, exchangeable cation content and nutrient contents in leaves of *Abies koreana* (Korean fir) trees were analyzed. There were no significant differences between healthy and declining trees in GR activity. However, seasonal difference in antioxidant enzyme activity was observed. GR activity was lower in June and August than that of September. Soil chemical and physical properties of each site showed a tendency that organic content, total nitrogen content, available phosphorus, cation exchange capacity and cation content were lower at the site of declining trees than the site of healthy trees.

**Key words :** ascorbate peroxidase, cation exchange capacity, exchangeable cation content, glutathione reductase, soil pH

### 서 론

구상나무(*Abies koreana*)는 1915년 E.H. Wilson과 中井에 의해서 처음 새로운 종으로 명명된 후 한국, 일본, 중국, 북미대륙 및 러시아의 아한대지역과 한대지역에 주로 분포하는 40여 종류의 전나무속 중 한국의 특산 수종으로 인정되어 왔으며, 열매의 색깔에 따라, 구상나무 (*A. koreana* for. *koreana*), 푸른구상나무 (*A. koreana* for.

*chlorocarpa*) 검은구상나무 (*A. koreana* for. *nigrocarpa*) 붉은 구상나무(*A. koreana* for. *rubrocarpa*) 등으로 구분된다(이창복, 1970). 구상나무는 한라산, 지리산, 덕유산 및 가야산의 아고산지대에 분포하고 있으며(이윤원과 홍성천 1995), 과거의 기록에는 그 외에도 무등산, 백양산, 가지산, 백운산에도 분포한다고 하였으나(이창복, 1970) 최근 이 지역에서는 발견되지 않고 있다. 구상나무의 수직적 분포는 한라산과 지리산에서는 표고 1,000m이상, 덕유산은 1,350m~1,590m, 가야산은 1,350m~1,420m에 많이 분포하고 있다고 하는데(이윤원과 홍성천, 1995; 이창복,

\*Corresponding author  
E-mail: wsy@uos.ac.kr

1970; 차종환, 1969), 숲으로 보느냐 아니면 개체목도 포함하느냐 등의 시각을 비롯한 조사자간 관찰결과의 차이로 인해 여기에는 다소 이견이 있다.

한라산 구상나무림에 대하여 가장 많은 연구자료는 식물사회학적 식생체계에 대한 것으로 보인다(강상준 등, 1997; 이윤원과 홍성천, 1995; 송종석, 1991; 임양재 등, 1990; 김문홍과 남정현, 1985; Yim and Kim, 1990; Song and Nakanishi, 1985). 아울러 최근 몇몇 연구에서는 한라산과 지리산 등의 구상나무림이 쇠퇴하고 있음을 보고하고 있고(김갑태 등, 1997), 이러한 원인으로 강풍, 겨울철 한건풍 및 한랭한 여름(강상준 등, 1997), 겨울철 가뭄(구경아 등, 2001), 종관기상보다는 미기후적 특성(이창석과 조현재, 1993) 등 다양한 가설이 제시되어 왔다. 김은식 등(1994)은 매우 많은 연륜 자료를 이용하여, 기상, 대기오염 등 다양한 요소와 성장과의 관계를 분석한 결과 자연적 교란과 인위적 교란의 복합적 요인이었을 것이라 추정하였다.

그러나, 자생지에 서있는 구상나무에 대한 수목생리학적 연구는 오순자 등(2001)이 외의 엽록소함량 변화에 대한 연구를 제외하면 극히 드물다. 따라서 구상나무의 기초적인 생리적 특성에 대한 지식과 이해가 부족한 실정이며 이들이 밝혀지지 않은 상황에서는 기상변동을 포함한 환경변화에 따른 구상나무림의 동태를 예측하거나 쇠퇴의 원인을 밝혀내기는 어려울 것으로 생각된다.

지구적 차원의 환경문제와 연계되어 많은 관심을 집중시키는 것 중의 하나가 고산지대에서 수목의 쇠퇴현상이 나타난다는 것이다. 예를 들면, 독일 등 유럽에서 대기오염과 산성비에 의한 광범위한 산림쇠퇴현상은 널리 알려져 있는 바이다. 북펜실베이니아의 사탕단풍나무(*Acer saccharum* Marsh.)가 1980년 이후부터 꾸준히 쇠퇴되고 있다. 군집이 쇠퇴하지 않는 곳에서의 사탕단풍과 군집이 쇠퇴하는 곳에서의 사탕단풍에서 토양환경의 차이가 있는 것으로 조사되었고 군집이 쇠퇴한 곳에서의 토양이 양분부족과 수분부족스트레스가 있는 것으로 조사되었다(Drohan *et al.*, 2002). 그리고 남부 스웨덴의 건전한 산림이 바닷바람에 의해 섞여있는 염분(NaCl)에 의해 점점 쇠퇴가 일어나는 경우(Gustafsson, 1997), UV-B에 의해 독일 가문비(*Picea abies*)가 광합성률감소와 엽록소함량이 감소하는 현상(Sprtova *et al.*, 1999) 등이 발생한다고 보고되었

다. 따라서 구상나무가 쇠퇴한다든가 아니면 다른 수종과의 경쟁에서 밀려간다는가 하는 현상이 있다고 하였을 때 그 원인에 대한 접근에 있어 앞서 언급한 여러 환경적 요인 이외에도 병원균이나 해충, 인간간섭 등을 포함한 다양한 가능성을 열어두고 기초적인 것부터 차근차근히 검토할 문제이다.

