

博士學位論文

제주조릿대의 생태학적 특성 및 관리방안

Ecological Characteristics and Management Methods of
Sasa quelpaertensis Nakai



濟州大學校 大學院

農學科

金顯哲

2009年 2月

제주조릿대의 생태학적 특성 및 관리방안

指導教授 宋 昌 吉

金 顯 哲

이 論文을 農學 博士學位 論文으로 提出함

2008年 12月

金顯哲의 農學 博士學位 論文을 認准함

審査委員長	①
副委員長	①
委員	①
委員	①
委員	①

濟州大學校 大學院

2008年 12月

목 차

List of tables	iii
List of figures	v
Appendix	vii
ABSTRACT	viii
I. 서 언	1
II. 연 구 사	3
III. 재 료 및 방 법	5
1. 제주조릿대의 분류학적 위치	5
1) 표본채집	5
2) 수리분류학적 비교 분석	5
2. 제주조릿대의 동태	7
1) 분포현황	7
2) 발아 및 유식물의 생장조사	8
3) 생육특성 및 하부식생 조사	9
3. 제주조릿대의 관리방안	13
1) 말 사료 이용에 따른 영향 조사	13
2) 벌채에 대한 생육특성 및 하부식생 조사	15
IV. 결 과 및 고 찰	17
1. 제주조릿대의 분류학적 위치	17
1) 제주조릿대 지상부의 형질	17
(1) 간(Culm)	17
(2) 엽(Leaf)	19
2) 군집분석을 통한 조릿대속(<i>Sasa</i>) 분류	21
2. 제주조릿대의 동태	22
1) 제주조릿대의 분포	22

(1) 제주조릿대의 분포특성	22
(2) 아고산대 제주조릿대 군반의 크기 변화	22
2) 제주조릿대 발아 및 유식물의 생육특성	27
(1) 제주조릿대의 발아	27
(2) 유식물의 생육	28
3) 제주조릿대 생육특성 및 주변환경	32
(1) 계절별 지상부의 생육	32
(2) 해발고도별 생육	34
(3) 식생유형별 생육과 주변환경	37
(4) 식생유형별 이식 후 생육 변화	48
(5) Allelopathy 효과	51
3. 제주조릿대의 관리방안	58
1) 말 사료 이용성	58
(1) 제주조릿대의 말 사료가치	58
(2) 말 방목 강도에 따른 제주조릿대의 생육과 하부식생 변화	66
2) 벌채 후 생육 및 하부식생의 변화	72
(1) 제주조릿대 벌채 후 월간 생육 변화	72
(2) 제주조릿대 벌채 횟수에 따른 생육 변화	81
V. 종합고찰	86
VI. 적요	89
인용문헌	92
Appendix	100

List of Tables

- Table 1. Comparison of node and internode thickness in several *Sasa* spp.
- Table 2. Comparison of leaf sheath and internode length in several *Sasa* spp.
- Table 3. Comparison of leaf characters in several *Sasa* spp.
- Table 4. Comparison of vein and base angle of leaf in several *Sasa* spp.
- Table 5. Changes on patch size of *S. quelpaertensis* from 2006 to 2008.
- Table 6. Change of growth characteristics yearly at a plots in the *S. quelpaertensis* patch at Wiseoreum.
- Table 7. Changes of growth characteristics yearly on seedling after germination of the *S. quelpaertensis*.
- Table 8. Phenology of *S. quelpaertensis* in the deciduous broadleaf forest.
- Table 9. Comparisons of length and density of culm, length and width of leaf in *S. quelpaertensis* by vegetation types.
- Table 10. Comparison of biomass by vegetation types in *S. quelpaertensis*.
- Table 11. Comparison of biomass for a year in *S. quelpaertensis* by vegetation types.
- Tabel 12. Comparison of environmental factors by vegetation types in *S. quelpaertensis* community.

- Table 13. Correlation of density, growth and environment in *S. quelpaertensis* community by vegetation types.
- Table 14. Correlation of total phenolic compounds on culms and leaves of *S. quelpaertensis* by vegetation types in Mt. Halla.
- Table 15. Comparison of production amount and intake amount on *S. quelpaertensis* for horse grazing.
- Table 16. Changes of crude protein, NDF and ADF on culm and leaves of *S. quelpaertensis* by horse grazing times(% , dry matter).
- Table 17. Changes of macroelement and microelement on culm and leaves of *S. quelpaertensis* by horse grazing times(% , dry matter).
- Table 18. Comparison of macroelement and microelement on *S. quelpaertensis* and local hay, and soil of horse's grazing area and pasture.
- Table 19. Digestibility of horses on *S. quelpaertensis*.
- Table 20. Number of striped trees by behavior bark chewing of horses.
- Table 21. Comparison of AUD on *S. quelpaertensis* for horse grazing by grazing area.
- Table 22. Change of leaves characteristics on the *S. quelpaertensis* according to number of yearly cutting by vegetation types.
- Table 23. Changes of biomass per culm on the *S. quelpaertensis* according to number of yearly cutting by vegetation types.

List of Figures

- Figure 1. Diagram of sheath, node and leaf characters measured for numerical analysis of *Sasa* spp.
- Figure 2. Map showing surveyed ploys(Ⓐ-ⓓ) in the *S. quelpaertensis* patch at Wiseoreum in Mt. Halla.
- Figure 3. Index of measured on growth characteristics of *S. quelpaertensis* in seedling
- Figure 4. Map showing surveyed ploys(○) in Mt. Halla.
- Figure 5. Map showing surveyed ploys(○) in Mt. Halla.
- Figure 6. Schematic figures showing cutting area of *S. quelpaertensis*.
- Figure 7. Map showing surveyed ploys(○) in Mt. Halla.
- Figure 8. Diagram showing leaf shapes in several *Sasa* spp.
- Figure 9. Dendrogram of hierarchical cluster analysis according to characters of leaf and culm on *Sasa* spp.
- Figure 10. Changes on patch size of *S. quelpaertensis* from 2006 to 2008.
- Figure 11. Comparison of seed germination rates according to removed glume of *S. quelpaertensis*.
- Figure 12. Schematic figures showing the pattern on vegetative reproduction of subterraneanpart in *S. quelpaertensis*.
- Figure 13. Schematic figures showing the pattern on seedling growth of *S. quelpaertensis*.

- Figure 14. The life cycle of leaf and culm in *S. quelpaertensis*.
- Figure 15. Changes of culm and leaf length, and leaf width of *S. quelpaertensis* by elevation at each trails in Mt. Halla.
- Figure 16. Changes of culm length, leaf length and leaf width of *S. quelpaertensis* by elevation in Mt. Halla.
- Figure 17. Comparison of total leaf area and internode thickness by vegetation types on *S. quelpaertensis*.
- Figure 18. Comparison of leaf area by vegetation types in *S. quelpaertensis*.
- Figure 19. Changes of species diversity according to increasing density of *S. quelpaertensis* by vegetation types in Mt. Halla.
- Figure 20. Changes of growth characteristics after transplanting of the *S. quelpaertensis* by vegetation types in Mt. Halla.
- Figure 21. Dendrogram of hierarchical cluster analysis on growth characteristics after transplanting of the *S. quelpaertensis* by vegetation types in Mt. Halla.
- Figure 22. Effects of various concentrations of *S. quelpaertensis* extracts on germination rate, germination index(GI), mean germination time(MGT), coefficient of velocity of germination(CVG) of receptor plants.
- Figure 23. Comparison on relative elongation ratio(RER) of receptor plants by concentration in water extracts of *S. quelpaertensis*.
- Figure 24. Development of receptor plants root hairs treated with different concentration of *S. quelpaertensis* water extracts.

- Figure 25. Comparison of total phenolic compounds on *S. quelpaertensis* in survey area.
- Figure 26. Changes of growth characteristics on the *S. quelpaertensis* according to horse grazing times by survey area.
- Figure 27. Changes of species diversity on vegetation under the *S. quelpaertensis* according to horse grazing times by survey area.
- Figure 28. Growth characteristics monthly after cutting of the *S. quelpaertensis* in deciduous broadleaf forest.
- Figure 29. Growth characteristics monthly after cutting of the *S. quelpaertensis* in *Pinus densiflora* forest.
- Figure 30. Growth characteristics monthly after cutting of the *S. quelpaertensis* in shrub forest.
- Figure 31. Changes of understory vegetation after cutting of the *S. quelpaertensis* by vegetation types in Mt. Halla.
- Figure 32. Changes of growth characteristics on the *S. quelpaertensis* and understory vegetation accorded to number of yearly cutting by vegetation types.
- Figure 33. Dendrogram of hierarchical cluster analysis according to characters of growth on *S. quelpaertensis* after cutting.

Appendix

Appendix 1. Species of striped trees by behavior bark chewing of horses.

ABSTRACT

This research studied *Sasa quelpaertensis* Nakai's taxonomy level location and *S. quelpaertensis*'s movement and growth characteristics to search for the management measures and studied the ecological characteristics of the *S. quelpaertensis* that is found on the Jeju Island. Moreover, the research analyzed the value of the feed for horses and changes taking place in terms of *S. quelpaertensis*'s growth characteristics and understory vegetation following horse grazing and cutting. The results were as follows.

As result of analyzing the qualitative character with quantitative character when it comes to the above the ground part of the *S. quelpaertensis* and *S. palmata* (Bean) Nakai, the research found out 1.46, *S. palmata* is 1.24 when it comes to the *S. quelpaertensis* for the node and internode's ratio. *S. quelpaertensis* and *S. palmate* such as ratio of the sheath that pile up the internode and leaves' length manifested some difference. When this was subjected to cluster analysis, *S. quelpaertensis* and *S. palmata* were classified into different categories, and it is difficult to consider them of the same type.

S. quelpaertensis at the Mt. Halla is distributed up to the 600~1,900 m above the sea level while *S. quelpaertensis* is expanding continuously. Period for the germination of the *S. quelpaertensis* is one year, and the germination rate was 45%, while the sexual reproduction and asexual reproduction through Sympodial and Monopodial branching, and new object is formed with the Split phenomenon at the livestock's rhizome. As for the *S. quelpaertensis* that is distributed at the deciduous broadleaf forest, stipule results starting from April, and current leaves are formed from May to August. In September, pseudovariegation starts at the edge of the leaves. Growth of the stem starts from the end of March, and this continued on steadily under the

size of the leaves reaches its maximum. When the *S. quelpaertensis*'s growth characteristics for each sea level of the Mt. Halla are synthesized, growth of all the culm length, leaf length and leaf width increases incrementally up to the 1,300 m above the sea level, and then it decreased starting from 1,400 m above the sea level. Culm's length of the *S. quelpaertensis* was the highest with deciduous broadleaf forest of 66.3 cm while *Pinus densiflora* forest was 62.1 cm, *Abies koreana* forest was 40.2 cm, and shrub forest was 32.8 cm. Meanwhile, culms' density for each unit area mass is 1799.5 culms/m² for shrub forest, 437.6 culms/m² for *Abies koreana* forest, 275.1 culms/m² for *Pinus densiflora* forest, and 202.6 culms/m² for deciduous broadleaf forest. As for the total leaves' area mass for each stem of the *S. quelpaertensis*, deciduous broadleaf forest was the highest with 383.0 cm², while *Pinus densiflora* forest was 345.5 cm², *Abies koreana* forest was 162.2 cm² and shrub forest was 138.3 cm². When the amount of plants located at the above the aerial part of the *S. quelpaertensis* for the type of vegetation is compared, deciduous broadleaf forest was the highest with 988 g/m², followed by *Abies koreana* forest with 766 g/m², *Pinus densiflora* forest with 758 g/m² and shrub forest with 675 g/m². As for the amount of the vegetation at the subterranean part, shrub forest was 2,825 g/m², deciduous broadleaf forest was 744 g/m², *Pinus densiflora* forest was 662 g/m² and *Abies koreana* forest was 339 g/m². As for the amount of annual production when it comes to the above the aerial part, deciduous broadleaf forest was the highest with 753 g/m², followed by *Abies koreana* forest with 498 g/m², *Pinus densiflora* forest with 478 g/m² and shrub forest with 435 g/m². As for the soil's acidity level of the *S. quelpaertensis* community by the type of vegetation, it was highest at the site where *S. quelpaertensis* grows when it comes to the shrub forest area with average pH of 6.29. However, moisture in the soil was manifested at average of 73~76% regardless of the type of vegetation. As for the organic matter content in the soil when it comes to the *S. quelpaertensis* community

by the type of vegetation, deciduous broadleaf forest 18.83 mg/kg, *Abies koreana* forest was 11.64 mg/kg, shrub forest was 10.90 mg/kg and *Pinus densiflora* forest was 10.85 mg/kg. As for the reserve detected at the upper part of the *S. quelpaertensis*, shrub forest area is about 10~20X higher compared to the deciduous broadleaf forest or *Abies koreana* forest. As for the change in the indices for the diversity in species, following increase in the culms' density of the *S. quelpaertensis*, area where *S. quelpaertensis* is not distributed when it comes to the deciduous broadleaf forest was 0.675. In the area where *S. quelpaertensis* is distributed, the figure was 0.698~0.718, which means that there is not significant difference in the species following increase in the culms' density of the *S. quelpaertensis*. However, in the shrub forest area, increase in the culms' density of *S. quelpaertensis* and the indices for the diversity of the species clearly manifested inversely proportional relationship, which cutting that the increase in the culms' density of the *S. quelpaertensis* in the shrub forest area significantly affect decrease in the diversity of the species. After significant increase in the growth every year after *S. quelpaertensis* is transplanted for each type of vegetation, it is judged that the ecotype cline for each type of vegetation when it comes to the *S. quelpaertensis* has taken place. Total Phenol content for each part of the vegetation differs by the type of land where *S. quelpaertensis* habitates, and allelopathy effect that is different from each other depending on the type of the receptor species is manifested. Likewise, it is possible to judge that the *S. quelpaertensis*'s allelochemicals exert different influence when it comes to the undervegetation of the *S. quelpaertensis* for different species of vegetation.

Results of the feed's valuation for the *S. quelpaertensis*, horse's preference and vegetarian diet are high, and crude protein content and digestibility are high, which means that this is an effective feed for the horses. As horse grazing takes place within the community of *S.*

quelpaertensis, *S. quelpaertensis* dwarfness is induced, which increased the type of undervegetation manifested, and the number of objects, which enables renewal of the clinical study. When artificial intervention is exerted to the *S. quelpaertensis* such as cutting, *S. quelpaertensis* culms' density level and dwarfness were induced, and there were changes taking place in the diversity of the species that are different from each other. At the time of horse grazing, horses chew on the tree covering which is a characteristic of horses when feed is lacking, which result in the damaged trees and trees that perish due to dryness. Thus, research on the horses' behavior is required.



I. 서 언

대나무아과(Bambusoideae)에는 전 세계적으로 6속 250여종이 분포하고 있으며 한국, 중국과 일본 등 동아시아에는 200여종이 분포하는 것으로 알려져 있다(Konno *et al.*, 1990). 우리나라에 분포하는 대나무아과는 온대성 식물로 왕대속(*Phyllostachys*), 온대성인 조릿대속(*Sasa*), 해장죽속(*Arundinaria*), 이대속(*Pseudosasa*) 등 4속 11종이 자생 또는 재배되고 있다(이, 1980). 이 중 우리나라에 자생하는 조릿대속은 학자의 견해에 따라 4~6종이 분포하고 있는 것으로 제시하고 있으나(이, 1980; 이, 1996) 이에 대한 형태적 특성에 관하여 구체화되지 않았다.

제주조릿대(*Sasa quelpaertensis* Nakai)는 한라산에만 분포하고 조릿대[*S. borealis* (Hack.) Makino]와 비슷하지만 일부 가지가 갈라지는 것도 있지만 대부분 가지가 갈라지지 않으며 키가 작고 절(node)의 형태가 달라 한라산 특산식물로 제시 되어왔다(이, 1980; 이, 1985). 그러나 이(1996)와 佐(1999)는 제주조릿대가 국내에서는 유일하게 한라산에만 분포하지만 국외에는 일본, 사할린에 분포하는 *S. palmata*(Bean) Nakai와 동일종으로 제시하고 있어 현재 한국특산식물인지의 논란이 여부가 되고 있다.

조릿대류(*Sasa* spp.)는 왕성한 근경번식과 주변환경에 대한 요구치가 비교적 낮기 때문에 벌채와 산불 등에 의해 나지가 된 산지에 침입하거나 경사가 완만한 화산지형에 큰 군락을 형성하여 산악지의 교목림이나 관목림에 주요 하층식생으로 자라는 등 그 분포역이 넓다(Oshima, 1960). 따라서 조릿대속은 분포지역별과 입지별 등 분포양상에 따라 형태적으로나 번식형태가 달라(Kudo, 1984; Katagiri *et al.*, 1982; Yajima *et al.*, 1997) 수관형성과 부엽층의 발달 등 독특한 환경을 형성하여 하부에 출현하는 종이나 치수에 서로 다른 영향을 주기 때문에 군락내의 종 다양성을 결정하는 중요한 요인이 된다(Magurran, 1988).

특히 한라산은 지리적 위치와 해발고도와 지세 등으로 아열대식물에서 한대식물까지 뚜렷한 수직분포 식생대를 보여주고 있어(엄, 1962; 오, 1968; 차, 1969;

임 등, 1991) 식생대를 구성하는 식물은 환경변화에 민감한 종으로 구성되어 있다(김, 2002). 반면 광엽성인 제주조릿대는 동아시아 및 동남아시아 몬순(monsoon) 기후에 폭 넓게 적응한 남방계 식물로서 근경번식을 통해 급속히 확장될 수 있는 종 특이성을 가지고 있어 한라산에서 우점도가 높은 주요 하층식생으로 자리 잡고 있다(고, 2007).

식물군락은 오랜 세월동안 주변환경 변화와 지속적인 상호작용으로 환경에 가장 적합한 식생의 종구성을 선택하며, 군락의 양적, 구조적 특성이 환경의 변화에 따라 도태되거나 발달하여 지속적인 변화를 한다(Weger *et al.*, 1983; 이 등, 1993). 지난 1980년 중반 한라산에서 방목금지 등 환경변화에 의해 제주조릿대는 급속한 성장으로 온대림부터 한대림까지 분포하며 우점도가 높은 주요 하층식생으로 자리 잡고 있다(고 등, 2006).

일본에서는 조릿대류가 전체산림의 50%를 차지하고 있고 그중 북해도 지역은 산림면적에 17.4%가 섬조릿대(*S. kurilensis*)가 차지하고 있고, 51.1%가 *S. palmata*가 차지하는 등 조릿대류는 산림면적의 89%를 차지하고 있어 이들 조릿대류는 주변식생에 영향을 주기 때문에 위해잡초로 간주하고 있다(齋藤, 2002; Li *et al.*, 1992). 이러한 조릿대를 관리하기 위하여 조릿대 군락에 대한 종과 지역별 차이에 대한 생태학적 연구(Oshima, 1960)를 바탕으로 인위적으로 벌채를 하거나 말을 방목시켜 조릿대의 밀도를 조절하여 초본류나 목본류 갱신상태를 개선하고 있다(Kawai *et al.*, 2000; Nakashizuka & Numata, 1980; Ogawa *et al.*, 1986; Agata *et al.*, 1979b).

따라서 본 연구는 식물종 다양성에 악영향을 미치는 것으로 알려진 제주조릿대에 대한 식물분류학적 위치 파악과 생육특성에 따른 하부식생과의 관계를 규명하여 이에 따른 관리 및 자원화방안을 모색하고자 실시하였다.

II. 연구사

생태계에서의 천이는 같은 장소에서 시간의 흐름에 따라 진행되는 식물군집의 변화를 말한다(Connell & Slatyer, 1977). 이는 식생을 구성하는 식물 종이 환경변화에 따라 종별로 서로 다른 생리적 반응을 보임으로써 수종간의 경쟁을 통한 우점종 및 구성종의 변화로 시간에 따른 환경변화에 밀접함을 보인다(Weger *et al.*, 1983; 이 등, 1993).

한편 한라산에서는 지난 1980년대 중반 방목금지와 환경변화 등에 의해 제주조릿대가 급격히 성장함으로 대부분 지역에 우점도가 높은 주요 하층식생으로 자리 잡고 있다.