아울러, 수목은 종에 따라서 각각 요구하는 자연환경조건이 서로 다르다. 광, 수분, 온도 등의 기후요소와 토양의 물리성과 화학성, 토양산도 등의 토양인자로 설명되는 물리환경적 요소는 수목의 성장과 갱신에 주요 결정 요소이며, 이들의 변화에 따른 적응력의 차이로 수종간 경쟁력이 달라진다. 따라서 본 연구는 한라산 아고산지대에 위치하고 있는 구상나무 임분을 대상으로 환경스트레스에 의한 방어 정도를 알아보기 위하여 항산화효소 활성을 조사하였고, 산림토양 조건의 차이와 구상나무의 쇠퇴와의 연관성을 알아보기 위하여 토양의 물리화학적 특성을 분석하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 연구 대상지

구상나무가 숲으로서 분포하는 한라산 지역 가운데 지형적 위치를 고려하여 영실, 윗세오름 및 성판악(진달래밭)을 선정하였다(Figure 1). 3지역 모두 표고 1,600m 이상이 되고 영실과 윗세오름 조사지는 정상에서 서쪽 편에,

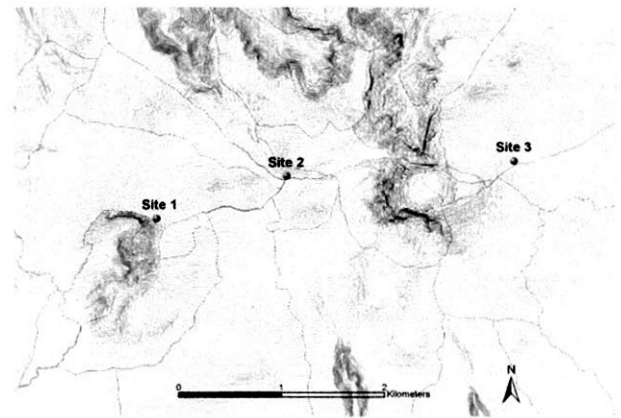


Figure 1. Location of three experimental sites in Mt. Halla. Site 1, 2 and 3 indicate Youngsil, Witseorum and Sungpanak (Jindallebat), respectively.

Table 1. Topographic condition of *Abies koreana* of three sites in Mt. Halla.

Site Name	Elevation (m)	Topographical position	Aspect	Slope (°)	DBH range (cm)	Height range (m)	Age (year)
Site 1 YS (Youngsil)	1,633	Near cliff	SWS	<3	10.0(2.9-27.5)	3.0(1.7-3.6)	40-60
Site 2 WS (Witseorum)	1,672	Small ridge	SWS	<3	9.8(3.1-22.1)	4.0(1.7-5.6)	40-60
Site 3 SP (Sungpanak, Jindallebat)	1,748	Flat area	SES	<3	12.7(3.6-26.4)	3.4(2.0-4.8)	40-60

진달래밭조사지는 동쪽편에 위치하고 있다. 이 지역에 분포하는 구상나무의 흉고직경(DBH)는 평균 9~12 cm 정도였고 평균연령은 40~60년 정도인 것으로 추정되며 일반적인 특성은 Table 1에 나타내었다.

## 2. 항산화효소 활성분석

Ascorbate peroxidase(APX)의 활성분석은 일 단편 0.2 g에 1M 아스코르빈산(AsA)과 pH가 7.4로 보정된 100 mM 인산칼륨 완충액(K-P buffer)을 함유한 추출용액 2 mL를 가하여 균질화하였다. 이를 16,000 rpm에서 30분간 원심분리한 후 추출액 60  $\mu$ L를 취하여 반응액[H<sub>2</sub>O 2.34 mL, 1M K-P buffer(pH 6.5) 300  $\mu$ L, 10 mM AsA 180  $\mu$ L, 5 mM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 120  $\mu$ L]과 잘 혼합한 후 분광광도계(UV-2100, Shimadzu, Japan)를 사용하여 파장 290 nm에서 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>에 의한 30초간의 아스코르빈산 산화도(extinction coefficient of 2.8 mM<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup>)를 측정하였다.