과거 한라산에 분포하는 제주조릿대에 대한 기록을 보면 1500년대 제주조릿대를 작은 대와 누런 띠들이 그 위를 덮고 있어 말의 통행이 심히 어려웠다(而短竹黃茅覆於其上故 馬行甚艱)고 임제(1578)는 기록하였다(양, 2000).

1600년대에는 가는 대들이 뻗뻗하고 무성하여 흙땅을 한치라도 볼 수 없었고 가는 대는 예로부터 항상 자라지 않아서 길어야 겨우 한자(細竹蒙密 不見寸土 恒古不長長纔一尺)라고 김상헌(1601)은 기록하고 있으며, 김치(1609)는 고죽이 땅에 가득하였다(苦竹滿地)고 기록하고 있다(양, 2000).

1700년대에는 이형상(1702)은 제주조릿대를 뻗뻗이 땅에 깔려 있는 것은 한자쯤 되는 면죽이고 향나무는 꺾질이 벗겨져 몸체가 하얗고 대나무는 잎이 마르고 줄기가 구부러져 있다고 (密密佈地者 盈尺綿竹 而香則皮剝體 竹則葉枯莖催是不耐風寒而死也) 기록되어 있다(양, 2000).

1800년대에는 이원조(1841)가 온 땅에 참대가 가득 차 있고 뻗뻗하기가 방석 같았고 잔디마냥 앉아서 깔개로 삼을 수 있다(滿地苦竹密 如席嗽如莎可坐而藉)고 기록하였고 또한 읍지의 기록(1842)에 의하면 한라산 갈대가 결실하였는데 그 모양이 밀과 같아 그 맛은 달고 담백하니 백성들이 많이 따다가 음식으로 삼았다(漢擎山 山葦結實 形如小麥 其味甘淡 民多摘取 以爲飲食)고 한다(양, 2000).

1900년대 초반에는 한라산 7부 능선에서 상부는 계곡사이에 메밀잣밤나무와 그

리고 약간의 관목이 있고, 대부분은 제주조릿대가 덮고 있다고 보고되어 있고(大野, 1911) 한라산에 분포하는 식물에 관한 최초의 연구의 보고서인 제주도 및 완도 식물 조사보고서에서는 1914년 제주조릿대는 북쪽 해발 1,000m~1,600m, 남쪽 해발 1300~1,800m까지 분포하고(中井, 1914), 1928년에는 북부 한대림의 하부 및 온대림의 상부에는 조릿대가 무성한 광활한 고원이 있다고 조사되어 있다(森, 1928).

1950년 이후는 국내학자들에 의해 한라산에 대한 연구가 시작되었는데 이(1957)와 이(1962)에 의하면 제주도의 관속식물은 171과 651속 1,248종 217변종(3품종)분포하고 있고 제주조릿대는 한대와 온대에 걸쳐있는 것으로 분포하고 있으며, 산중에서 산정까지 흔한 산죽이며 키는 50~100cm 가량 자란다한다. 1968년에는 한라산의 기후와 삼림군집에 대해 조사하면서 1,200~1,500m에 위치한 개미등을 언급하면서 산정효과 때문에 제주조릿대가 우점하고 방풍이 이루어지지 않아 소나무 등 침엽수가 자라지 못할 것으로 추정하기도 하였다(오, 1968). 그러나 약 35년 지난 현재는 점차 소나무(*Pinus densiflora*) 숲으로 천이되기 때문에 산정효과라는 추정은 불합리하다는 보고(김 등, 2006)도 있었다. 차(1969)는 제주도 식물의 수직분포를 사면별로 조사하였는데 제주조릿대의 분포는 북사면인 경우 600~1,700m까지 분포하고 남사면인 경우 700~1,300m까지 분포한다고 하였다.

1970년대 들면서 제주에 거주하는 학자들에 의하여 연구가 진행되었는데 오와 김(1977)은 한라산 동서남북 사면의 등산로와 계곡을 따라 해발 100m마다 분포하는 식물을 체계적으로 정리하였다. 제주조릿대의 분포는 돈네코코스인 경우 해발 200~1,500m, 어리목코스인 경우 700~1,900m, 관음사코스인 경우 600~1,900m, 성판악코스인 경우 800~1,900m, 영실코스인 경우 1,000~1,500m까지 분포한다고 보고하였는데 동년에 이와 김(1977)은 영실코스를 중심으로 해발 800m~1800m까지 분포한다는 보고가 있어 학자마다 의견 차이가 있었다.

이후 김(1985), 임(1990)과 강(1997) 등에 의해 한라산 식물과 식생에 대해 많은 연구가 진행되었다. 이처럼 제주조릿대는 과거부터 한라산에서 폭넓게 주요하층식생으로 분포했음에도 불구하고 하층식생의 일부 연구대상으로만 비취졌을 뿐 주요 연구대상은 아니었다. 그러나 최근 김 등(2006)은 1980년 관목림에 제주조릿대와 한라산 아고산대에 자라는 시로미, 제주달구지풀, 손바닥난초 등 여러 식물이 균락을 이루고 있으나 현재 제주조릿대의 확장으로 인해 털진달래, 시로미 등이 피압되어 식생이 단순화되고 있어 이에 대한 대책이 시급하다고 제시하고 있다.

Ⅲ. 재료 및 방법

1. 제주조릿대의 분류학적 위치

1) 표본채집

본 연구에 사용된 재료는 한라산에 분포하는 제주조릿대와 진주시내 야산에 분포하는 조릿대, 남부산연립구소에 이식되어 있는 섬조릿대[*S. kurilensis* (Rupr.) Makino et Shibata]와 일본 북해도에 분포하는 *S. palmata* (Bean) Nakai 를 2005년 5월부터 2008년 7월까지 채집하였으며, 일부는 건조표본으로 제작하여 제주특별자치도 환경자원연구원 한라생태환경연구부 표본실에 보관하였다.

2) 수리분류학적 비교

외부형태에 대한 정량적인 형질의 차이를 알아보기 위해 지상부의 줄기(culm) 부분은 마디의 길이와 굵기를 조사하였고, 엽 부분은 엽초, 엽형, 엽면적, 엽장, 엽폭, 엽맥수 등을 조사하였으며(Figure 1), 이를 이용하여 분류학적 위치를 알아보기 위해 SPSS PC+ 통계 package를 이용하여 군집을 분석하였다. 엽형 및 엽장과 엽폭은 AM-300기종(ADC BioScientific Ltd)을 사용하여 측정하였다.

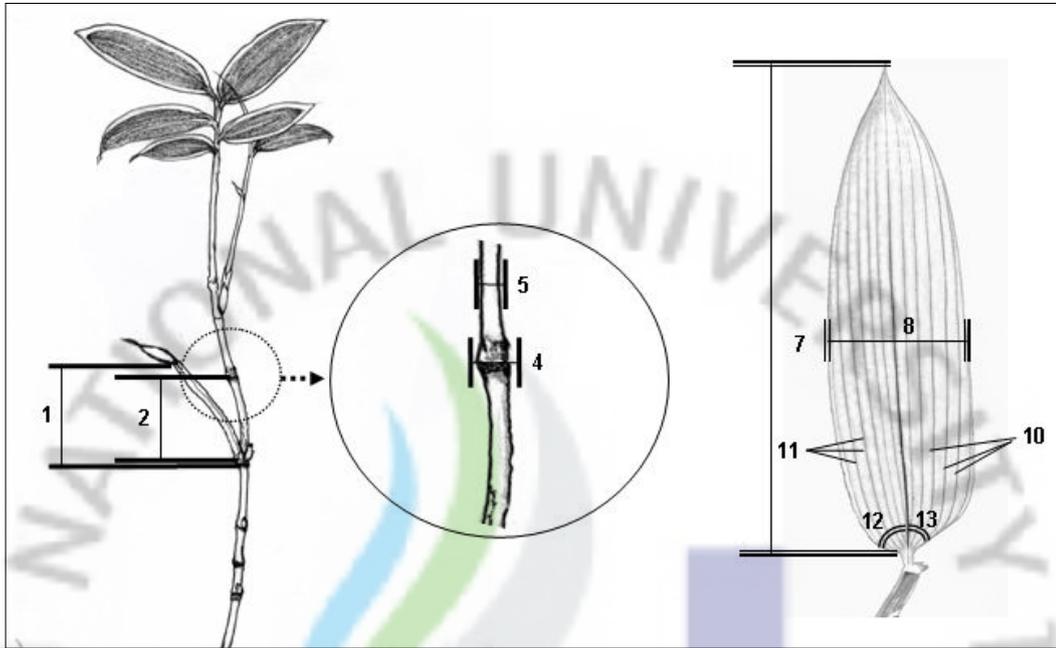


Figure 1. Diagram of sheath, node and leaf characters measured for numerical analysis of *Sasa* spp.

1: Length of internode (cm), 2: Sheath length (cm), 3: Internode/Sheath length rate, 4: Node thickness (mm), 5: Internode thickness (mm), 6: Node/Internode thickness rate, 7: Leaf length (cm), 8: Leaf width (cm), 9: Leaf length/width rate, 10: Number of vein left, 11: Number of vein right, 12: Leaf base angle left (°), 13: Leaf base angle right (°).

2. 제주조릿대의 동태

1) 분포현황

제주조릿대의 분포특성을 알아보기 위해 제주조릿대 서식지를 현지조사를 실시하였다. 아고산대 연간 제주조릿대의 군반의 크기 변화를 조사하기 위해 만세동산, 윗세오름, 왕석밭 일대에 분포하는 제주조릿대 군반에 대해 GPS를 이용하여 2006~2008년까지 매년 면적을 측정하였으며 ArcView GIS 3.3 프로그램을 이용하여 데이터베이스화하였다. 경사방향에 따른 확장차이를 알아보기 위해 윗세오름 조사지에 4개의 고정조사구를 설치하여 제주조릿대의 생육특성을 조사하였다(Figure 2).

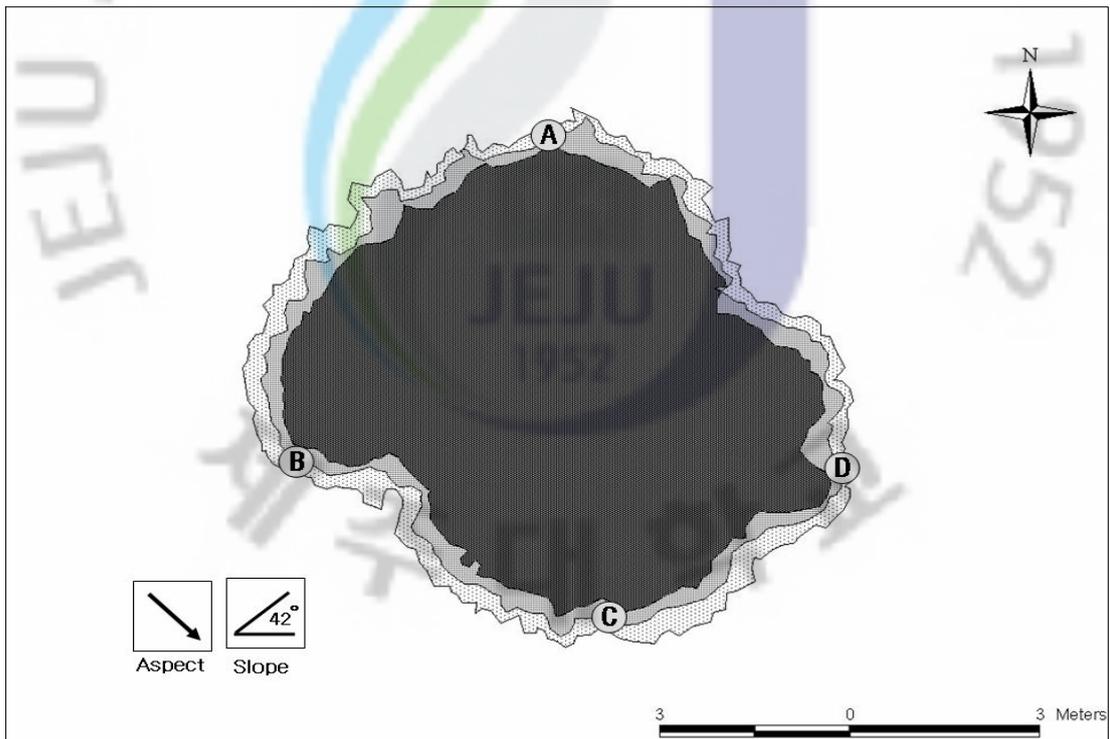


Figure 2. Map showing surveyed ploys(Ⓐ-Ⓓ) in the *S. quelpaertensis* patch at Wisoreum in Mt. Halla.

2) 발아 및 유식물의 성장조사

제주조릿대의 발아와 유식물의 생육특성을 조사하기 위해 2004년 8월 초순에 장구목 일대에서 제주조릿대 종자를 채종하였으며 이 종자는 한라산연구과 내 저온저장고(2℃)에 25일간 보관 후 사용하였다. 종자과종은 포영(glume)을 제거한 종자와 제거하지 않은 종자로 구분하여 배양토(peat moss 25%, cocopeat 40%, perlite 15%, vermiculite 10%, zeolite 10%)에 20립씩 방사형으로 과종하였다. 이후 처리구에 대해 발아기간과 발아율(percent germination, PG)을 조사하였으며, 발아한 유식물은 다른 배양판으로 이식하여 매년 생육상태를 측정하였고 연간 생육특성 모식도를 작성하였다. 유식물의 생육조사는 발아된 유식물에 대해 연간 지상부수(culm number), 간장(culm length), 절간의 굵기(internode thickness), 엽장(leaf length), 뿌리길이(root length), 단축근경 수(number of monopodial rhizome), 총 단축근경 길이(total length of monopodial rhizome), 생체중(fresh weight)을 측정하였다(Figure 3).

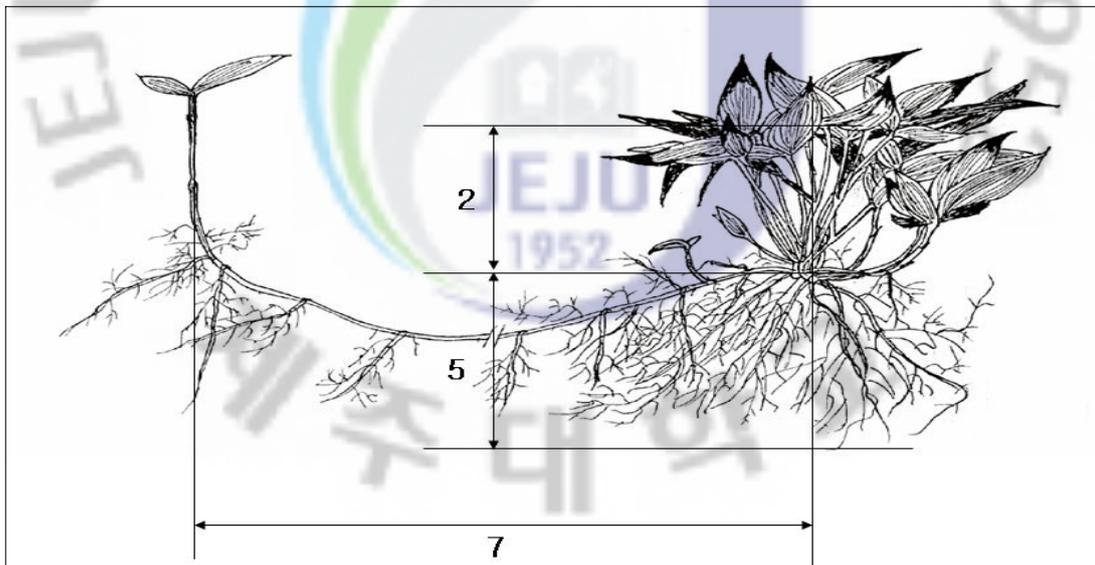


Figure 3. Index of measured on growth characteristics of *S. quelpaertensis* in seedling.

1: Culm number, 2: Culm length (cm), 3: Internode thickness (mm), 4: Leaf length (cm), 5: Root length (cm), 6: Number of monopodial rhizome, 7: Total length of monopodial rhizome (cm), 8: Fresh weight (g).

3) 생육특성 및 하부식생 조사

제주조릿대의 계절별 지상부 생육특성을 알아보기 위해 낙엽활엽수림대에 분포하는 제주조릿대를 대상으로 2002년 2월부터 2003년 11월까지 월별 눈의 형성 시기, 개엽시기, 잎 퇴색시기, 잎 보유기간 등을 조사하였다.

해발고도별 제주조릿대의 생육특성은 한라산국립공원내 어리목, 영실, 성판악, 관음사 등 4개 등산로를 중심으로 양측으로 반경 50m 범위 내에서 시료를 채취하여 조사하였으며, 시료는 각 지역에서 30개체씩 무작위 채취하여 간장, 엽장, 엽폭, 밀도 등을 측정하고 해발고도별 생육특성을 분석하였다(Figure 4).

등산로 해발고도에 따른 측정된 생육특성을 식생유형별로 구분하여 분석하였고 조사지역의 환경특성을 알아보기 위하여 광량, 토양수분, 토양산도 및 제주조릿대의 부엽층 등을 조사하였다. 광량의 측정은 날씨가 맑은 날을 선택하여 제주조릿대 간장의 상단 부위에서 디지털 조도계(INS DX-100)를 사용하여 측정하였고, 토양수분은 제주조릿대의 부엽층을 제거 한 후 토양측정계(TAKEMURA)를 이용하여 측정하였다. 임상별 토양의 화학적 성질을 분석하기 위해 토양시료는 지면에서 부엽층을 제거하여 30cm 깊이로 채취하여 자연 건조한 후 토양시료와 증류수를 1 : 5의 비율로 섞어 pH meter를 사용하여 토양산도를 측정하였다. 인산함량 측정은 풍건토양 5g을 삼각플라스크에 넣고 인산침출액 20ml를 첨가한 다음 10분간 진탕 후 여액을 Lancaster법으로 분광광도계(Genesis-5, USA)를 이용하여 측정하였고, 양이온(K, Ca, Mg)측정은 풍건토양 5g을 삼각플라스크에 넣고 1N ammonium acetate(pH 7.00) 용액 50ml를 첨가한 다음 30분간 진탕 후 여액을 원자흡광광도계(Spectra A 220 FS, Varian., Australia)를 이용하여 측정하였다. 미량원소(Fe, Mn, Zn, Cu)측정은 풍건토양 10g을 삼각플라스크에 넣고 DTPA 중금속 추출액(pH 7.30) 용액 20ml를 첨가한 다음 2시간 진탕 후 여액을 원자흡광광도계(Spectra A 220 FS, Varian., Australia)를 이용하여 측정하였다(농업기술연구소, 1988).

식생유형별 제주조릿대 밀도에 따른 하부식생의 변화를 알아보기 위해 낙엽활엽수림(거문오름, 동수악, 관음사, 물장울일대), 소나무림(영실일대) 구상나무림(영실, 윗세오름일대)과 관목림(만세동산, 선잣지왓, 장구목일대)으로 구분하여 조사지역당 4개 조사구(1×1m)를 선정하여 belt-transect 방식으로 제주조릿대가 분

포하지 않는 곳에서부터 100% 피도를 보이는 내부까지 조사하였고 단위면적당 줄기 수와 하부에 출현하는 모든 종의 개체 등을 조사하였다(Figure 4). 하부에 출현하는 종에 대해서는 Shannon-Wiener(1963)의 종다양성 지수 공식 즉, $H' = -\sum(n_i/N)\ln(n_i/N)$ 를 이용하여 종다양도 지수를 산출하였고 여기에서 n_i 는 각 종의 개체수, N 는 관찰된 총 개체수를 의미한다.

식생유형별 제주조릿대를 이식 후 생육특성 변화는 2004년 7월 중순에 낙엽활엽수림(동수악, 관음사, Y계곡), 소나무림(영실), 관목림(만세동산, 선작지왓, 장구목)에 서식하는 제주조릿대를 채취하여 지상부를 제거하여 제주특별자치도 환경자원연구원 한라생태환경연구부 고랭지시험포(해발 700m)에 이식한 후 매년 간장, 굵기, 엽장과 밀도를 측정하였고 SPSS PC⁺ 통계 package를 이용하여 군집분석을 하였다.