Glutathione reductase(GR)의 활성 분석은 일 0.15g을 취한 후 추출용액(50 mM K-P buffer, 5% PVP, 5 mM AsA, 5 mM DTT, 5 mM EDTA, 0.1M NaCl 함유)을 2 mL 가하여 균질화하였다. 12,000rpm에서 5분간 원심분리한 후 상정액 150  $\mu$ L를 취하여 반응액[H<sub>2</sub>O 2.43 mL, 1M K-P buffer(pH7.8) 300  $\mu$ L, 10 mM GSSG 60  $\mu$ L, 10 mM NADPH 60  $\mu$ L]과 혼합하였다. 이때의 산화환원 반응을 파장 340 nm에서 90초간의 흡광도 변화로 측정하였다(extinction coefficient of 6.2 mM<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup>).

모든 효소활성은 단백질 1 mg을 기준으로 산정하였으며, 단백질 정량은 Bradford(1976)가 기술한 바와 같이 Bio-Rad Protein assay(Bio-Rad Laboratories, U.S.A) 5배 희석액에 엽 추출액을 100:1로 가하여 반응시킨 후 파장 595 nm에서의 흡광도를 측정하여 분석하였다.

## 3. 토양분석

토양의 pH와 전기전도도(electrical conductivity, EC)는 풍건 토양 5g을 50 mL 비이커에 취하여 증류수 25 mL를 가하고 유리막대로 충분히 저어주면서 1시간 방치한 후 각각 pH 메타(MP230, Mettler toledo, UK)와 EC 메타(MC226, Mettler toledo, UK)로 측정하였다.

유기물 함량(O.M.)은 Walkeley-Black법, 전질소(total-nitrogen)는 풍건 토양(50 mesh 통과) 0.1 g을 켈달 플라스크에 취하고, 2 g 촉매혼합물을 가한 후 진한 황산 10 mL 가하여 잘 혼합하였다. 이것은 켈달 분해대에서 낮은 온도로 예열하였다가 온도를 높여 시료가 무색이 될 때까지 약 2시간 동안 가열하였다. 분해가 끝나면 식힌 후 질소 분석기(Kjeldahl 2300, FOSS, Sweden)에서 증류하여 적정하였다. 유효인산(Avail-P)은 Bary No. 1법에 따라 정량하였다. 양이온 치환용량(CEC)과 치환성 양이온(Ca, Mg, K,

Na)은 1N CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub> (pH=7.0) 침출법으로 정량하였다. 입경분석(토성)은 micro-pipette법을 이용하였다.

## 4. 식물체 분석

분쇄된 식물체 시료 0.5g을 분해용 플라스크에 넣고 50% HClO<sub>4</sub> 10 mL와 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 mL를 가한 후 200°C 전열판에서 가열하여 분해액이 백색으로 투명하게 되면 분해를 멈추어 냉각시킨 다음 분해액을 100 mL 플라스크에 증류수를 첨가하여 부피를 맞춘 후 이 분해액을 중의 치환성 양이온(Ca, Mg, K, Na)을 원자흡광분광분석기로 측정하였다. 식물체 중의 질소함량은 분해 10 mL를 취하여 질소 증류장치(Kjeldahl 2300, FOSS, Sweden)를 이용하여 측정하였다. 인산은 Vanadate법에 의하여 측정하였으며, 식물체 분해액 4 mL와 발색시약 Ammonium meta vanadate 4mL를 가하여 30°C에서 30분간 정치 후 분광광도계를(UV-2100, Shimadzu, Japan)이용하여 470 nm 파장에서의 흡광도를 측정하였다. 이때 표준용액의 인산함량(0, 5, 10, 30, 50 mgL<sup>-1</sup>)에 따른 흡광도도 시료액의 조작 과정과 똑같은 과정을 거쳐 측정하고 표준곡선을 작성하고, 이 표준곡선으로부터 유효인산의 양을 구하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 항산화효소 활성

식물은 환경요인의 계절적 변화에 따라 여러 가지 생리적 변화를 겪으면서 성장하며 식물이 각종 환경스트레스를 받으면 생체내 산소(O<sub>2</sub>)는 반응성이 높은 독성 활성산소종(reactive oxygen species, ROS)으로 변한다(Alscher and Hess, 1993). 이들은 강한 산화력을 가지고 있어 핵산, 단백질, 지질 등의 변성과 광합성 억제 등 심각한 생리적 장애를 일으켜 결국 식물체가 고사하게 만든다(Alscher and Hess, 1993; Asada, 1992). 그러나 식물체가 정상적으로 성장을 유지할 수 있는 것은 활성산소종을 해독시키는 기능을 갖고 있기 때문이다(Lidon and Henniques, 1993). 활성산소에 대한 식물의 방어기작은 활성산소의 형성을 억제하거나 생성된 활성 산소를 제거하는 것인데, superoxide dismutase(SOD), peroxidase 등의 효소에 의한 방어 기작과 ascorbic acid 등의 항산화물질에 의한 방어 기작으로 구분할 수 있다(Alscher and Hess, 1993; Inze and Van Montagu, 1995). 그러나 이러한 식물의 반응은 스트레스의 강도나 기간뿐만 아니라 식물 종에 따라서도 항산화효소 활성이 변한다는 점을 고려할 때, 환경스트레스에 대한 식물의 환경 적응성, 방어력 또는 생리적 상태를 확인하는데 사용할 수 있다(Rao *et al.*, 1996).

SOD, APX는 각종 스트레스에 의해 유도되거나 또는 증가하는 것으로 보고되고 있다(Walker and McKersie,

1993; Anderson *et al.*, 1995; Hodges *et al.*, 1997). 증가된 활성산소를 효율적으로 소거할 수 없다면 스트레스가 광합성 기구는 물론 세포전반에 영향을 미쳐 노화 및 세포사멸 등 심각한 손상을 가할 수 있을 것이다. 식물피해를 유도하는 독성물질인 활성산소는 여러 환경스트레스에 의한 식물장애와 밀접한 관계가 있다고 보고되었다(Asada, 1992). 즉 활성산소는 스트레스 조건에서 생성되는 강한 반응성을 갖는 물질로서 조직을 산화시켜 식물에 직접적인 피해를 초래한다. 따라서 본 실험에서는 활성산소발생의 지표로서 산화피해를 경감시키는 효소인 과산화수소(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)를 물(H<sub>2</sub>O)로 해독하는 APX와 전자공여체(NADPH)로부터 전자를 받아 환원제(ascorbate)를 재생하기 위한 glutathion reductase(GR)의 활성을 조사하였다.

6월의 GR활성은 영실조사지를 제외하곤 다른 두 지역에서 쇠약개체가 건전개체에 비하여 높게 나타났으며 특히 윗세오름조사지에서 두 개체간 차이가 33%로 두드러졌으나 영실조사지에서는 두 개체가 거의 비슷한 수준을 보였다(Figure 2). 6월의 APX활성은 지역간의 유의성은 없는 것으로 나타났으며 윗세오름조사지에서는 두 개체가 거의 비슷한 수준인 반면, 영실지역은 쇠약한 개체가 건전개체에 비해 56%정도 높았고 성판악 지역은 건전개체가 쇠약개체에 비하여 34%정도 높은 것으로 분석되었다(Figure 3).

8월의 APX활성은 다른 두 지역에 비해 비교적 건전한 성판악 지역에서 높은 것으로 나타났으며 건전군락이 쇠약군락에 비해 다소 높은 경향을 보였으나 일정한 경향은 없는 것으로 나타났다. 윗세오름지역의 경우는 GR과 달리 쇠약군락의 APX활성이 건전군락에 비해 현저하게 높은 것으로 조사되었다(Figure 2, 3).

9월의 GR활성은 윗세오름에서 쇠약개체가 건전개체보다 높게 나타났으며 영실과 성판악은 건전개체가 쇠약개체보다 높은 수준을 보였고 영실지역은 두 개체가 거의 55%정도 차이를 보였다(Figure 2). 9월의 APX활성은 윗

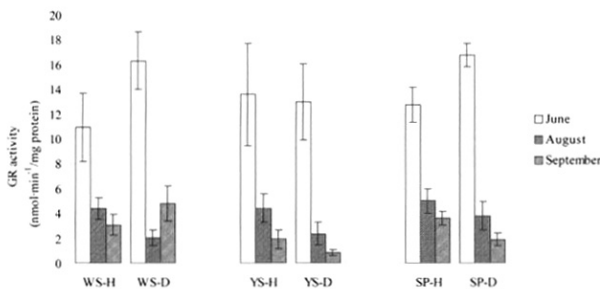


Figure 2. Seasonal changes on activities of glutathione reductase (GR) of *Abies koreana* in three sites. WS-H: Witseorum-healthy tree, WS-D: Witseorum-unhealthy (declining) tree, YS-H: YoungSil-healthy tree, YS-D: Young Sil-unhealthy (declining) tree, SP-H: Sungpanak-healthy tree, SP-D: Sungpanak-unhealthy (declining) tree.

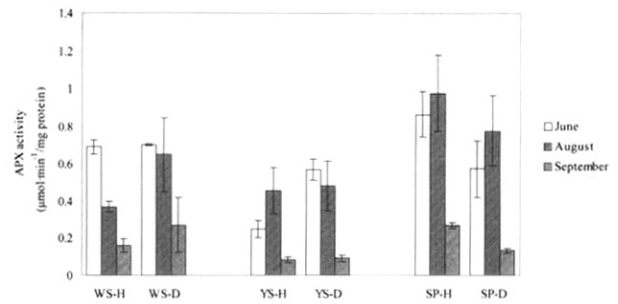


Figure 3. Seasonal changes on activities of ascorbate peroxidases (APX) of *Abies koreana* in three sites. Abbreviations refer to Figure 2.

세오름과 영실에서 쇠약개체가 건전개체에 비해 높게 나타났고 성판악은 건전개체가 쇠약개체보다 높게 나타났다(Figure 3). 영실지역에서 GR과 APX활성이 다른 두 지역에 비해 현저히 낮은 수준을 보였다.