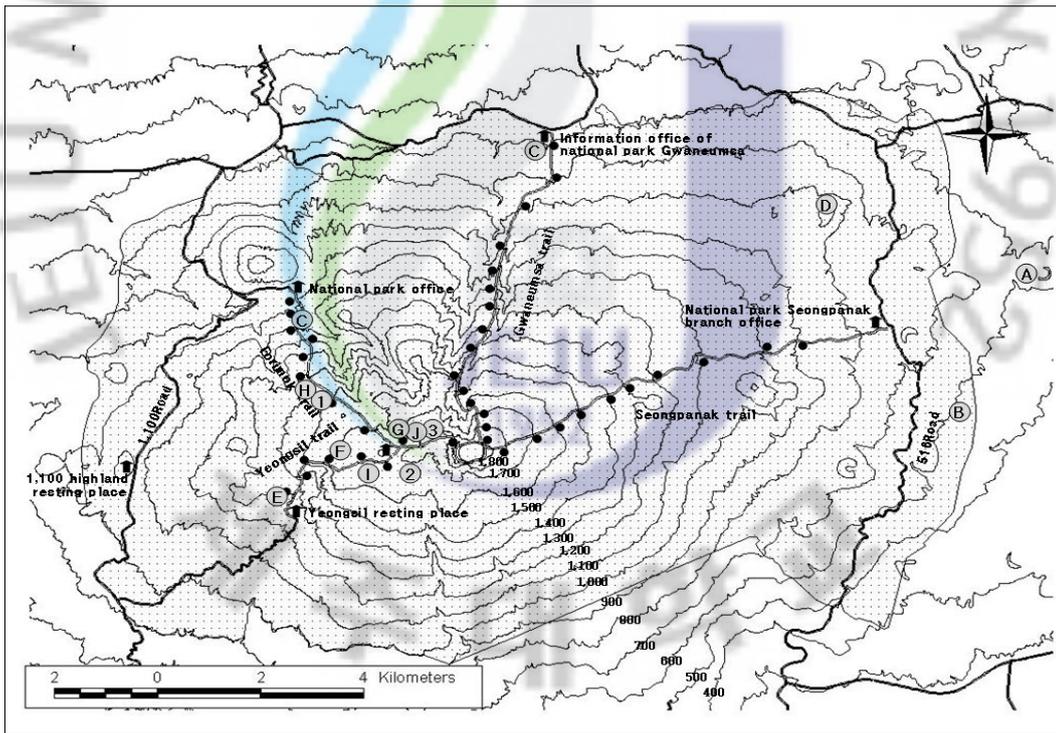


Figure 4. Map showing surveyed ploys(○) in Mt. Halla.

- 1: Manse hill (1580m), 2: Wiseoreum (1680m), 3: Janggumok (1700m)
- A: Kumunorum (560m), B: Dongsuak (570m), C: Gwaneumsa (620m), D: Muljangol (900m), E: Yongsil (1280m), F: Yongsil (1600m), G: Seongjakjiwat (1970m), H: Manse hill (1600m), I: Seongjakjiwat (1650m), G: Janggumok (1750m).

제주조릿대의 알레로패티 효과를 알아보기 위해 제주조릿대를 한라산국립공원 내 치도부근에서 균락을 이루고 있는 것을 채취하여 공여체식물(donor species)로 정하고, 수용체식물(receptor species)은 크리핑벤트클래스(*Agrostis stolonifera* subsp. *stolonifera*), 달맞이꽃(*Oenothera odorata*), 배추(*Brassica campestris* subsp. *napus* var. *pekinensis*), 크림슨크로버(*Trifolium incarnatum*), 토끼풀(*Trifolium repens*)를 사용하였으며, 이들의 종자는 실험하기 전년에 채집하거나 종묘상에서 구입하여 실내 암소에 보관하여 사용하였다.

제주조릿대의 수용성 추출액 준비는 통풍이 잘되는 음지에서 말린 제주조릿대 지상부를 분쇄하여 건물중 100g당 1,000ml의 증류수를 넣어 실온에서 24시간 동안 방치한 후 표준망체(0.053mm)로 부유물을 제거한 다음 다시 여과지(Advantec No. 2)를 사용하여 여과를 실시하였다. 이때 추출액을 100%로 하여 1차 증류수로 75%, 50%, 25%로 희석하여 실험에 사용하였고, 대조구는 24시간 전에 준비한 증류수를 사용하였다.

제주조릿대의 수용성 추출액 농도에 대한 수용체식물의 발아 실험은 Petri dish(φ 9cm)에 농도별 제주조릿대의 추출액을 가한 한천배지를 깔고, 그 위에 수용체식물(donor species)의 종자를 동심원상으로 일정한 간격으로 20립씩 파종한 후 약 6~7일 후에 유식물의 생장이 종에 따라 2~5cm 신장되었을 때 이를 수확하여 발아율, 발아지수(gemination index, GI), 평균발아일수(mean germination time, MGT), 발아속도계수(coefficient of velocity of germination, CVG), 지상부와 지하부의 상대신장률(relative elongation ratio, RER), 상대생체량(relative fresh ratio, RFR)을 산출하였다. 또한 제주조릿대 추출액 농도에 따른 수용체식물의 뿌리털 발달 정도는 광학현미경하에서 관찰하였다(노와 길, 1986; 길, 1988; Scott *et al.*, 1984).

$$PG = \frac{N(\text{총 발아수})}{S(\text{공시종자수})} \times 100$$

$$GI = \frac{\sum(T_i \text{치상 후 조사일수} \times N_i \text{조사당일 발아수})}{S(\text{공시종자수})} \times 100$$

$$MGT = \frac{\sum(T_i \text{치상 후 조사일수} \times N_i \text{조사당일 발아수})}{N(\text{총 발아수})} \times 100$$

$$CVG = \text{MGT(발아소요일수)의 역수}$$

$$RER = \frac{\text{실험구의 평균신장(mm)}}{\text{대조구의 평균신장(mm)}} \times 100$$

제주조릿대의 총 페놀 함량은 Prussian blue법으로 측정하였다(Graham, 1992). 치도, 송덕수, 영실, 사제비동산, 만세동산, 윗세오름, 장구목에서 채집하여 제주조릿대에서 추출한 용액 100 μ l에 증류수 3ml, 0.016ml K₃Fe(CN)₆ 1ml, 0.01M FeCl₃/HCl 1ml를 혼합하여 진탕한 후 실온에서 15분간 방치 후 Stabilizer(H₂O: 1% gum arabic: 85% phosphoric acid=3:1:1, v/v/v) 5ml를 첨가한 후 700nm에서 흡광도를 측정하였다. 총 페놀 함량은 gallic acid를 이용하여 검량곡선을 작성하고 gallic acid에 대한 당량으로 환산하였다.



3. 제주조릿대의 관리방안

1) 말 사료 이용에 따른 영향 조사

제주조릿대 군락지내 말 방목 강도에 따른 제주조릿대의 생육특성과 주변식생의 변화를 알아보기 위하여 A-Site(제주시 공동묘지 부근, 약 2,725m²)인 경우 성마 2두를 1차(2005년 4월 11일~5월 3일), 2차(2005년 8월 2일~8월 9일) 방목을 한해에 실시하였고, B-Site(난지농업연구소 열안지방목지, 약 165,000m²)인 경우 성마 4두를 1차(2006년 8월 16일~12월 14일), 2차(2007년 7월 18일~11월 14일) 방목을 매년 실시하였다(Figure 5).

방목된 말에 대한 제주조릿대의 채식량 조사는 A지역에서 체중 300kg 내외의 제주마 암말 2두를 공시하였고, 급수조를 설치하여 물을 자유로이 섭취할 수 있도록 했으며, 방목시험기간 동안 농후사료는 급여하지 않았다. 방목기간은 제주조릿대의 생육상태에 따라 조절하였고, 제주조릿대 채식량은 방목지내 5곳에 제주조릿대 보호케이지(50×50cm)를 설치해서 방목 전 생산량과 방목 후 잔초량을 조사하여 계산하였다.

제주조릿대의 사료가치 분석은 A지역 방목 전후 제주조릿대를 예취하여 잎과 줄기를 분리하여 생체중을 측정 후 3cm 크기로 대와 잎을 자른 다음 70℃에서 48시간 동안 건조시켜 건물중을 조사하였고 이 시료는 AOAC 방법에 따라 조단백질, NDF, ADF 및 무기물 함량은 분석하였다. 제주조릿대 섭취에 대한 말 소화율은 제주조릿대 구조(2007년 2월~3월)와 신초(2007년 6월~7월)를 구분하여 제주산마 5두를 5일간 섭취적응을 시킨 후 제주조릿대 줄기 10cm 정도를 포함한 일부분을 급여하여 자유 채식하도록 하였으며 섭취량, 분변량을 통하여 조단백질, NDF, ADF 소화율을 분석하였다.

토양의 화학적 성분 분석은 농촌진흥청 분석법(농업기술연구소, 1988)을 이용하여 3반복으로 분석하였으며, 토양시료는 제주조릿대와 목초를 예취한 지점에서 30cm내외 깊이로 시료를 취한 후 모두 풍건 시킨 뒤 2mm 체눈을 통과한 것을 사용하였다.

말 방목지내 분포하는 제주조릿대의 생육특성과 하부식생의 변화를 알아보기 위해 A지역 5개, B지역 15개의 고정조사구를 설치하여 nest quadrat method(1×1m)에 의하여 방목전 방형구에 출현한 제주조릿대의 간장, 굵기, 밀도

를 측정하였고 말 방목지내에 분포하는 수목에 대해 방목 후 발생하는 피해목 종류와 수량, 고사목 종류와 수량을 조사하였다. 제주조릿대의 하부에 출현하는 종에 대해서는 Shannom-Wiener(1963)의 종다양도 지수를 산출하였다.

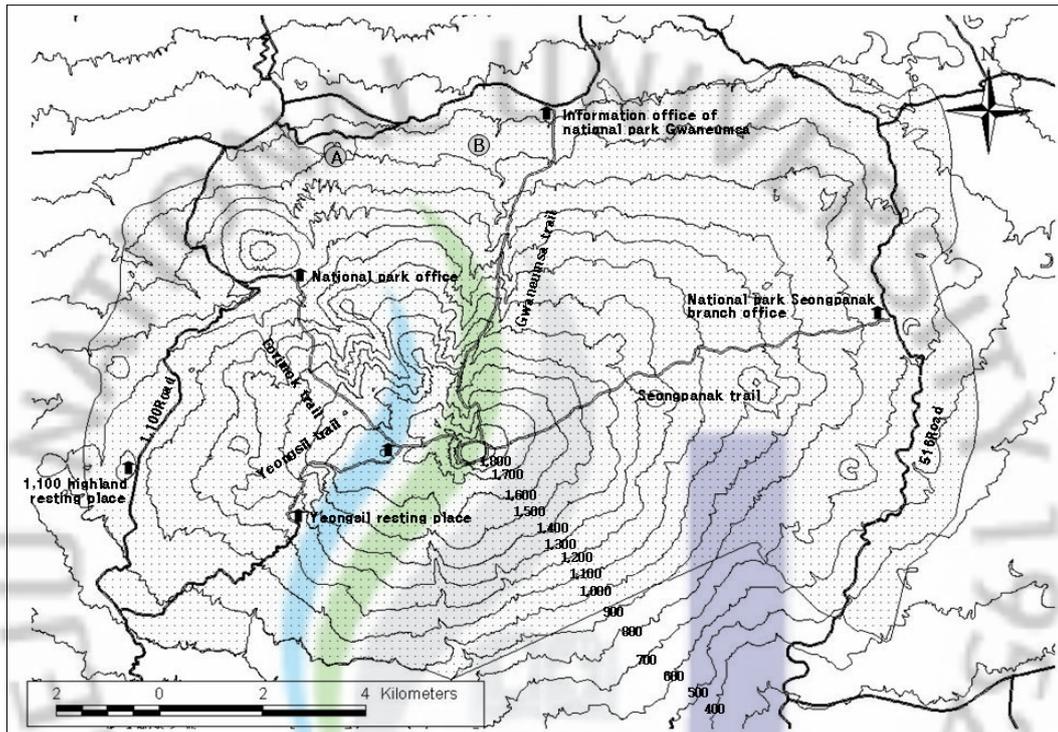


Figure 5. Map showing surveyed ploys(○) in Mt. Halla.

A: Jeju public cemetery, B: Yeolani pasture.

2) 벌채에 대한 생육특성 및 하부식생 조사

제주조릿대의 벌채에 의한 월간 생육특성과 하부식생의 변화를 알아보기 위하여 2002년 8월에 해발 500~1,800m까지 7개 지역을 대상으로 제주조릿대 벌채지역, 벌채 및 부엽층 제거지역과 벌채하지 않은 지역으로 구분하여 조사하였다. 실험구의 벌채는 주연효과를 최소화하기 위해 2×2m로 선정하였으며 조사는 2003년 2월부터 10월까지 매월 현지조사를 실시하였다.

제주조릿대의 벌채 횟수에 따른 생육특성과 하부식생의 변화는 각 지역 330m²을 대상으로 2005년 8월부터 2007년 8월까지 연간 벌채 횟수에 따라 실험구를 구분하여 벌채하였고 고정조사구(1×1m)를 설치하였다(Figure 6). 조사지역의 식생유형별 분류는 3개의 임상 즉, 낙엽활엽수림(동수악, 관음사 및 Y계곡일대), 침엽수림(영실일대), 관목림(만세동산, 선작지왓 및 장구목일대)으로 구분하여 실시하였다(Figure 7).

제주조릿대의 생육상황은 고정조사구(1×1m)내에 있는 제주조릿대의 간장, 절간의 굵기, 엽면적 등을 조사하였고, 제주조릿대의 1개 줄기(culm)당 생체중 및 건물중을 측정하여 벌채에 따른 전체적인 생육변화인 저해지수(inhibition index)로 산출하였다(길, 1987).

$$\text{Inhibition Index} = \frac{\text{Cutting}(\text{fresh weight} \times \text{dry weight})}{\text{Non Cutting}(\text{fresh weight} \times \text{dry weight})}$$

제주조릿대의 하부식생 변화는 Shannon-Wiener(1963)의 종다양도 지수를 사용하였고 종다양도 공식을 제주조릿대의 하부식생에 적용하기 위하여 조사구에 출현하는 제주조릿대의 줄기를 배제하여 하부식생에 출현종과 개체수를 이용하여 산출하였다.

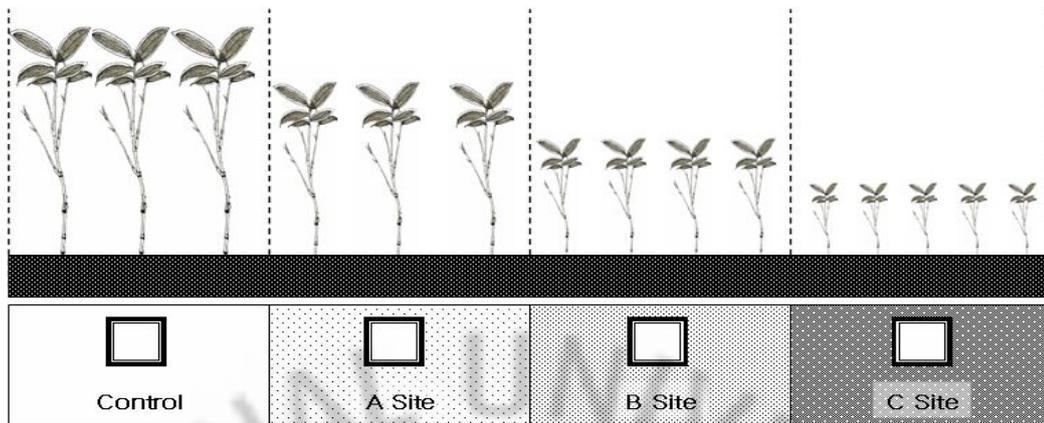


Figure 6. Schematic figures showing cutting area of *S. quelpaertensis*.

A Site: 2005 cutting area, B Site: 2005, 2006 cutting area, C Site: 2005, 2006, 2007 cutting area.

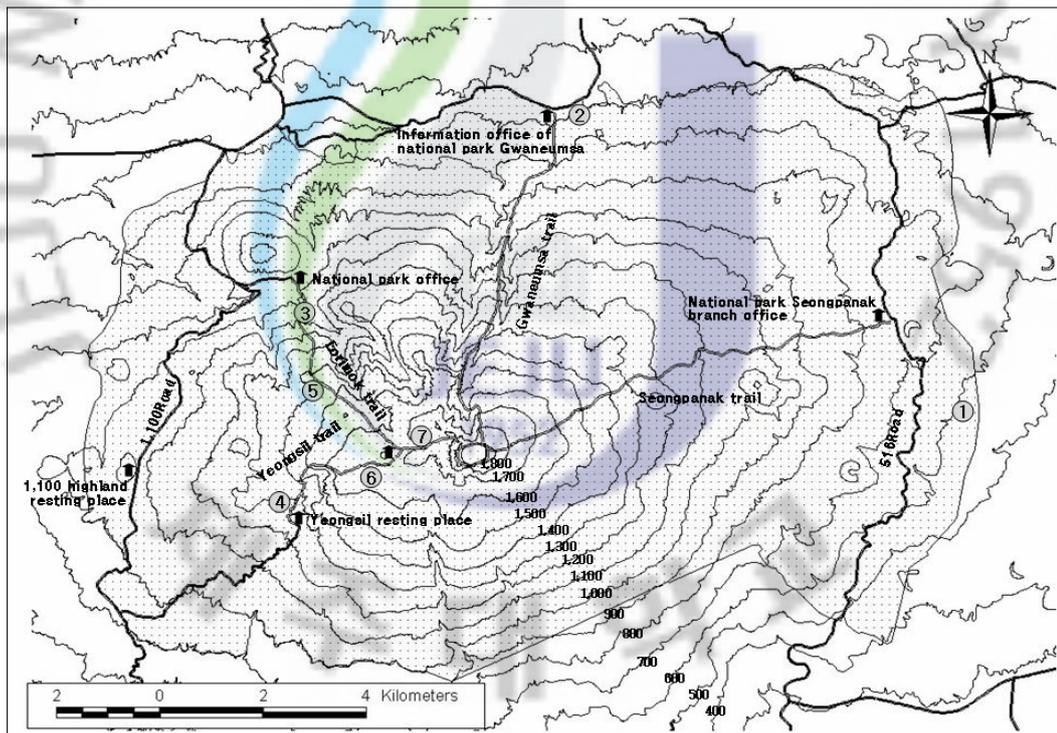


Figure 7. Map showing surveyed plots(○) in Mt. Halla.

1: Dongsuak (570m), 2: Gwaneumsa (620m), 3: Eorimok valley (1080m), 4: Yeongsil 1280m), 5: Manse hill 1600m), 6: Seongjakjiwat (1650m), 7: Janggumok (1750m).

IV. 결과 및 고찰

1. 제주조릿대의 분류학적 위치

1) 제주조릿대 지상부의 형질

(1) 간(Culm)

제주조릿대, 섬조릿대, 조릿대, *S. palmata* 대해 조사된 줄기의 분류형질은 정성적인 절간의 형태를 정량적인 형질로 산출한 결과, 절간의 굵기는 *S. palmata*(3.37mm), 조릿대(2.05mm), 제주조릿대(2.00mm), 섬조릿대(1.65mm) 순이었고, 절(node)의 굵기는 *S. palmata*(4.09mm), 제주조릿대(2.87mm), 조릿대(2.64mm), 섬조릿대(2.19mm) 순으로 나타났다. 절과 절간과의 비율은 제주조릿대(1.46), 섬조릿대(1.34), 조릿대(1.30), *S. palmata*(1.24) 순으로 조사되었으며, 제주조릿대와 *S. palmata*는 5% 수준에서 유의차가 있어 서로 다른 절의 형태를 가지고 있는 것으로 분석되었다(Table 1). 따라서 제주조릿대의 절 형태는 도드라지고, 섬조릿대인 경우는 약간 융기가 되며, *S. palmata*는 조금 구상으로 부풀다는 보고(이, 1980; 이, 1990; 佐, 1999)와 일치하는 경향을 보였다.