건전개체와 쇠약개체간에는 일반적인 경향은 없으나 6월과 8월에 비해 9월의 항산화효소 활성도가 낮아지는 것을 볼 수 있는데 9월의 효소의 활성이 낮아지는 것은 단백질 합성 등 생리활성에 관여하는 인자가 모두 낮아지기 때문인 것으로 판단된다.

## 2. 지역별 토양의 이화학적 특성

세 지역 토양의 pH는 4.23~5.59의 범위로서 약 산성토양으로 나타났으며(Table 2), 우리나라 대부분의 산림토양의 pH 5.0~5.6에 비해 큰 차이가 없었다. 세 지역 토양의 전기전도도(EC)는 0.11~0.41 dS · m<sup>-1</sup>의 범위였다. 3지역 모두 건전개체지역보다 쇠약개체지역에서 EC가 낮았고 윗세오름의 건전개체지역에서 가장 높은 EC값을 보였으며 또한 쇠약개체지역에서 가장 낮은 EC값을 나타냈다(Table 2).

Table 2. Soil chemical properties of three sites in Mt. Halla.

Site <sup>z</sup>	pH (1:5)	EC(1:5) (dS · m <sup>-1</sup> )	O.M (%)	CEC (me · 100g <sup>-1</sup> )	T-N (%)	Avail.P (mgkg <sup>-1</sup> )
WS-H	4.41	0.41	47.86	61.70	0.88	18.52
WS-D	4.80	0.11	20.98	29.50	0.84	6.86
YS-H	4.23	0.33	57.50	88.49	1.58	38.96
YS-D	4.64	0.21	32.78	58.31	0.65	7.17
SP-H	4.73	0.17	33.23	83.57	0.64	4.31
SP-D	5.59	0.13	16.56	37.95	0.36	6.24

Site <sup>z</sup>	Ca	Mg	Na	K	Texture
	(mg · L <sup>-1</sup> )				
WS-H	1.97	1.58	0.36	1.53	sandy loam
WS-D	1.11	0.61	0.26	0.75	sandy loam
YS-H	5.52	2.95	0.47	1.86	loamy sand
YS-D	2.61	1.21	0.40	1.08	sandy loam
SP-H	2.07	1.01	0.32	0.97	sandy loam
SP-D	0.54	0.72	0.47	0.30	sandy loam

\*Abbreviations are refer to Figure 2.

토양유기물 함량은 건전개체지역의 경우 33.23~57.50%이며, 쇠퇴개체지역의 경우 16.56~20.98%의 범위로서 일반적인 산림토양의 평균 유기물함량 3.7%에 비해 본 조사지역은 모두 훨씬 높게 나타났다(Table 2). 세 지역 모두 건전개체지역이 쇠퇴개체지역에 비하여 높은 유기물함량을 보였고 조사지역별로는 영실지역에서 가장 높았고 성판악 지역이 가장 낮았다. 토양 유기물은 토양 비옥도와 밀접한 관계를 가지므로 중요한 인자이지만 3지역 모두 쇠퇴개체지역에서도 평균이상의 유기물함량을 보여 이것이 생장에 제한적으로 작용하지는 않는 것으로 생각된다.

전질소 함량은 건전개체지역의 경우 0.64~1.58%, 쇠퇴개체지역의 경우 0.36~0.84%범위였다. 우리나라 산지의 평균 적정치인 0.2~0.4%보다 세 지역 모두 높게 나타났고 건전개체지역이 쇠퇴개체지역에 비하여 높은 값을 보였고 그 중에서 영실의 건전개체지역이 가장 높았다. 윗세오름 지역의 경우 건전개체지역과 쇠퇴개체지역간 전질소 함량은 비슷하였고 성판악 지역의 건전개체지역과 쇠퇴개체지역 모두 다른 두 지역에 비하여 낮게 나타났다(Table 2).

토양 중 유효인산 함량은 건전개체지역의 경우 4.31~38.96 mg·kg<sup>-1</sup>, 쇠퇴개체지역의 경우 6.24~7.17 mg·kg<sup>-1</sup>의 범위로서 대부분의 토양에서 일반적인 미경작 산지토양의 유효인산 함량인 5.60 mg·kg<sup>-1</sup>에 비하여 높은 수준을 나타내었다. 윗세오름 지역과 영실지역의 경우 건전개체지역이 쇠퇴개체지역에 비하여 월등히 높게 나타났으나 성판악 지역은 쇠퇴개체지역이 건전개체지역에 비하여 약간 높은 수준이었다. 영실지역의 건전개체지역이 가장 높은 유효인산 함량을 나타냈고 가장 낮은 성판악 지역의 건전개체지역에 비하여 89%정도 높은 것으로 조사되었다(Table 2).