Table 1. Comparison of node and internode thickness in several *Sasa* spp.

Species	Node thickness (mm)	Internode thickness (mm)	Node/internode thickness ratio
<i>S. borealis</i>	2.64 ^{ab1)}	2.05 ^a	1.30 ^{ab}
<i>S. kuilensis</i>	2.19 ^a	1.65 ^a	1.34 ^{ab}
<i>S. palmata</i>	4.09 ^c	3.37 ^c	1.24 ^a
<i>S. quelpaertensis</i>	2.87 ^b	2.00 ^a	1.46 ^b

¹⁾ Means within a column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by Duncan's multiple range test(DMRT).

佐(1999)의 연구에 의하면 조릿대속(*Sasa*)에 대한 분류형질 중 절간의 길이와 엽초의 길이에 대한 비율도 하나의 분류형질로 보고 있다. 제주조릿대 등 4종에 대해 엽초와 마디의 길이에 대한 정량적인 형질을 분석한 결과 절간의 길이는 조릿대 12.33cm, *S. palmata* 12.30cm, 제주조릿대 8.86cm, 섬조릿대 2.64cm 순이었고, 엽초 길이는 *S. palmata* 11.53cm, 조릿대 7.45cm, 제주조릿대 4.99cm, 섬조릿대 2.53cm 순이었다. 엽초가 절간을 덮고 있는 비율은 섬조릿대인 경우는 1.06으로 엽초가 절간 이상을 덮고 있는 것으로 나타났고, *S. palmata*(0.94), 조릿대(0.65), 제주조릿대(0.60) 순으로 엽초가 절간을 싸고 있는 것이 짧아지는 것으로 분석되어 5% 유의수준에서 제주조릿대와 *S. palmata*는 서로 다른 형질을 보이는 것으로 분석되었으나(Table 2) 섬조릿대인 경우 엽초가 마디의 2/3이상 싸고 있다는 佐의 보고(1999)와 유사하였다.

Table 2. Comparison of leaf sheath and internode length in several *Sasa* spp.

Species	Sheath length (cm)	Internode length (cm)	Sheath/Internode length ratio
<i>S. borealis</i>	7.45 ^{c1)}	12.33 ^c	0.65 ^a
<i>S. kuilensis</i>	2.53 ^a	2.64 ^a	1.06 ^b
<i>S. palmata</i>	11.53 ^d	12.30 ^c	0.94 ^b
<i>S. quelpaertensis</i>	4.99 ^b	8.86 ^b	0.60 ^a

¹⁾ Means within a column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT.

(2) 엽(Leaf)

제주조릿대, 조릿대, 섬조릿대와 *S. palmata*의 엽 형질을 분석한 결과, 5% 유의수준에서 엽면적은 *S. palmata* 1,127.61cm², 제주조릿대 386.02cm², 조릿대 360.25cm², 섬조릿대 140.73cm²로 차이가 있는 것으로 분석되었다(Table 3). 엽장은 *S. palmata* 24.25cm, 조릿대 16.61cm, 제주조릿대 13.77cm, 섬조릿대 10.55cm로 이(1980)와 佐(1999)가 제시한 제주조릿대 엽장의 크기는 각각 7~20cm과 10~35cm라는 보고와 일치하였으나 이(1980)가 제시한 엽장에 더 유사한 것으로 나타났다(Table 3). 엽폭은 *S. palmata* 6.45cm, 제주조릿대 3.65cm, 조릿대 2.93cm, 섬조릿대 1.87cm로 종에 따라 차이가 있는 것으로 분석되어(Table 3) 이(1980)가 제시한 제주조릿대 엽폭의 크기(1.5~2.0cm)와 유사하였으나 佐(1999)가 제시한 크기(5~10cm)와는 다소 차이가 있는 것으로 나타났다.

또한 엽형을 알아보기 위해 엽장과 엽폭의 비율을 분석한 결과 5% 수준에서 제주조릿대(3.76)와 *S. palmata*(3.84) 그룹과 조릿대(5.71)와 섬조릿대(5.69)그룹 사이에 유의차가 있었다(Table 4). 이러한 차이는 *S. palmata*의 엽장은 佐(1999)의 보고와 제주조릿대의 엽장은 이(1980)의 보고와 일치하였고 엽장과 엽폭의 비율 분석을 통한 엽형은 제주조릿대와 *S. palmata*는 장타원형으로 분석되었고 조릿대와 섬조릿대는 피침상 장타원형으로 분석되어 이(1980)와 佐(1999)의 보고와 일치하였다(Figure 8).

Table 3. Comparison of leaf characters in several *Sasa* spp.

Species	Leaf area (cm ²)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Leaf length/width ratio
<i>S. borealis</i>	360.25 ^{bl)}	16.61 ^c	2.93 ^b	5.71 ^b
<i>S. kuilensis</i>	140.73 ^a	10.55 ^a	1.87 ^a	5.69 ^b
<i>S. palmata</i>	1127.61 ^c	24.25 ^d	6.45 ^d	3.84 ^a
<i>S. quelpaertensis</i>	386.02 ^b	13.77 ^b	3.65 ^c	3.76 ^a

¹⁾ Means within a column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT.

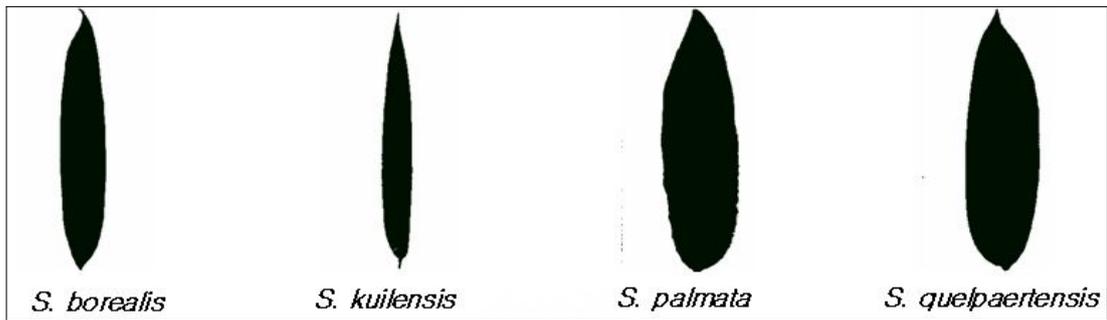


Figure 8. Diagram showing leaf shapes in several *Sasa* spp.

조릿대속(*Sasa*)은 단자엽아강(Monocotyledoneae)으로 잎맥은 직맥(straight veined)으로 엽신의 중앙에 주맥과 양측에 측맥으로 구성된다. 엽폭과 관련된 정량적인 형질로 측맥수와 엽저각을 측정한 결과 측맥수는 *S. palmata*가 주맥 왼편(L)에 10.86개, 오른편(R)에 10.95개와 제주조릿대 L 8.25개, R 8.37개와 섬조릿대 L 5.70개, R 5.67개, 조릿대 L 5.68개, R 5.53개로 5% 수준에서 유의차를 보이는 것으로 분석되었다. 엽저각은 제주조릿대가 L 63.93°, R 64.00°와 조릿대 L 49.28°, R 47.53°로 조사되어 두 종간의 차이는 있었으나 *S. palmata*(L 57.82°, R 56.50°), 섬조릿대(L 51.67°, R 50.63°)차이가 없는 것으로 분석되었다(Table 4). 따라서 *S. palmata*와 제주조릿대의 맥수의 차이는 좌우 각각 2.61개, 2.58개의 차를 보임으로써 엽에 대한 중요한 분류형질로 판단된다.

Table 4. Comparison of vein and base angle of leaf in several *Sasa* spp.

Species	Number of vein L ¹⁾	Number of vein R	Base angle of leaf L(°)	Base angle of leaf R(°)
<i>S. borealis</i>	5.68 ^{a2)}	5.53 ^a	49.28 ^a	47.53 ^a
<i>S. kuilensis</i>	5.70 ^a	5.67 ^a	51.67 ^{ab}	50.63 ^{ab}
<i>S. palmata</i>	10.86 ^c	10.95 ^c	57.82 ^{ab}	56.50 ^{ab}
<i>S. quepaertensis</i>	8.25 ^b	8.37 ^b	63.93 ^b	64.00 ^b

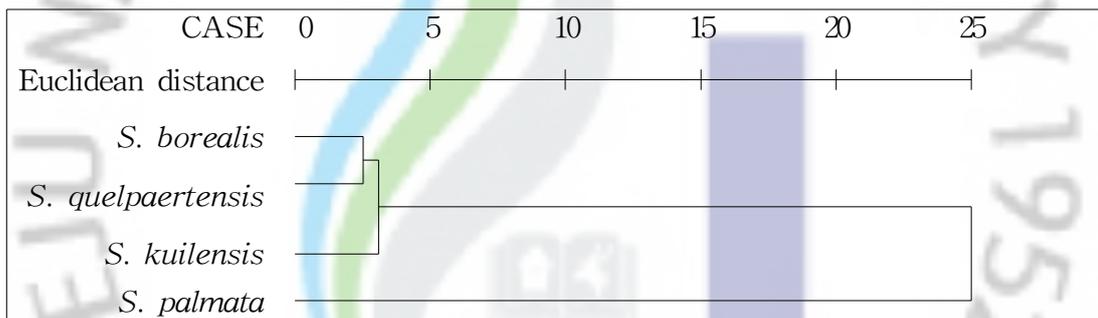
¹⁾ L, left side of main vein; R, right side of main vein.

²⁾ Means within a column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT.

2) 군집분석을 통한 조릿대속(*Sasa*)분류

본 조사에 측정된 정량적 형질을 통해 분류학적 유사성을 알아보기 위해 군집을 분석한 결과 조릿대, 제주조릿대, 섬조릿대 군집과 *S. palmata* 군집으로 총 2개의 군집으로 분류되어 제주조릿대를 *S. palmata*와 동일종이라는 보고(이, 1996)와 차이가 있었다(Figure 8). 그러나 본 조사는 한정된 수량과 정량적인 형질에 의한 것으로 차후 기준표본(type specimen)을 통한 비교, 변이 폭에 지속적인 연구와 기준이 되는 분류형질 연구 등을 통해 분류체계를 마련하여 재검토를 해야 한다고 판단된다.

Figure 9. Dendrogram of hierarchical cluster analysis according to characters of leaf and culm on *Sasa* spp.



2. 제주조릿대의 동태

1) 제주조릿대의 분포

(1) 제주조릿대의 분포특성

제주조릿대는 한라산을 중심으로 해발 600m에서 1,900m까지 주로 분포하고 있는 것으로 나타났다. 이들 지역에는 계곡의 기저부, 암석지, 목초지, 일부 오름의 정상과 습지 등을 제외한 대부분 지역에 높은 빈도로 분포하는 것으로 나타났다. 고지대에 분포하는 제주조릿대는 점점 세력이 확대되는 것으로 판단이 되나 해발 600m이하 저지대인 일부 오름과 상록활엽수림에서는 제주조릿대가 간헐적으로 분포하고 있으며 덩굴성식물인 칩(*Pueraria thunbergiana*), 환삼덩굴(*Humulus japonicus*), 계요등(*Paederia scandens*)과 쑥(*Artemisia princeps* var. *orientalis*), 찔레(*Rosa multiflora*) 등에 의해 그 세력이 간간히 유지되고 있다.

(2) 아고산대 제주조릿대 군반의 크기 변화

조릿대류는 가축분지(假軸分枝, sympodial branching)와 단축분지(單軸分枝, monopodial branching)를 함으로써 하나의 원형군반 형태로 확장된다(Saijoh, 1990). 아고산대 제주조릿대의 군반에 대한 면적의 연간변화를 분석한 결과, 만세동산에서는 2006년 200.14m²에서 2007년 240.09m², 2008년 302.24m²이고, 윗세오름은 2006년 464.05m²에서 2007년 534.06m², 2008년 611.45m²이며, 장구목은 2006년 32.17m²에서 2007년 35.31m², 2008년 40.24m²로 매년 제주조릿대의 군반 크기가 점차 증가되는 것으로 나타났다(Table 5, Figure 10). 이에 따른 면적의 연간 변화율은 장구목 1.47, 만세동산 1.23, 윗세오름 1.15로 분석되어 제주조릿대 군반의 확장은 입지별로 다른 것으로 나타났다.

Table 5. Changes on patch size of *S. quelpaertensis* from 2006 to 2008.

Locantion	Year	Area		Circumference		Length of horizon		Length of vertical	
		(m ²)	Index	(m)	Index	(m)	Rate	(m)	Index
Manse hill (1580m)	2006	200.14	1.00	62.63	1.00	18.27	1.00	13.99	1.00
						(±0.39)	(±0.00)	(±0.63)	(±0.00)
	2007	240.09	1.20	64.64	1.03	20.21	1.11	15.44	1.10
						(±0.27)	(±0.03)	(±0.88)	(±0.02)
	2008	302.24	1.26	73.15	1.13	22.49	1.23	17.10	1.22
						(±0.37)	(±0.03)	(±0.35)	(±0.03)
Wisoreum (1680m)	2006	464.05	1.00	95.10	1.00	24.32	1.00	20.86	1.00
						(±0.83)	(±0.00)	(±1.99)	(±0.00)
	2007	534.06	1.15	106.18	1.12	26.48	1.09	22.24	1.07
						(±0.54)	(±0.02)	(±1.60)	(±0.03)
	2008	611.45	1.14	118.22	1.11	28.45	1.17	24.11	1.16
						(±0.77)	(±0.02)	(±1.48)	(±0.04)
Janggumok (1700m)	2006	26.99	1.00	32.17	1.00	3.14	1.00	13.45	1.00
						(±1.98)	(±0.00)	(±0.70)	(±0.00)
	2007	40.71	1.51	35.31	1.10	4.25	1.51	14.90	1.11
						(±1.51)	(±0.41)	(±1.16)	(±0.03)
	2008	57.67	1.42	40.24	1.14	5.63	2.07	15.02	1.23
						(±1.58)	(±0.74)	(±2.65)	(±0.07)

조릿대류를 비롯한 지하경을 형성하는 다년생 식물은 새로운 환경에 정착할 때 원형 균반(circular patch)을 형성한다(정과 김, 1989). 제주조릿대인 경우도 암석, 경사도, 주변식생 등 주변 환경인자가 제한 요인으로 작용하지 않을 경우 원형 균반을 형성할 것으로 판단이 된다. 이에 따라 제주조릿대 균반의 직경 변화율을 분석한 결과, 만세동산은 2006년 비해 2008년 직경이 경사방향을 기준으로 종방향 1.23, 횡방향 1.22으로 조사되었고 윗세오름은 종방향 1.17, 횡방향 1.16으로 조사되어 경사방향으로 확장이 약간 큰 것으로 조사되었다(Table 5, Figure 10). 이는 제주조릿대의 근경(rhizome)이 중력에 대해 비대칭적 굴지성 반응(Knight, 1806; Kaufman *et al.*, 1994)과 기존에 자리 잡고 있는 주변 식생에 의한 것으로 판단된다.

윗세오름 조사지역을 대상으로 제주조릿대 군반 가장자리에 설치한 고정조사구에서 제주조릿대의 연간 생육특성 변화는 A조사구인 경우 간장은 20.9cm(2006년)에서 22.6cm(2007년), 23.5cm(2008년)로 단위면적당 줄기(culm)의 수는 18개에서 78개, 148개로 절간의 굵기는 1.1mm에서 1.6mm, 2.5mm로 매년 생장이 증가하였으며 각각의 고정조사구는 비슷한 경향을 보였다(Table 6). 이러한 경향은 다년생 식물의 원형 군반이 시간이 경과함에 따라 중앙부로부터 주변부를 향하여 활력도가 다른 노화부, 성숙부 및 개척부가 형성된다는 보고(정과 김, 1989)와 유사하였다. 따라서 제주조릿대도 시간의 경과함에 따라 중앙부로부터 주변부를 향하여 활력도가 다른 노화부, 성숙부 및 개척부가 형성되어 점차적으로 분포지 면적이 확장될 것으로 판단된다.

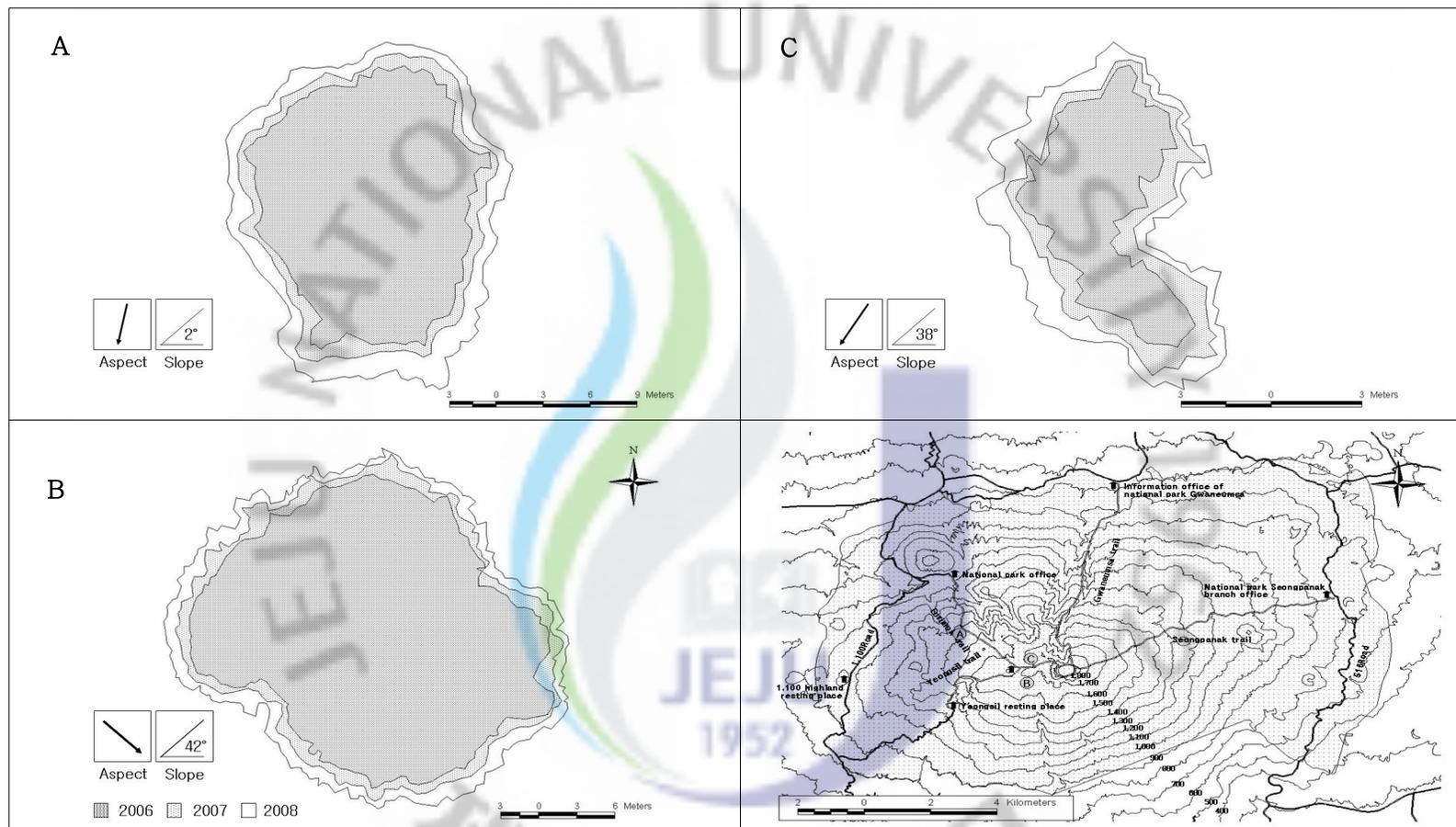


Figure 10. Changes on patch size of *S. quelpaertensis* from 2006 to 2008.