유효인산은 토양의 인 함량 중 식물이 이용 가능한 것으로 보는 형태이다. 토양에는 천연 공급되는 인의 양이 적고 그 적은 양도 대부분 식물이이용하기 어려운 형태이므로, 식물의 정상적인 생육을 한다는 측면에서 볼 때 인은 식물의 다량 필수원소 중 가장 식물의 생육을 제한하는 원소라고 볼 수 있다.

양이온치환용량(CEC)은 건전개체지역의 경우 61.70~88.49 cmol·kg<sup>-1</sup>, 쇠퇴개체지역의 경우 29.50~58.31 cmol·kg<sup>-1</sup>의 범위로서 일반적인 우리나라 산지토양의 평균값인 16.50 cmol·kg<sup>-1</sup>보다 월등히 높은 수준 이었다. 세지역 모두 건전개체지역이 쇠퇴개체지역에 비하여 높게 나타났으며 그 중에서 영실지역의 CEC가 가장 높은 수준 이었다. 반면 윗세오름지역은 가장 낮은 값을 보였다(Table 2).

양이온치환용량은 토양비옥도를 나타내는 하나의 지표이며 CEC가 높은 토양일수록 양분을 지니는 능력이 크고 토양 비옥도가 높다고 볼 수 있다. 즉 토양 비옥도는 건전

개체지역과 쇠퇴개체지역 모두 영실지역이 가장 높으며 성판악지역, 윗세오름 순으로 낮게 나타났다.

토양 중 교환성 Ca는 건전개체의 경우 1.97~5.52 cmol·kg<sup>-1</sup>, 쇠퇴개체지역의 경우 0.54~2.07 cmol·kg<sup>-1</sup>의 범위였고 모든 지역의 건전개체지역이 쇠퇴개체지역보다 높게 나타났다. 건전개체지역이 쇠퇴개체지역 모두 영실지역에서 가장 높은 Ca의 함량을 보였고 윗세오름의 건전개체지역이 가장 낮은 Ca함량으로 조사되었으며 Mg는 건전개체지역의 경우 1.01~2.95 cmol·kg<sup>-1</sup>, 쇠퇴개체지역의 경우 0.61~1.21 cmol·kg<sup>-1</sup>의 범위였으며 모든 지역의 건전개체지역이 쇠퇴개체지역보다 높게 나타났으며 영실지역의 Mg함량이 가장 높게 조사되었다. Na은 건전개체의 경우 0.32~0.47 cmol·kg<sup>-1</sup>, 쇠퇴개체지역의 경우 0.26~0.47 cmol·kg<sup>-1</sup>의 범위였고 윗세오름과 영실지역의 건전개체지역이 쇠퇴개체지역보다 높았으나 성판악 지역의 경우 쇠퇴개체지역이 건전개체지역보다 높게 나타났다. 영실지역의 건전개체지역이 다른 두 지역의 건전개체지역보다 Na함량이 가장 높았고 성판악지역의 쇠퇴개체지역도 같은 함량을 보였다. K은 건전개체지역의 경우 0.97~1.86 cmol·kg<sup>-1</sup>, 쇠퇴개체지역의 경우 0.30~0.97 cmol·kg<sup>-1</sup>의 범위이며 모든 지역의 건전개체지역이 쇠퇴개체지역보다 높게 나타났으며 영실지역에서 가장 높은 K함량을 보였다(Table 2).

치환성 양이온은 대부분 음(-)전하를 띠는 토양입자에 흡착되어 있다가 서서히 식물의 양분으로 이용될 수 있는 것으로 모든 치환성 양이온은 영실지역에서 가장 높게 나타났다.

토성은 토양 중 무기입자들을 그 크기에 따라 모래(sand, 0.05 mm~2 mm), 미사(silt, 0.002 mm~0.05 mm), 점토(clay, 0.002 mm이하)로 구분할 때 이들 모래:미사:점토의 비에 따른 토양의 성질로서 매우 중요한 토양의 물리성이다. 세지역의 토양의 토성은 영실지역의 건전개체지역에서만 양질사토(loamy sand)였고 다른 지역 건전개체지역과 쇠퇴개체지역의 토성은 사양토(sandy loam)로서 배수가 매우 양호하므로 그에 따른 문제는 없을 것으로 보인다(Table 2).

### 3. 구상나무 식물체 분석

식물체의 전질소는 0.06~0.09% 범위로서 건전개체가 쇠퇴개체보다 약간 높게 나타났으나 그 차이는 매우 작았으며 영실지역의 경우 거의 차이가 없는 것으로 조사되었다(Table 3). 이중 가장 높은 전질소를 나타낸 지역이 윗세오름지역으로 나타났으며 가장 낮은 지역은 영실지역이다.

식물체중 함량은 0.12~0.23% 범위로서 윗세오름지역에서 건전개체가 쇠퇴개체에 비해 33%정도 높게 나타났으나 다른 두 지역에서는 두 개체간의 차이는 크게 나지 않

**Table 3. Nutrient contents of *Abies koreana* of three sites in June.**

Site <sup>z</sup>	T-N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	K (%)
WS-H	0.09	0.15	0.27	0.03	0.14	0.82
WS-D	0.07	0.23	0.32	0.05	0.13	0.75
YS-H	0.06	0.12	0.41	0.06	0.19	0.76
YS-D	0.06	0.12	0.47	0.06	0.14	0.86
SP-H	0.07	0.13	0.38	0.06	0.13	0.80
SP-D	0.06	0.14	0.51	0.06	0.03	0.76

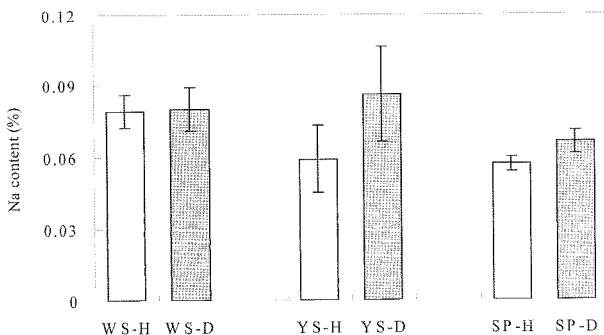
\*Abbreviations are refer to Figure 2.

았다(Table 3). 식물체 중 Ca는 건전개체의 경우 0.27~0.41%, 쇠퇴개체의 경우 0.32~0.51%의 범위였고 모든 지역의 건전개체가 쇠퇴개체보다 높게 나타났다. Mg는 0.03~0.06%의 범위였으며 윗세오름지역이 가장 낮았고 나머지 지역에서는 같은 함량을 보였다. Na은 건전개체의 경우 0.13~0.19%, 쇠퇴개체의 경우 0.03~0.13%의 범위였고 영실지역을 제외한 두 지역에서는 건전개체지역이 쇠퇴개체보다 높게 나타났다. 윗세오름과 영실지역에의 건전개체와 쇠퇴개체간의 Na함량의 차이는 크게 나타나지 않았지만 반면 성판악 지역에서는 건전개체가 쇠퇴개체에 비해 거의 79%정도 높게 나타나 두 개체간의 차이가 크게 나타났다. K은 건전개체의 경우 0.76~0.82%, 쇠퇴개체의 경우 0.75~0.86%의 범위이며 영실지역을 뺀 나머지 지역에서 건전개체가 쇠퇴개체보다 더 높은 K함량을 보였다(Table 3).

**4. 구상나무 앞에서 Na 함량**

한라산 구상나무의 쇠퇴현상이 태풍과 해풍에서 실려오는 바닷바람의 Na가 잎의 기공을 막아서 그러한지를 검증하기 위해서 구상나무 잎을 채취하여 잎의 Na 함량을 분석하였다.

Na함량은 윗세오름지역의 쇠퇴군락과 영실지역의 쇠퇴군락에서 성판악지역에 비해 높은 것으로 나타났으며 성판악지역의 경우도 쇠퇴군락의 Na함량이 건전군락에 비



**Figure 4. Na contents in leaf of *Abies koreana* in three sites in August. Abbreviations are refer to Figure 2.**

해 다소 높은 것으로 나타났다(Figure 4). 영실지역의 경우 쇠퇴군락의 Na함량이 건전군락에 비해 45%정도 높은 것으로 나타났으며 윗세오름지역의 경우 건전군락의 Na함량이 쇠퇴군락과 차이를 보이지 않아 다른 두 지역의 건전군락에 비해 높은 것으로 나타났다. 그러나 해풍에 의한 Na함량 때문에 구상나무의 쇠퇴가 일어난다는 것을 판단하기에는 심층분석을 통해서 자료를 더욱 축적할 필요가 있다.

**결 론**

한라산 구상나무가 분포하는 윗세오름, 영실, 성판악지역을 선정하여 각 지역별로 건전개체지역과 쇠퇴개체지역으로 나눠서 환경스트레스에 대한 식물의 환경적응성 또는 생리적 상태를 확인하기 위해 ascorbate peroxidase (APX)와 glutathione reductase(GR)의 활성을 조사한 결과 건전개체와 쇠퇴개체간에는 큰 차이가 없으나 6월과 8월에 비해 9월의 항산화효소 활성도가 낮게 나타났다. 각 지역별로 토양을 분석한 결과 전기전도도나 유기물함량, 전질소, 유효인산, 양이온치환용량, 양이온의 함량이 건전지역에 비해 쇠퇴지역의 토양이 낮은 것으로 보아 생육환경이 불량한 것으로 보인다. 구상나무 잎의 Na 함량은 성판악지역을 제외한 두 지역 모두 쇠퇴한 개체에서 건전한 개체보다는 더 많은 함량이 검출되었다.

**감사의 글**

한라산 정상까지 동행하여 무거운 기계를 운반하고, 자료수집, 분석을 해준 서울시립대학교 도시환경연구소의 제선미, 김경남군에게 감사를 드립니다.