A: Manse hill (1580m), B: Wiseoreum (1680m), C: Janggumok (1700m)

Table 6. Change of growth characteristics yearly at a plots in the *S. quelpaertensis* patch at Wiseoreum.

Site	Year	Culm length (cm)	Culm density (culms/m ²)	Internode thickness (mm)
A ¹⁾	2006	20.9±3.4	18.0	1.1±0.4
	2007	22.6±2.0	79.0	1.6±0.2
	2008	23.5±5.1	148.0	2.5±0.3
B	2006	16.1±4.6	8.0	1.3±0.6
	2007	24.1±3.0	66.0	1.6±0.3
	2008	24.4±2.9	132.0	1.9±0.3
C	2006	14.8±4.2	48.0	1.2±0.4
	2007	16.2±4.7	78.0	1.4±0.2
	2008	24.9±3.8	218.0	1.7±0.3
D	2006	16.8±4.1	15.0	1.3±0.3
	2007	19.4±3.3	78.0	1.4±0.1
	2008	23.5±4.0	173.0	1.5±0.2

¹⁾ A to D sites were described at Figure 2.

2) 발아 및 유식물의 생육특성

(1) 제주조릿대의 발아

제주조릿대의 발아특성을 알아보기 위해 포영을 제거한 종자와 제거하지 않은 종자를 파종한 결과 포영을 제거하지 않은 실험구에서 발아율은 45.0%였고 포영을 제거한 실험구에서 발아율이 3.3%로 현저한 차이를 보였다(Figure 11).

2004년 8월에 파종한 제주조릿대 종자는 2005년 8월에 발아하여 발아소요기간은 1년으로 조사되었다. 한편 일본에 분포하는 섬조릿대인 경우 자연상태하에서 결실 2년 후 발아가 시작되어 6년 후 발아수는 최고되며 주변환경에 따라 다르게 나타난다(Kudo, 1980). 따라서 본 실험결과 제주조릿대의 발아율과 발아기간은 자연상태 하에서 제주조릿대의 수관 및 발달한 부엽층에 의한 종자 침투간섭과 제주조릿대로부터 분비된 Allelochemicals 등에 의해 더욱더 발아기간은 길어지고 발아율은 감소할 것으로 판단된다.

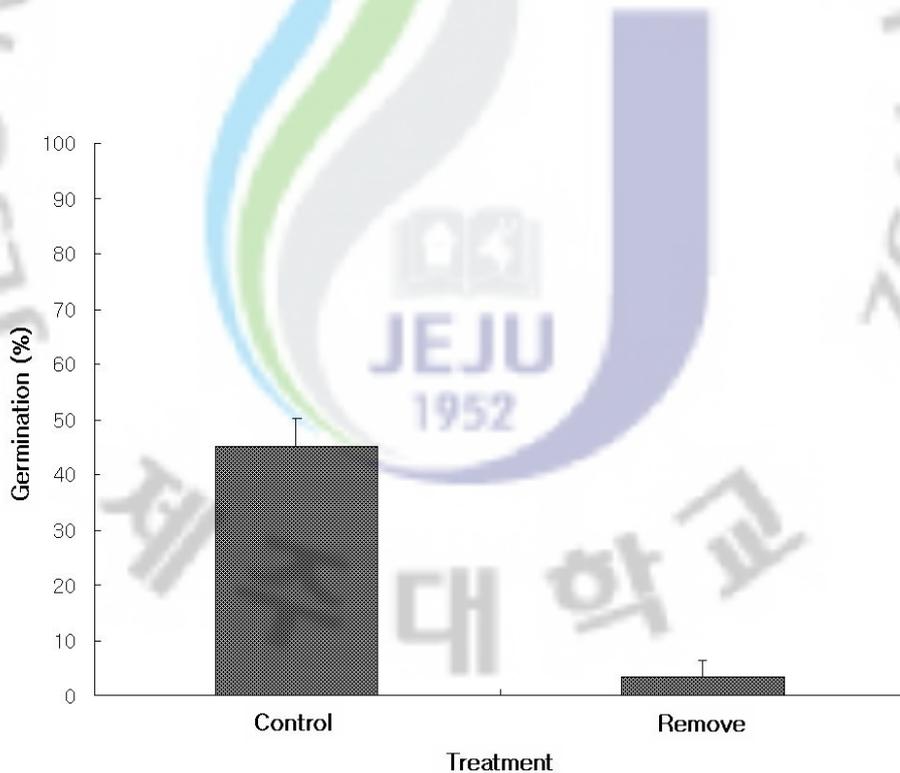


Figure 11. Comparison of seed germination rates according to removed glume of *S. quelpaertensis*.

(2) 유식물의 생장

조릿대속(*Sasa*)의 지하부는 뿌리와 근경으로 나누어지는데 근경의 형태는 단축(單軸, monopodial)과 가축(假軸, sympodial)으로 구분이 된다(McClure, 1925; Saijoh, 1990). 제주조릿대 유식물의 근경 생장은 대부분 발아 후 1년 동안은 가축분지가 되고 발아 후 2년부터 가축분지와 단축분지가 동시에 일어나는 반면 발아 후 4년 동안 가축분지만 보이는 유식물도 관찰되었다(Figure 12). 또한 몇몇의 유식물에서는 발아 4년 후부터 가축근경(symptodial rhizome)이 썩는 현상이 나타나 단축근경(monopodial rhizome)이 분리되어 새로운 개체가 생성되는 현상이 나타났다(Figure 13). 그러나 *Sasa senanensis*인 경우는 발아후 5~6년 동안 근경이 가축분지를 하고, 그 후 가축분지에서 단축분지로 전환(Saijoh, 1990)되기 때문에 제주조릿대가 *Sasa senanensis*보다 단축분지가 3~4년 빨리 발생되어 단축분지를 통한 지하부 확장이 빠른 것으로 판단된다.

따라서 제주조릿대는 종자와 근경으로 번식을 함으로써 주변환경 변화에 대해 유성생식과 영양생식의 상호전환이 빠르고 근경을 통해 서식지를 점유하기 때문에 제주조릿대가 우점하는 것으로 판단된다(Zhukova & Ermakova, 1985).

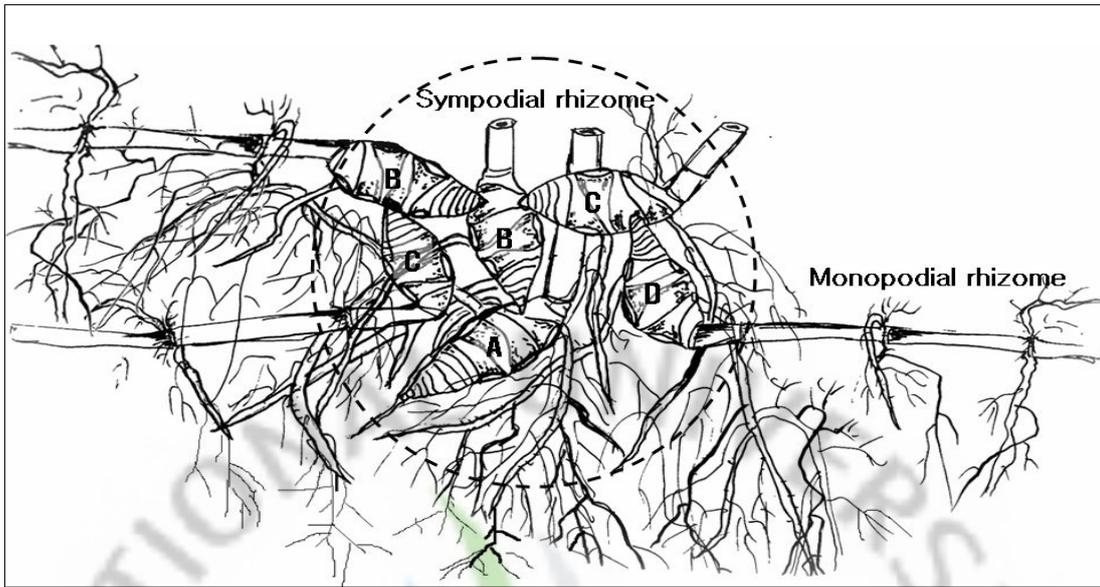


Figure 12. Schematic figures showing the pattern on vegetative reproduction of subterranean part in *S. quelpaertensis*.

A: 2005, B: 2006, C: 2007, D: 2008

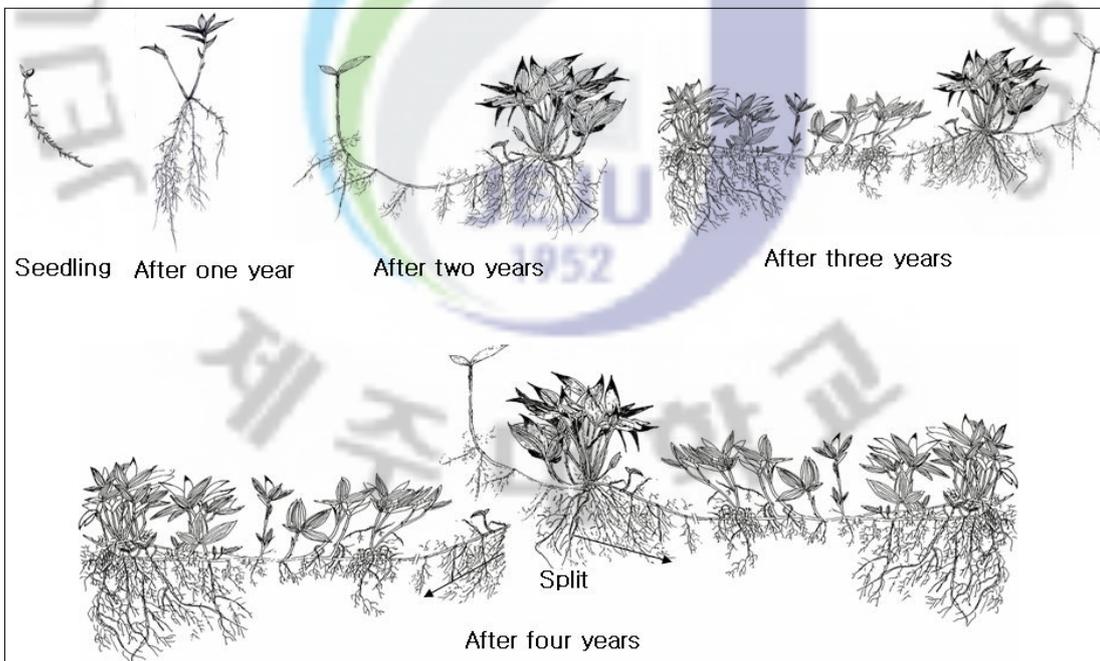


Figure 13. Schematic figures showing the pattern on seedling growth of *S. quelpaertensis*.

제주조릿대의 종자 발아 후 유식물에 대해 지상부와 지하부의 생장에 대하여 2005년부터 2008년까지 조사한 결과 간장은 2005년 1.84cm에서 2006년 6.29cm, 2007년 7.02cm, 2008년 7.21cm로 점차 증가되었고, 줄기수도 2005년 1.10개, 2006년 12.60개, 2007년 35.20개, 2008년 64.10개로 증가되는 것으로 나타났다. 또한 절간의 굵기는 2005년 0.16mm에서 2006년 0.41mm, 2007년 0.68mm, 2008년 0.97mm로 증가되었고 엽장도 2005년 0.62cm에서 2006년 2.70cm, 2007년 3.38cm, 2008년 4.23cm로 매년 증가되었다(Table 7).

자연상태 하에서의 섬조릿대(*S. kurilensis*)인 경우 개화 후 4.4cm인 유식물에서 간장이 최대가 될 때까지 28년이 걸리고, 개화 후 밀도 변화는 정착(establishment phases)에 따른 저밀도단계(low in the density-stable phase), 고밀도단계(full density phases)와 자기숙음 단계(self thinning phases)를 거치는데 개화 전 상태로 회복되기까지는 약 20년 정도 소요된다(Kudoh *et al.*, 1999; Akifumi, 1992). 따라서 제주조릿대의 유식물은 지속적인 생장이 될 것으로 추정됨으로 지속적인 연구가 필요한 실정이다.

제주조릿대 유식물의 뿌리길이는 발아 후 10.8cm(2005년)에서 11.4cm(2006년), 15.6cm(2007년), 16.5cm(2008년)로 점차 증가하였고 단축근경의 수는 발아 1년 후부터 1.1개(2006년) 발생하여 7.7개(2007년), 8.7개(2008년)로 점차 증가되었으며, 가축근경에 연결된 단축근경의 총길이 변화도 발아 1년 후부터 16.6cm(2006년), 153.6cm(2007년), 223.6cm(2008년)로 조사되어 5% 유의수준에서 발아 3년 후부터 지하부의 발달이 급격히 증가되었다(Table 7). 지상부와 지하부의 전체적인 생장을 알아보기 위해 생량 측정된 결과 발아 후 0.02g(2005년)에서 10.33g(2006년), 38.66g(2007년), 57.30g(2008년)로 매년 증가되었고 제주조릿대의 전체적인 유식물 생장은 5% 유의수준에서 발아 3년 후부터 급격한 성장 차이를 보였다.

Table 7. Changes of growth characteristics yearly on seedling after germination of the *S. quepaertensis*.

The aerial part				
Year	Culm length (cm)	Culm number (culms/plant)	Internode thickness (mm)	Leaf length (cm)
2005	1.84 ^{a1)}	1.10 ^a	0.16 ^a	0.62 ^a
2006	6.29 ^b	12.60 ^a	0.41 ^b	2.70 ^b
2007	7.02 ^b	35.20 ^{ab}	0.68 ^c	3.38 ^{bc}
2008	7.21 ^b	64.10 ^b	0.97 ^d	4.23 ^c
The subterranean part				
Year	Root Length (cm)	No. of monopodial rhizomes (Number/plant)	Total length of monopodial rhizomes (cm)	Fresh weight (g/plant)
2005	10.8 ^a	0.0 ^a	0.0 ^a	0.02 ^a
2006	11.4 ^{ab}	1.1 ^a	16.6 ^a	10.33 ^{ab}
2007	15.6 ^{ab}	7.7 ^b	153.6 ^b	38.66 ^b
2008	16.5 ^b	8.7 ^b	223.6 ^b	57.30 ^c

¹⁾ Means within a column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT.

3) 제주조릿대 생육특성 및 주변환경

(1) 계절별 지상부의 생장

한라산의 낙엽활엽수림대에 분포하는 제주조릿대의 탁엽은 4월부터 발생하기 시작하여, 5월부터 8월경에 본엽이 형성되고, 9월경에는 제주조릿대의 특징 중 하나인 잎 가장자리가 퇴색(pseudo-variegation)하기 시작되는 것으로 나타났다. 또한 제주조릿대 줄기는 3월말부터 생장이 시작되며 잎의 크기가 최대로 될 때까지 수고 생장이 지속적으로 이루어졌다(Table 8). 이와 같은 결과는 조릿대(*S. borealis*)인 경우 개엽 시기가 늦은 6월말부터 7월까지 이루어지고 줄기의 생장도 5월 중순경에 시작되는 것과는 다르게 나타났다(차와 이, 2002). 그리고 조릿대의 줄기인 경우 당년 10월에 분지형태의 휴면아 출현하는데(박, 1985) 제주조릿대인 경우도 10월말 당년에 발생한 줄기에 휴면아의 발생하여 적설기를 거쳐 이듬해 4월에 분지가 발생하여 조릿대와 휴면아 발생시기는 일치하였다(Figure 14).

제주조릿대의 줄기(culm) 즉, 잎이 달려있는 상단부 줄기의 생활사는 약 2년 정도이고, 이들 줄기는 4월 초부터 9월 말까지 생장기를 거쳐 10월초부터 3월 말까지 휴면기를 거친 후 고사가 이루어지는 것으로 나타났다(Table 8, Figure 14). 이는 조릿대속(*Sasa*) 줄기의 생활사가 *S. nipponica*은 평균 약 2년, 섬조릿대(*Sasa kurilensis*)는 약 9.2년 정도라는 보고가 있다. 또한 *S. nipponica*의 생활사는 6월부터 11월까지 생장기를 거쳐 11월부터 4월까지 휴면기를 거친다(Oshima, 1961)는 보고가 있어 제주조릿대 줄기의 생활사는 *S. nipponica*와 비슷한 것으로 나타났다.

Table 8. Phenology of *S. quelpaertensis* in the deciduous broadleaf forest.

Month Growth characteristics	2002												2003											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Leaf retention time																								
Culm growth and retention time																								
Bud formation																								

: Stipule development,
 : Leaf growth,
 : Leaf pedovariegation,
 : Dormancy

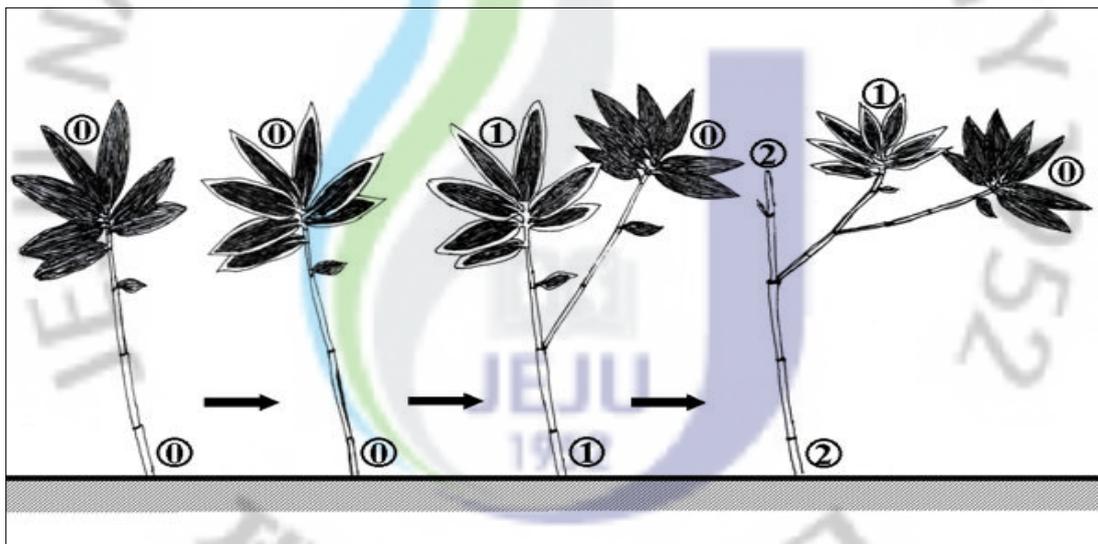


Figure 14. The life cycle of leaf and culm in *S. quelpaertensis*.

⊙: the organs of current year, ①: the organs of 1 year old, ②: the organs of 2 years old

(2) 해발고도별 생육

해발고도별 제주조릿대의 생육특성을 알아보기 위해 4개의 등산로를 중심으로 제주조릿대의 간장, 엽장과 엽폭의 길이를 측정하여 분석하였다. 어리목등산로에서는 해발 1,100에서 1,300m까지 간장, 엽장과 엽폭의 생육 차이는 보이지 않았으나 해발 1,400m 이상부터는 급격한 성장감소를 보였다. 특히 해발 1,800m 일대에 분포하는 제주조릿대의 생장은 해발 1,300m 이하에 자라는 제주조릿대보다 5배 정도 간장이 짧았다(Figure 15).

영실등산로에서는 해발 1,100에서 1,400m까지 비슷한 생장을 보인 반면 1,400m 이상부터는 해발고도가 높아짐에 따라 생장이 감소하였는데, 특히 해발 1,500m 일대에서 급격한 성장감소를 나타냈다(Figure 15).

조릿대는 상층 식생피도, 임관 차폐율과 상대조도 주변환경에 따라 생육특성이 달라진다(차와 이, 2002). 따라서 이들 지역이 상층식생이 발달한 소나무림지역에서 산철쭉(*Rhododendron weurichii* var. *psilostylum*)이나 털진달래(*Rhododendron mucronulatum* var. *ciliatum*) 등이 분포하는 관목림지역으로 바뀌어 광량, 바람 등의 영향으로 감소한 것으로 판단된다(김과 김, 1981). 그리고 해발 1,600m일대와 해발 1,700m일대에 생장이 증가한 이유는 관목림에서 구상나무림으로 바뀌었기 때문이다.