**인용문헌**

1. 강상준. 1997. 한라산 구상나무 숲의 재생에 대하여. 제 17회 국제학술대회 논문집 pp.21-50.
2. 구경아, 박원규, 공우석. 2001. 한라산 구상나무 (*Abies koreana* W.)의 연륜연대학적 연구 -기후변화에 따른 생장변동 분석-. 한국생태학회지 24: 281-288.
3. 김갑태, 추갑철, 엄태원. 1997. 지리산 천왕봉-덕평봉 지역의 삼림군집구조에 관한 연구-구상나무림-. 한국임학회지 86: 146-157.
4. 김은식, 김상돈, 차운정. 1994. 환경변화와 고산지대 수목생장 쇠퇴현상과의 상관성 해석. 한국과학재단 연구보고서 KOSEF 921-1500-018-2, 89pp.
5. 김문홍, 남정현. 1985. 한라산 구상나무림의 식물사회학적 연구. 한라산 학술조사보고서, pp.299-309.
6. 송중석. 1991. 한라산 구상나무림의 식물사회학적 식생단위의 재검토. 식물학회지 34: 341-347.

7. 오순자, 고정근, 김응식, 오문유, 고석찬. 2001. 한라산 구상나무 잎의 엽록소형광의 일변화와 계절적 변화. *Korean Journal of Environmental Biology* 19: 43-48.
8. 이운원, 홍성천. 1995. 구상나무林的 군락생태학적 연구, *한국임학회지* 84(2): 247-257.
9. 이창석, 조현재. 1993. 가야산 구상나무 군락의 구조 및 동태. *한국생태학회지* 16: 75-91.
10. 이창복. 1970. 구상나무와 새로 발견된 품종. *한국임학회지* 10: 5-6.
11. 임양재, 김정연, 이남주, 이용범, 백광수. 1990. 한라산 국립공원 식물군집의 식물사회학적 분류. *한국생태학회지* 13: 101-130.
12. 차중환. 1969. 한라산 식물의 수직분포. *한국식물학회지* 12: 161-171.
13. Alscher R.G. and J.L. Hess. 1993. Antioxidants in higher plants. CRC Press, Boca Raton. pp. 1-174.
14. Anderson M.D., T.K. Prasad and C.R. Stewart. 1995. Changes in isozyme profiles of catalase, peroxidase, and glutathione reductase during acclimation to chilling in mesocotyls of maize seedlings. *Plant Physiology* 109: 1247-1257.
15. Asada K. 1992. Ascorbate peroxidase - a hydrogen peroxide-scavenging enzyme in plants. *Plant Physiology* 85: 235-241.
16. Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.* 72: 248.
17. Drohan, P.J., S.L. Stout and G.W. Petersen. 2002. Sugar maple (*Acer saccharum* Marsh.) decline during 1979-1989 in northern Pennsylvania. *Forest Ecology and Management* 170: 1-17.
18. Gustafsson. M.E.R. 1997. Raised levels of marine aerosol deposition owing to increased storm frequency; a cause of forest decline in southern Sweden? *Agricultural and Forest Meteorology* 84: 169-177.
19. Hodges, D.M., C.J. Andrews, D.A. Johnson and R.I. Hamilton. 1997. Antioxidant enzymes responses to chilling stress in differentially sensitive inbred maize lines. *Journal of Experimental Botany* 48: 1105-1113.
20. Inze D. and M. Van Montagu. 1995. Oxidative stress in plants *Curr. Opin. Biotechnol.* 6: 153-158.
21. Lidon, F.C. and F.S. Henniues. 1993. Oxygen metabolism in higher plant chloroplasts. *Photosynth.* 29: 249-279.
22. Rao, M.V., G. Paliyath and D.P. Ormrod, 1996. Ultraviolet-B and ozone-induced biochemical changes in antioxidant enzymes of *Arabidopsis thaliana*. *Plant Physiology* 110: 125-136.
23. Song, J.S. and S. Nakanishi. 1985. Phytosociological study of the subalpine forests on Mt. Halla of Cheju island, Korea. *Japanese Journal of Ecology* 35: 317-328.
24. Sprtova, M., M.V. Marek, L. Nedbal, O. Prasil and J. Kalina. 1999. Seasonal changes of photosynthetic assimilation of Norway spruce under the impact of enhanced UV-B radiation. *Plant Science* 142: 37-45.
25. Walker, M.A. and B.D. McKersie. 1993. Role of the ascorbate-glutathione antioxidant system in chilling resistance of tomato. *Journal of Plant Physiology* 141: 234-239.
26. Yim, Y.J. and J.U. Kim. 1990. Review on *Abies koreana* community in Mt. Halla national park, Korea. *Korean Journal of Ecology* 13: 247-249.

---

(2006년 8월 18일 접수; 2006년 9월 29일 채택)