성관악등산로에서 해발 900m에서 1,400m까지는 성장 차이가 거의 없었으나, 해발 1,500m 일대에서는 급격한 생장의 감소를 보였다(Figure 15). 이들 지역 또한 낙엽활엽수림에서 관목림으로 식생이 달라져 주변환경이 변화했기 때문이다. 반면 해발 1,500~1,600m 구간은 관목림에서 구상나무림으로 식생이 다른 구간이기 때문에 일시적으로 생장이 다소 증가한 것으로 판단된다.

관음사등산로는 해발 600m에서 1,500m까지는 성장 차이를 보였으나 해발 1,600m 이상부터는 급격히 감소하였다. 특히 해발 1,700m 일대 즉, 왕관능일대는 지형적 특성으로 인하여 구상나무림의 발달이 적고 부분적으로 관목림이 발달되어 있어 크게 감소된 것으로 보인다(Figure 15).

등산로에 따른 해발고도별 제주조릿대의 생장특성을 종합하면 간장, 엽장, 엽폭의 모든 생장이 해발 1,300m까지는 점차 증가하다가 해발 1,400m 이상부터는 점차 감소되는 결과를 보였다. 또한 해발고도별로 보았을 때 해발고도에 따라 비교적 많은 성장차이가 발생하고 있는 것으로 보인다(Figure 16).

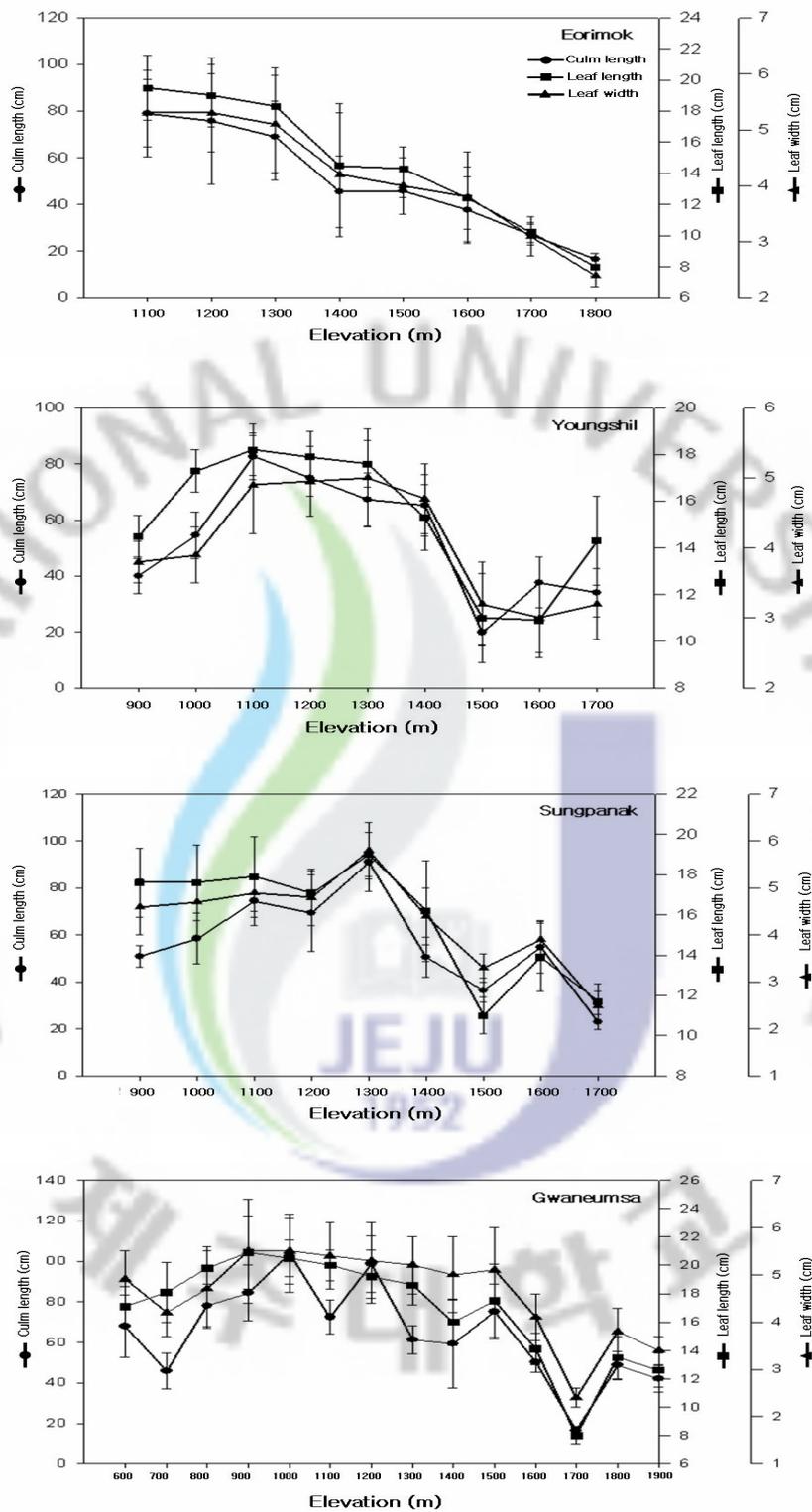


Figure 15. Changes of culm and leaf length, and leaf width of *S. quepaertensis* by elevation at each trails in Mt. Halla.

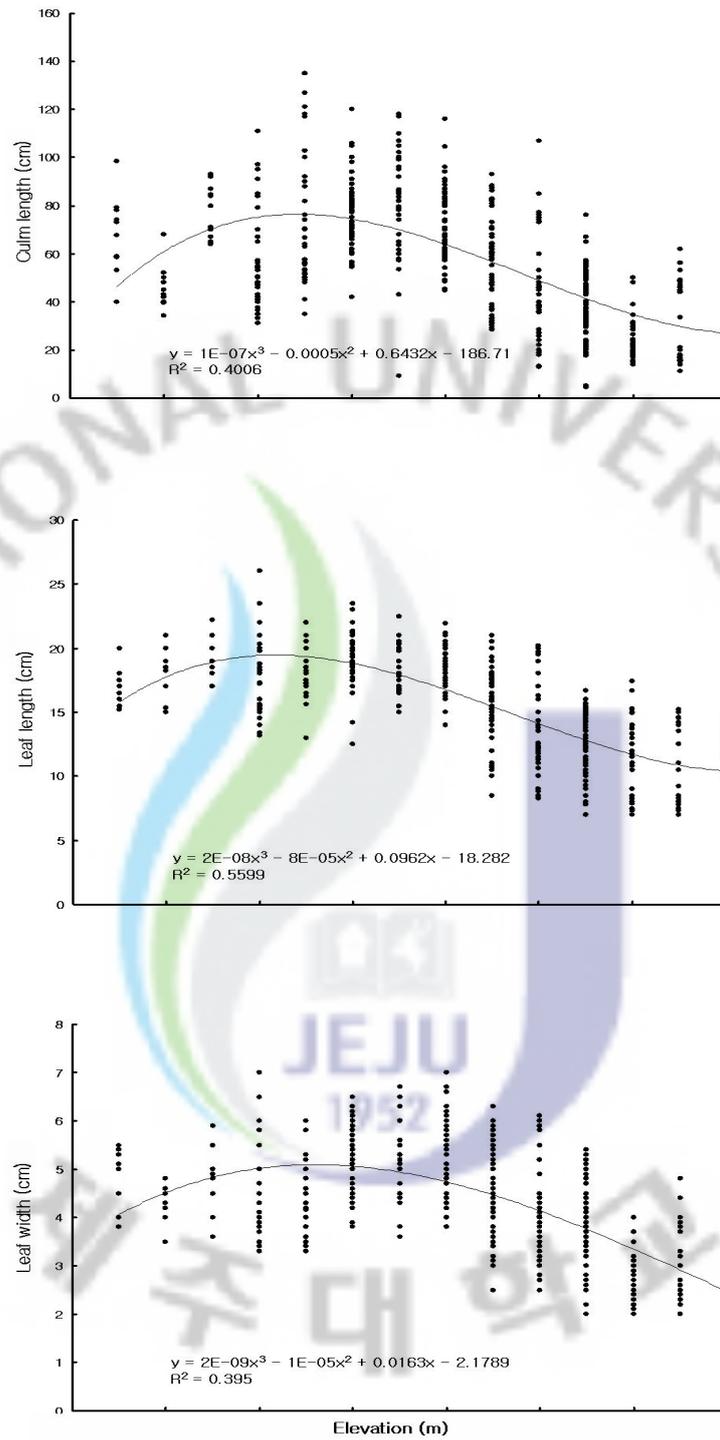


Figure 16. Changes of culm length, leaf length and leaf width of *S. quelpaertensis* by elevation in Mt. Halla.

(3) 식생유형별 생육과 주변환경

한라산의 식생대는 해발고도에 따라 낙엽활엽수림, 소나무림, 구상나무림, 관목림으로 뚜렷한 수직분포를 보이는데, 해발고도별 제주조릿대의 생육특성을 식생구조와 연관 지어 분석한 결과 식생유형에 따라 뚜렷한 차이가 있었다(Table 9). 즉, 낙엽활엽수림대에 자라는 제주조릿대의 평균 간장, 엽장, 엽폭, 밀도는 각각 66.3cm, 17.4cm, 4.8cm, 202.6개/m²로 다른 식생유형에 자라는 제주조릿대보다 길이생장이 높은 반면 밀도는 낮은 것으로 나타났다. 이에 반해 관목림에 자라는 제주조릿대의 평균 간장, 엽장, 엽폭, 밀도가 각각 32.8cm, 11.7cm, 3.4cm, 1799.5개/m²로 상대적으로 낮은 길이생장을 보였으나 밀도는 가장 높은 것으로 나타났다(Table 9). 이는 5% 유의수준에서 제주조릿대의 간장, 엽장, 엽폭은 식생유형별로 3개의 그룹으로 구분되었으며, 밀도는 낙엽활엽수림, 소나무림, 구상나무림 그룹과 관목림 그룹으로 구분되어 유의차를 보였다. 따라서 식생유형과 간장, 엽장과 엽폭의 생장은 1% 유의수준에서 역의 상관($r=-0.92$, $r=-0.84$, $r=-0.89$, $p < 0.01$)이 있고 밀도는 정의 상관($r=0.67$, $p < 0.01$)이 있는 것으로 나타나 제주조릿대의 생육특성은 식생유형과 아주 밀접한 관련이 있는 것으로 분석되었다(Table 13). 제주조릿대의 부엽층은 관목림지역에서 평균 3.1cm로 가장 높은 반면 낙엽활엽수림 지역에서는 평균 1.1cm로 낮게 나타나 부엽층의 발달도 밀도와 관계($r=0.69$, $p < 0.01$)가 높은 것으로 나타났다(Table 13).

이와 같이 낙엽활엽수림대에 분포하는 제주조릿대가 구상나무림대나 관목림대에 분포하는 제주조릿대에 비해 상대적으로 높은 생장을 보였고 밀도는 상대적으로 낮게 나타났다. 또한 관목림대나 고산초원지대에 자라는 제주조릿대의 밀도는 다른 지역보다 상대적으로 매우 높게 나왔고 생장은 급격히 감소하는 특성을 보였다.

Table 9. Comparisons of length and density of culm, length and width of leaf in *S. quelpaertensis* by vegetation types.

Vegetation type	Culm length (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Culm density (culms/m ²)	Litter (cm)
Deciduous broadleaf forest	66.3 ^{c1)}	17.4 ^c	4.8 ^c	202.6 ^a	1.1 ^a
<i>Pinus densiflora</i> forest	62.1 ^c	15.2 ^b	4.4 ^b	275.1 ^a	2.9 ^b
<i>Abies koreana</i> forest	40.2 ^b	12.1 ^a	3.3 ^a	437.6 ^a	1.8 ^{ab}
Shrub	32.8 ^a	11.7 ^a	3.4 ^a	1799.5 ^b	3.1 ^b

¹⁾ Means within a column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT.

식물체의 엽면적은 다양한 서식환경에 대한 생장의 지수로써 식물의 성장해석 및 기타 생리연구의 기초 자료이다(Yim, 1973). 제주조릿대의 총 엽면적을 조사한 결과, 낙엽활엽수림에 분포하는 제주조릿대의 줄기당 총 엽면적 382.97cm^2 으로 가장 높았고, 다음으로 소나무림(345.51cm^2), 구상나무림(162.24cm^2), 관목림(138.27cm^2)순으로 나타났고(Figure 17), 각각의 식생유형별 제주조릿대의 하부의 잎을 1엽으로 하여 8엽까지의 엽면적을 계산한 결과, 식생유형에 관계없이 4엽이 가장 큰 것으로 조사되었다(Figure 18). 이에 따라 식생유형별 단위면적당 제주조릿대 엽면적을 환산하면 관목림(24.88m^2 , $1799.5\text{개}/\text{m}^2$), 소나무림(9.50m^2 , $275.1\text{개}/\text{m}^2$), 낙엽활엽수림(7.76m^2 , $202.6\text{개}/\text{m}^2$), 구상나무림(7.10m^2 , $541\text{개}/\text{m}^2$) 순이었다.

한라산의 식생인 경우 해발고도에 따라 낙엽활엽수림, 소나무림, 구상나무림, 관목림 순으로 임의 가중치를 두어 식생유형별 총엽면적, 절간의 굵기, 해발고도와의 상관은 분석하면 제주조릿대의 줄기(culm)당 총엽면적은 1% 유의수준에서 절간의 굵기에 대해서는 정의 상관관계($r=0.83$, $p < 0.01$)를 보이고, 해발고도와 임상별로는 역의 상관관계($r=-0.77$, $p < 0.01$)를 보여 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다(Figure 17).

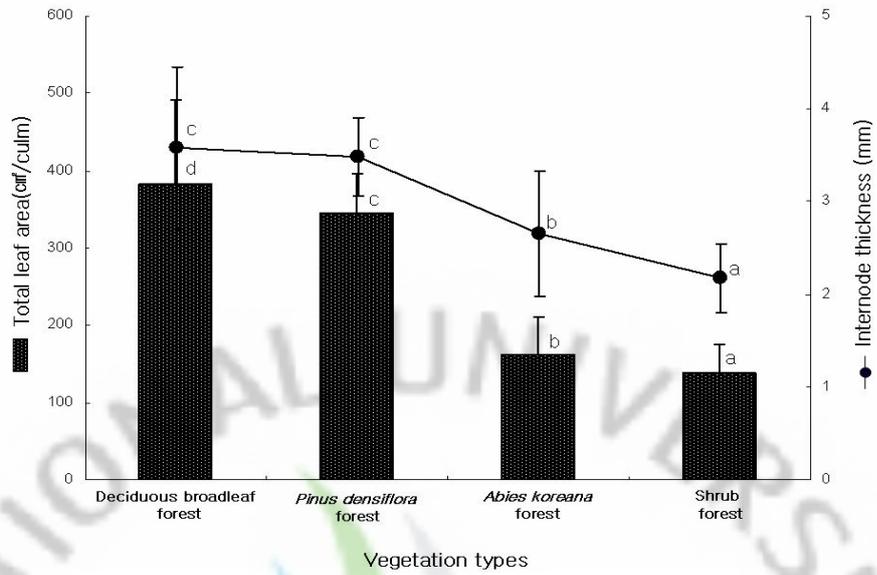


Figure 17. Comparison of total leaf area and internode thickness by vegetation types on *S. quelpaertensis*.

¹⁾ Means within a character followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT.

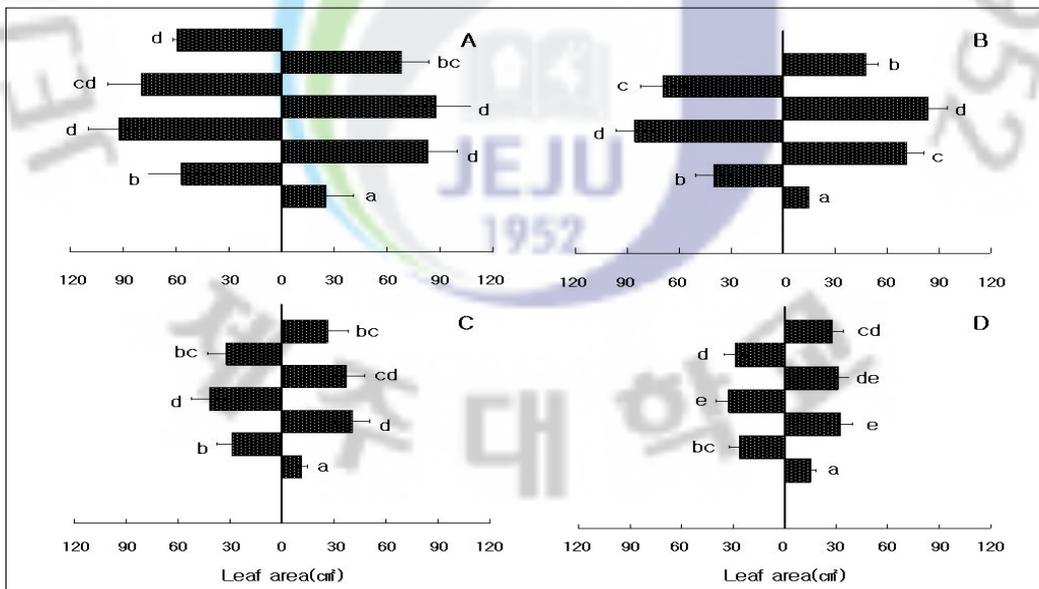


Figure 18. Comparison of leaf area by vegetation types in *S. quelpaertensis*.

¹⁾ Means within a vegetation type followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT.

A: Broad-leaved forest, B: *Pinus densiflora* forest, C: *Abies koreana* forest, D: Shrub

제주조릿대 군락의 생물량(biomass)은 군락내 구성종들의 성장현상의 종합적인 결과라고 볼 수 있다(Patten, 1978). 식생유형별 제주조릿대 생체중에 대해 조사결과, 지상부인 경우 낙엽활엽수림 2,103g/m²(dry weight; 988g/m²), 소나무림 1,727g/m²(dw; 758g/m²), 구상나무림 1,351g/m²(dw; 766g/m²), 관목림 1,240g/m²(dw; 675g/m²) 순으로 조사되었다. 반면 지하부인 경우는 관목림 9,536g/m²(dw; 2,825g/m²), 낙엽활엽수림 2,303g/m²(dw; 744g/m²), 소나무림 1,956g/m²(dw; 662g/m²), 구상나무림 1,234g/m²(dw; 339g/m²) 순으로 감소하였다(Table 10). 또한 제주조릿대의 지상부는 보유기간은 2년으로 당년에 발생한 지상부의 생산을 식생유형별로 비교하면, 낙엽활엽수림 1,585g/m²(dw; 753g/m²), 소나무림 1,056g/m²(dw; 478g/m²), 구상나무림 878g/m²(dw; 498g/m²), 관목림 909g/m²(dw; 435g/m²) 순이었다(Table 11).

조릿대(*S. borealis*)는 전반적으로 지상부에 비해 지하부의 비율이 높게 나타나 전광에서 자란 개체들이 비음 처리한 개체보다 건물중이 높다는 보고(Agata *et al.*, 1979a; 차와 이, 2002, 김과 김, 1981)와 차이가 있었다. 제주조릿대는 지상부에 대한 지하부의 비율을 보면 관목림 4.2배로 지하부가 발달된 반면 구상나무림 0.4배, 낙엽활엽수림 0.8배, 소나무림 0.9배로 지상부가 발달한 것으로 조사되었다. 지하부인 근경의 깊이는 관목림(30~40cm), 낙엽수활엽수림(20~30cm), 소나무림(20~30cm), 구상나무림(10~15cm) 순으로 한라산의 산림토양은 현무암이나 화산회의 풍화 모재로부터 생성됨으로써 토양이 척박하고, 심도가 얇기 때문에 근경 및 뿌리의 발달이 미흡한 것으로 보인다(강, 1989). 또한 상층식생이 발달하여 자연적인 비음상태인 낙엽활엽수림, 소나무림, 구상나무림이 자연적인 전광상태 관목림 보다 건물중이 높은 것으로 나타났는데 이는 상층식생이 발달한 지역에서는 광량의 투입이 적어 많은 물질들을 지상부로 투입하기 때문에 지상부의 발달을 가져온 것으로 판단된다(김과 김, 1981; Saitoh, 2002).

Table 10. Comparison of biomass by vegetation types in *S. quelpaertensis*.

Vegetation type	Shoot		Root	
	Fresh weight (g/m ²)	Dry weight (g/m ²)	Fresh weight (g/m ²)	Dry weight (g/m ²)
Deciduous broadleaf forest	2,103 ^{b1)}	988 ^b	2,303 ^b	744 ^a
<i>Pinus densiflora</i> forest	1,727 ^{ab}	758 ^{ab}	1,956 ^{ab}	662 ^a
<i>Abies koreana</i> forest	1,351 ^a	766 ^{ab}	1,234 ^a	339 ^a
Shrub	1,240 ^a	675 ^a	9,536 ^c	2,825 ^b

¹⁾ Means within a column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT.

Table 11. Comparison of biomass for a year in *S. quelpaertensis* by vegetation types.

Biomass (g/m ²)	Deciduous broadleaf forest	<i>Pinus densiflora</i> forest	<i>Abies koreana</i> forest	Shrub forest
Fresh weight	1,585 ^{b1)}	1,056 ^a	878 ^a	909 ^a
Dry weight	753 ^b	478 ^a	498 ^a	435 ^a

¹⁾ Means within a column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT.

제주조릿대 자생지 토양의 pH는 관목림 지역이 5.23으로 가장 높았고 낙엽 활엽수림 및 구상나무림 지역에서는 각각 4.99, 5.04로 유사하게 나왔으며 소나무림은 4.67로 가장 낮게 나타났다(Table 12). 토양수분은 식생유형에 관계없이 평균 73~76%로 나타났다. 토양내 유기물 함량은 소나무림에서 평균 10.85mg/kg으로 가장 낮았으나 관목림은 10.90mg/kg, 구상나무림 11.64mg/kg으로 분석되어 5% 수준에서 통계적 유의차는 없었으나 낙엽활엽수림에서 18.83mg/kg으로 가장 높게 나왔으며 다른 식생에 비해 0.6~0.8배정도 높은 유

의차를 보였다. 이러한 결과는 낙엽활엽수림이 침엽수보다 낙엽분해 속도가 빠르고 낙엽분해 속도는 해발고도에 반비례하는 경향을 보인다는 보고(장과 박, 1986)와 일치하였다. 따라서 해발고도가 낮은 곳에 위치한 낙엽활엽수림이 낙엽분해 속도가 다른 식생에 비해 빠름으로 유기물 함량이 높은 것으로 판단된다. 또한 식생유형별 제주조릿대의 상층부에 조사(照射)되는 광량의 차이는 관목림 지역이 낙엽활엽수림이나 구상나무림에서 보다 10~20배정도 높은 것으로 나타났다. 이와 같이 제주조릿대의 생육조건은 낙엽활엽수림, 소나무림과 구상나무림 지역이 유사한데 반해 관목림 지역은 차이가 많았다(Table 12).

따라서 제주조릿대의 생육특성과 주변환경을 비교해보면 낙엽활엽수림에서는 제주조릿대가 임상의 하부식생으로 자리 잡음으로써 상층부로부터의 유기물 이입은 풍부하나 광량의 투입이 적어 지상부로 에너지 투입이 많기 때문에 지상부가 발달한 것으로 판단된다(김과 김, 1981). 또한 전광상태인 조릿대인 경우 지하부 발달과 지하는 형성이 많다는 보고(Agata *et al.*, 1979a)와 일치하였다.

한라산의 식생유형별 토양성분을 분석한 결과 낙엽활엽수림에서 질소(T-N) 0.62%, 칼슘(Ca) $0.45\text{cmol}^+/\text{kg}$, 양이온치환용량(CEC) $32.28\text{cmol}^+/\text{kg}$ 으로 다른 임상에 비해 가장 높았고 소나무림에서는 유효인산(P_2O_5) $5.47\text{mg}/\text{kg}$, 칼륨(K) $0.19\text{cmol}^+/\text{kg}$ 으로 가장 높았으며, 마그네슘(Mg)은 구상나무림에서 $24.17\text{cmol}^+/\text{kg}$ 으로 가장 높은 것으로 나타났다(Table 12). 이중 칼슘은 식생유형과 역의 상관($r=-0.63$, $p < 0.05$)으로 낙엽활엽수림, 소나무림, 구상나무림, 관목림 순으로 갈수록 낮았다. 또한 제주조릿대의 간장($r=0.68$, $p < 0.05$), 밀도($r=-0.64$, $p < 0.05$) 등 생육특성에 밀접한 관계가 있는 것으로 분석되었으나 칼슘, 마그네슘 등의 토양성분은 관계가 없는 것으로 분석되었다(Table 13).

제주도 토양을 토색에 따라 분류하면 해발 700m이상에서는 갈색산림토가 주를 이루고 있어 한라산 일대는 이에 속한다(박 등, 1984). 이들은 화산암을 모체로 하는 화산회토로써 대부분 산악지대에 분포하며 제주조릿대가 왕성한 군락을 이뤄 자생하고 있다(류와 송, 1984). 본 실험에서 식생유형에 따른 한라산 토양의 화학적 성질의 결과와 제주조릿대의 생육특성과의 관계를 밝히는데 미비한 점이 많아 차후 서식지 구배에 따른 세부적인 연구가 필요하다고 판단된다.

Tabel 12. Comparison of environmental factors by vegetation types in *S. quelpaertensis* community.

Vegetation type	Soil pH	Soil	Organic	Light	T-N	P ₂ O ₅	K	Ca	Mg	CEC
		moisture	matter	intensity						
		(%)	(%)	(lux)	(%)	(mg/kg)	cmol ⁺ /kg			
Deciduous broadleaf forest	4.99 ^{ab1)}	76.17 ^a	18.83 ^b	1849.40 ^a	0.62 ^b	3.54 ^{ab}	0.17 ^a	0.45 ^b	0.25 ^a	32.28 ^b
<i>Pinus densiflora</i> forest	4.67 ^a	74.60 ^a	10.85 ^a	2994.17 ^a	0.40 ^a	5.47 ^b	0.19 ^a	0.38 ^{ab}	0.20 ^a	23.22 ^a
<i>Abies koreana</i> forest	5.04 ^{ab}	74.58 ^a	11.64 ^a	1624.00 ^a	0.47 ^{ab}	4.08 ^{ab}	0.14 ^a	0.31 ^{ab}	0.27 ^a	24.17 ^{ab}
Shrub	5.23 ^b	73.31 ^a	10.90 ^a	33,408.60 ^b	0.40 ^a	2.30 ^a	0.17 ^a	0.09 ^a	0.08 ^a	23.27 ^a

¹⁾ Means within a column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT.

Table 13. Correlation of density, growth and environment in *S. quelpaertensis* community by vegetation types.

	Vegetation types	Culm length (cm)	Culm density (culms/m ²)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Litter (cm)	Dry weight of culm	Dry weight of rhizomes	Light intensity(lux)
Culm length(cm)	-0.92**								
Culm density(culms/m ²)	0.67**	-0.73*							
Leaf length (cm)	-0.84**	0.95**	-0.53						
Leaf width(cm)	-0.89**	0.97**	-0.60	0.98**					
Litter(cm)	0.46	-0.31	0.69**	-0.07	-0.19				
Dry weight of Culm	-0.67*	0.61	-0.37	0.70*	0.66*	-0.05			
Dry weight of rhizomes	0.66*	-0.55	0.94**	-0.30	-0.36	0.45	-0.20		
Light intensity(lux)	0.76**	-0.69*	0.86**	-0.50	-0.54	0.52*	-0.41	0.98**	
Soil pH	0.45	-0.28	0.60*	-0.10	-0.17	0.01	0.19	0.54	0.53
Soil moisture	-0.28	0.34	-0.45	0.42	0.39	-0.13	0.26	0.36	-0.28
Organic matter	-0.51	0.56	-0.17	0.71*	0.65*	-0.01	0.90**	-0.07	-0.20
T-N	-0.47	0.67*	-0.41	0.57	0.59	-0.53	0.34	-0.23	-0.30
P ₂ O ₅	-0.40	0.40	-0.56	0.14	0.26	0.02	0.12	-0.63*	-0.60*
K	-0.20	0.00	-0.20	-0.12	-0.01	-0.17	-0.35	-0.06	-0.05
Ca	-0.63*	0.68*	-0.64*	0.60	0.63*	-0.37	0.36	-0.55	-0.61*
Mg	-0.31	0.30	-0.42	0.26	0.24	-0.30	0.14	-0.43	-0.44
CEC	-0.50	0.62	-0.35	0.57	0.58	-0.42	0.40	-0.15	-0.25
	Soil pH	Soil moisture	Organic matter	T-N	P ₂ O ₅	K	Ca	Mg	
Culm length(cm)									
Culm density(culms/m ²)									
Leaf length (cm)									
Leaf width(cm)									
Litter(cm)									
Dry weight of culm									
Dry weight of rhizomes									
Light intensity(lux)									
Soil pH									
Soil moisture	0.35								
Organic matter	0.40	0.29							
T-N	0.21	0.47	0.38						
P ₂ O ₅	-0.38	-0.03	-0.06	0.02					
K	-0.54	-0.02	-0.38	0.12	0.15				
Ca	-0.31	-0.16	0.22	0.31	0.14	0.23			
Mg	-0.24	-0.41	0.02	0.09	-0.18	0.08	0.84**		
CEC	0.18	0.59*	0.39	0.97**	0.00	0.15	0.30	0.07	

*, ** mean statistically significant at $p < 0.05$, $p < 0.01$, respectively.

한라산의 식생인 경우 해발고도에 따라 낙엽활엽수림, 소나무림, 구상나무림, 관목림 순으로 임의 가중치를 두어 제주조릿대의 생육특성인 간장($r=-0.92$, $p < 0.01$), 엽장($r=-0.84$, $p < 0.05$)과 엽폭($r=-0.89$, $p < 0.01$)을 식생유형별로 비교한 결과 낙엽활엽수림, 소나무림, 구상나무림, 관목림 순으로 갈수록 생장이 감소하였으나 밀도($r=0.67$, $p < 0.01$)는 증가하였다(Table 13). 제주조릿대의 생육특성인 간장은 주변 환경인자인 광량($r=-0.69$, $p < 0.05$)에 영향을 받고, 밀도인 경우는 광량($r=0.86$, $p < 0.01$)과 토양산도($r=0.60$, $p < 0.05$)에 영향을 받아 한라산은 지리적 위치와 해발고도 등의 환경인자에 따라 구성하는 식물 종이 서로 다른 생리적 반응을 보임으로써 뚜렷한 수직분포 식생대를 보여준다는 보고(김, 2002)와 유사하였다

따라서 제주조릿대의 생육특성과 주변환경을 비교한 결과 낙엽활엽수림인 경우 상층부로부터 유기물이 지속적으로 이입되거나 다른 임상에 비해 충분한 광량 투입이 적기 때문에 제주조릿대의 지상부에 에너지 투입이 많아 지상부가 발달한 것이며, 관목림인 경우 광량 투입은 충분하나 토양 내 유기물 부족으로 지상부에 비해 지하부가 발달한 것으로 판단된다. 또한 Agata(1979a) 등의 보고에 의하면 조릿대의 지하부의 성장특성은 전광에서 자란 개체들이 차광 처리된 개체들 보다 지하부의 수가 많으며, 지하경은 길이 생장이 뚜렷하다고 한다. 그러므로 관목림에 분포하는 제주조릿대는 자연광상태에서 다른 임상에 비해 지상부에 비해 지하부가 4.2배 발달을 하였고 줄기수($1,799.5\text{개}/\text{m}^2$)는 낙엽활엽수림($202.6\text{개}/\text{m}^2$)에 비해 8.9배의 발달을 가져온 것으로 판단된다(Table 9).

제주조릿대의 밀도 증가에 따른 하부식생의 종다양도 변화를 분석한 결과, 낙엽활엽수림대에서는 제주조릿대가 분포하지 않는 지역의 종다양도 지수는 0.675로 나타났으며 제주조릿대가 분포하는 지역에서는 0.698~0.718로 나타나 제주조릿대의 밀도 증가에 따른 종 다양성은 큰 차이를 보이지 않았다. 또한 구상나무림에서도 제주조릿대의 밀도가 평균 $510\text{개}/\text{m}^2$ 이상일 때는 감소경향을 보였으나 그 이하일 때는 큰 차이를 보이지 않았다(Figure 19). 그러나 관목림 지역에서는 제주조릿대의 밀도 증가와 종다양도 지수와는 반비례하는 경향이 뚜렷하게 나타났는데 특히 줄기수의 밀도가 평균 $3,170\text{개}/\text{m}^2$ 이상일 때부터는 종다양도 지수가 급속히 감소하는 경향을 보여 관목림 지역에서 제주조릿대의 밀도 증가는 종 다양성에 큰 영향을 미치는 것으로 조사되었다(Figure 19). 이러한 결과는

조릿대가 밀생하는 지역은 아교목층이 형성이 억제되어 종다양도가 낮고, 해발고도, 토양요인, 광도, 우점종의 차이는 임상의 종 다양성에 영향을 미치는 중요한 변수로 작용하는 조릿대와 유사하였다(길과 김, 1996; 장과 임, 1985). 이와 같은 결과로 볼 때 제주조릿대는 밀도가 상대적으로 높은 관목림 지역에서 종다양도 지 지수가 낮아지는 것은 한라산 아고산지대에 포함되는 관목림을 구성하는 하부식생들이 환경변화에 매우 취약한 종으로써(김, 2002), 제주조릿대의 밀도 증가에 따라 피압, 기온, 습도와 토양 등 생육환경 변화로 인해 하부식생들이 다른 곳에 비해 더 많은 영향을 받기 때문에 종 다양성이 감소될 가능성은 높은 것으로 판단된다. 또한 한라산에서 해발고도가 높아질수록 기온이 저하되어 낙엽의 분해 효율이 떨어져 제주조릿대의 부엽층의 발달로 인한 하부식생의 환경변화도 종 다양성 감소에 일부 영향을 주는 것으로 판단된다(장과 박, 1986).

따라서 식생유형별 환경 특이성에 따라 제주조릿대는 밀도, 간장, 엽수 등이 영향을 받는다. 이러한 제주조릿대의 생육특성 때문에 하부에 출현하는 종은 광선, 기온과 습도 등 독특한 환경요인이 변화되어 하층식생의 성장량이나 생존율에 크게 관여하고 있다고 판단된다. 그러나 종다양도 변화는 여러 가지 요인들이 복합적으로 작용하여 영향을 주기 때문에 다양한 요인 분석이 이루어져야 제주조릿대의 확산과 밀도증가에 따른 종 다양성과의 관계가 보다 명확하게 규명될 것으로 판단된다. 또한, 같은 식생유형에서의 동일종이라 할지라도 그들이 처해 있는 환경요인과 식물군락에서 우점종이 생육에 따른 수관형성, 부엽층의 발달 등 독특한 환경에 의해 서로 다른 생육특성을 보인다(Chanham, 1988; Magurran, 1998). 따라서 같은 식생유형에서의 제주조릿대 경우도 서로 다른 생육특성을 보이고 있어 제주조릿대의 생육에 영향을 주는 서식지 환경구배에 대해서는 보다 많은 연구가 진행되어야 할 것이다.

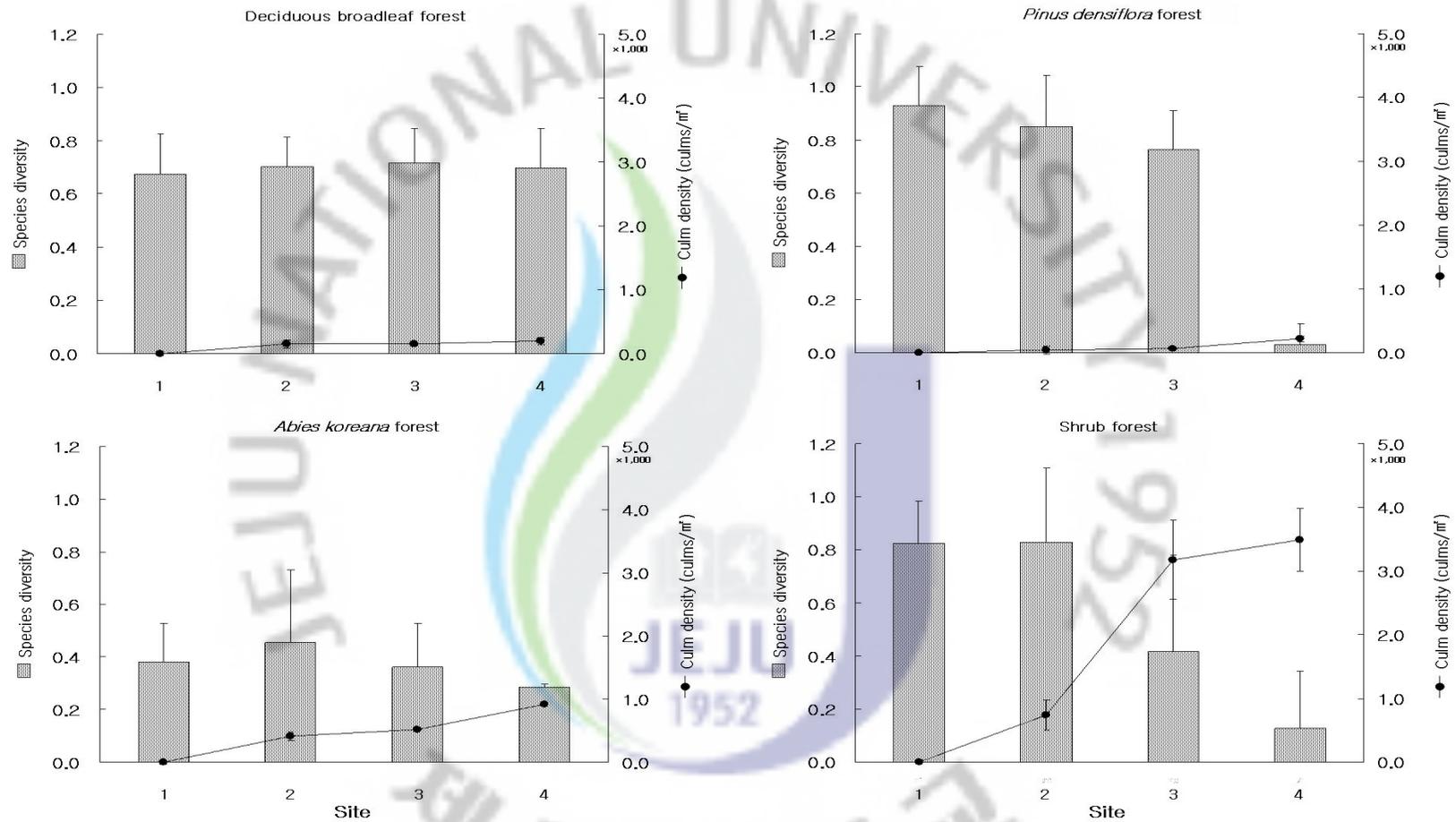


Figure 19. Changes of species diversity according to increasing density of *S. quelpaertensis* by vegetation types in Mt. Halla.

(4) 식생유형별 제주조릿대 이식 후 생육 변화

동일 종내에서 환경 적응과 관련한 종내 분화 현상이 유전적으로 고정되었을 때 생태형(ecotype)이라고 하고 지속적으로 변이의 경향을 보이는 것을 구배(cline)라고 한다(Turesson, 1922; Huxley, 1983). 제주조릿대인 경우 서식지와 식생유형별로 서로 다른 생육특성을 보이기 때문에 제주조릿대의 생태형 구배를 확인하기 위해 식생유형별로 제주조릿대를 채취한 후 지상부를 제거하여 한라생태환경연구부 고령지시험포에 이식하여 연도별 생육특성을 조사하였다. 식생유형별 연간 제주조릿대의 간장의 변화는 낙엽활엽수림인 경우 2005년 6.30cm에서 2006년 11.84cm, 2007년 13.43cm, 2008년 22.57cm로 점차 증가하였고, 침엽수림은 2005년 6.33cm, 2006년 9.14cm, 2007년 10.53cm, 2008년 19.23cm로 증가하였으며, 관목림은 2005년 4.67cm, 2006년 7.84cm, 2007년 8.36cm, 2008년 11.12cm로 증가하였다(Figure 20). 4년 후 식생유형별 제주조릿대의 간장은 낙엽활엽수림, 침엽수림, 관목림 순으로 큰 차이를 보였다.

연간 식생유형별 제주조릿대의 절간의 굵기, 엽장과 밀도의 변화도 간장의 변화와 유사한 경향을 보였으나 연간 생장에 대해 증가폭이 차이가 있었다. 4년 후 절간의 굵기와 엽장은 낙엽활엽수림 1.74mm, 12.13cm, 침엽수림 1.71mm, 10.77cm, 관목림 0.77mm, 6.84cm로 순으로 조사되었고 식생유형별 생장의 차이는 큰 것으로 나타났다. 반면 단위면적당(50×50cm) 지상부의 수는 관목림 138.56개, 낙엽활엽수림 44.00개, 소나무림 41.00개 순으로 조사되었지만 많은 차이를 보이는 것으로 나타났다(Figure 20). 따라서 식생유형별 제주조릿대 이식 후 매년 생육에 대한 증가폭은 현재까지 제주조릿대는 식생유형별 생태형구배(ecotype cline)가 일어난 것으로 판단된다.

이와 같이 식생유형별 제주조릿대 이식 후 생육특성의 유사성을 알아보기 위해 군집분석을 한 결과 총 2개의 군집으로 나타났고 낙엽활엽수림과 소나무림 군집과 관목림 군집으로 분류가 되어 현재까지 제주조릿대는 식생유형별 생태형구배가 일어나는 것으로 분석되었다(Figure 21).

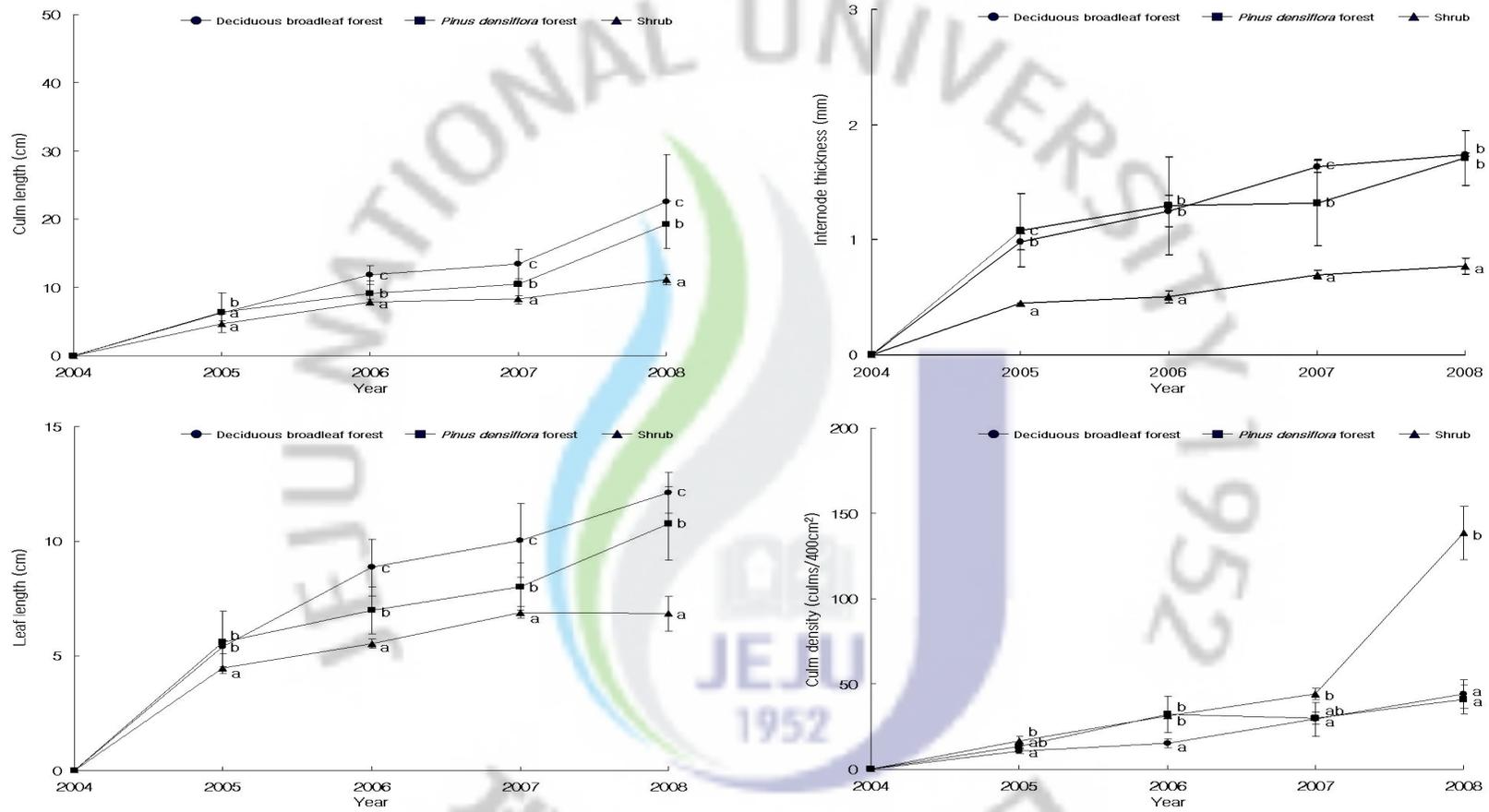
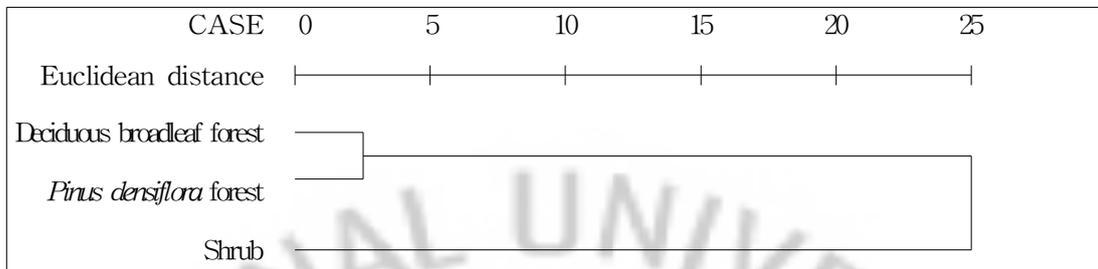


Figure 20. Changes of growth characteristics after transplanting of the *S. quelpaertensis* by vegetation types in Mt. Halla.

¹⁾ Means within a vegetation type followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT.

Figure 21. Dendrogram of hierarchical cluster analysis on growth characteristics after transplanting of the *S. quelpaertensis* by vegetation types in Mt. Halla.



(5) 제주조릿대의 Allelopathy 효과

한라산에서 제주조릿대가 우점하는 이유를 알아보기 위해 제주조릿대의 수용성 추출액 농도에 따른 수용체식물의 발아에 대해 조사한 결과, 일반적으로 농도가 증가함에 따라 발아율은 대조구에 비해 감소했으나 수용체식물의 종류에 따라 발아율은 차이가 있었다(Figure 22). 토끼풀(*Trifolium repens*)은 대조구에서 100% 발아 하였고 100% 처리구에서는 45.0% 발아하여 발아율이 65%가 감소되었다. 반면 벤투글라스(*Agrostis stolonifera* ssp. *palustris*)는 대조구에서 82.5% 발아하였고 75% 처리구에서는 90.0%, 100% 처리구에서는 87.5% 발아하여 발아율이 높아졌다. 발아지수는 수용성 추출액의 농도가 증가함에 따라 감소하였으며, 발아율과 비슷한 경향을 보여주고 있다. 수용체식물별 대조구에서 발아지수는 토끼풀 14.8, 배추 14.8, 크림슨클로버 13.0, 벤투글라스 9.4, 달맞이꽃 8.0 순이며, 100% 처리구에서 발아지수는 배추 10.9, 크림슨클로버 8.0, 벤투글라스 5.6, 토끼풀 4.1, 달맞이꽃 1.9 순이었다. 즉 토끼풀인 경우 발아지수가 약 10.7 감소한 것은 제주조릿대의 수용성추출액에 대해 민감하게 반응한 것으로 판단되나, 배추인 경우 약 3.8 감소하여 제주조릿대의 수용성추출액에 대해 둔감한 반응을 보이는 것으로 나타났다.

또한 발아소요일수는 농도가 증가함에 따라 발아하는데 걸리는 시간이 증가된 것으로 나타났는데 벤투글라스의 발아소요일수는 대조구에서 3.2일이었으나 100% 처리구에서 4.7일로 대조구에 비해 약 1.5일 늦어진 반면 배추인 경우 대조구에서 1.2일에서 100% 처리구 2.3일로 발아지수와 비슷한 경향이였다. 발아속도계수는 발아소요일의 역수로 10일의 가중치를 부여했을 때 배추는 대조구에서 8.2일이었고 100% 처리구에서는 4.5일인 반면 달맞이꽃인 경우 대조구에서 3.02일, 100% 처리구서는 2.5일로 나타났다(Figure 22).

제주조릿대 수용성 추출액 농도에 따른 수용체 유식물의 생장은 농도가 증가함에 따라 지상부와 지하부의 생장 억제정도는 차이가 있었다(Figure 23). 벤투글라스, 배추와 토끼풀인 경우 25% 처리구에서 지상부가 대조구보다 생장이 촉진되었고, 지하부인 경우 대부분의 수용체식물은 25% 처리구가 대조구에 비해 50%이상 억제가 되었다. 또한 수용체식물별로는 25% 처리구에서 지하부의 생장이 감소하였는데, 크림슨 42.0%, 벤투글라스 40.0%, 배추 36.1%, 토끼풀 27.9%,

달맞이 18.5% 순으로 현저한 감소하였다. 이는 *Sasa cernua*의 allelopathy 효과에 의해 상추(*Lactuca sativa*), 밀(*Triticum aestivum*), 큰조아재비(*Phleum pratense*), 청비름(*Amaranthus viridis*)의 발아와 유식물 생장을 42~80%의 억제한다는 보고(Li *et al.*, 1992)와 유사한 것으로 나타났다.

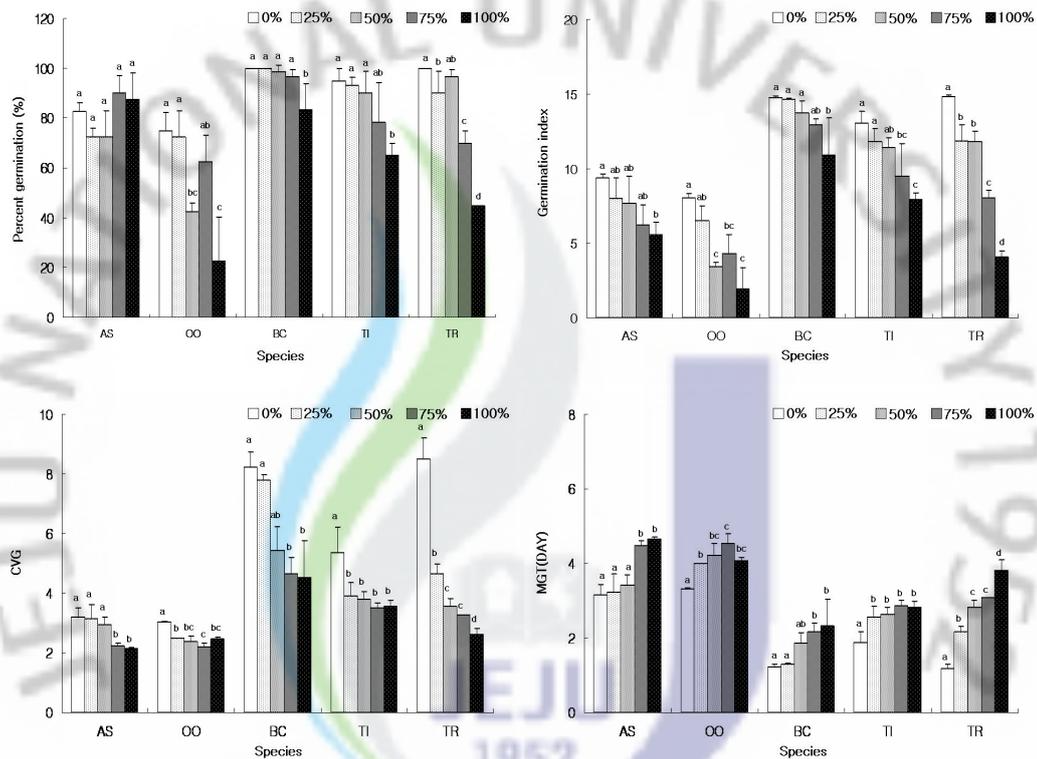


Figure 22. Effects of various concentrations of *S. quelpaertenensis* extracts on germination rate, germination index(GI), mean germination time(MGT), coefficient of velocity of germination(CVG) of receptor plants.

¹⁾ Means within a receptor plant followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT.

Receptor plants species : AS, *Agrostis stolonifera* ssp. *palustris* ; OO, *Oenothera odorata*; BC, *Brassica campestris* var. *pekinensis*; Ti, *Trifolium incarnatum*; TR, *Trifolium repens*.

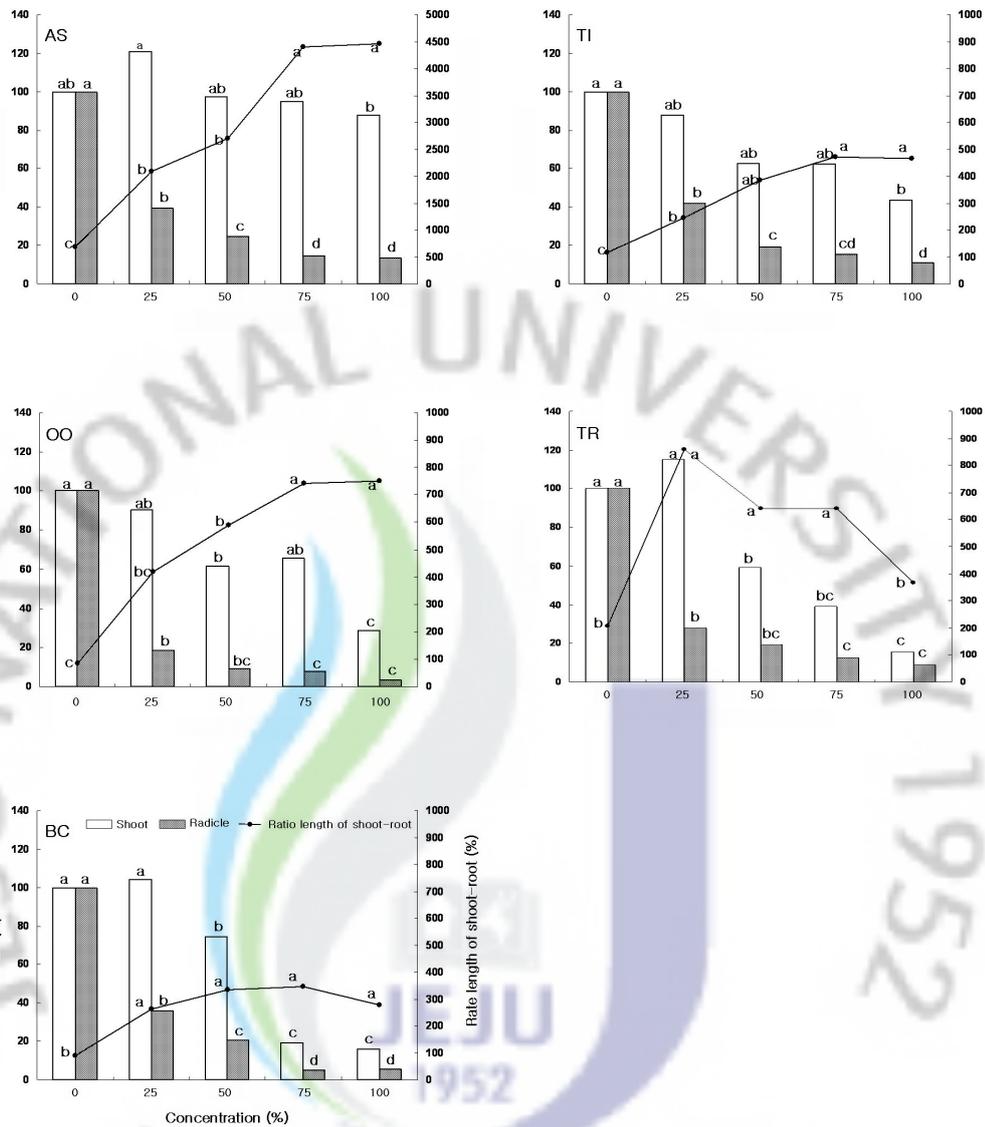


Figure 23. Comparison on relative elongation ratio(RER) of receptor plants by concentration in water extracts of *S. quelpaertensis*.

1) Means within a column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT.

Each abbreviation to species as in Figure 22.

식물체의 영양분, 무기염류, 수분을 흡수를 담당하는 기관은 뿌리털로 제주조릿대의 수용성 추출액 농도에 따른 유식물의 뿌리털 발달을 보면 각 수용식물체 종에 따라 억제 정도는 다르지만 농도가 증가함에 따라 뿌리털의 길이, 단위면적당 뿌리털의 수가 억제되었다(Figure 24). *Parthenium*의 수용성추출액은 수용체 식물의 뿌리생장을 억제하고(Mersie & Singh, 1987) 수용성추출액 농도에 따라 뿌리의 생장에 서로 다른 영향을 준다는 보고(Pardates & Dingal, 1988; Hazeborek *et al.*, 1989; Heisey, 1990)와 일치하였다. 특히 수용체식물 중 벤투글라스, 배추, 토끼풀인 경우 100% 처리구에서 뿌리털이 발생하지 않아 토양에서의 착근되거나 수분, 영양분을 흡수할 수가 없고 착근이 된다하더라도 뿌리의 발달이 빈약하여 생장이 억제될 것으로 사료된다.

제주조릿대의 수용성 추출액은 페놀화합물로 제주조릿대의 기관별, 서식지별 총 페놀함량을 조사한 결과 페놀 함량은 줄기보다 잎에서 약 2배정도 높게 나타났다. 서식지별로는 줄기의 페놀 함량은 치도(해발 650m)가 192.4mg/l로 가장 높게 분석되었고 장구목(해발 1,800m)이 164.2mg/l로 가장 낮은 것으로 분석되었다. 그러나 잎에서는 장구목이 397.6mg/l로 가장 높게 분석되었으나, 치도가 316.6mg/l로 가장 낮게 분석되었다. 지상부 전체적으로는 사제비(해발 1,480m)가 564.4mg/l로 가장 높게 나타났고 치도는 509.0mg/l로 가장 낮게 나타났다(Figure 25). 페놀함량에 대해 서식지와 식생유형별로 분석한 결과 낙엽활엽수림, 구상나무림, 관목림 순으로 나타나 갈수록 줄기($r=-0.63$, $P < 0.01$)의 페놀함량은 감소하였으나 잎($r=0.80$, $P < 0.01$)은 페놀함량이 증가하는 것으로 나타났다(Table 14). 따라서 식물체 내의 페놀화합물들은 식물체의 부위와 성장시기, 서식지에 따라 그 조성과 함량의 큰 차이가 있다는 보고(Kim, 1997; Lodhi & Rich, 1971; Duke, 1986)와 일치하였다.

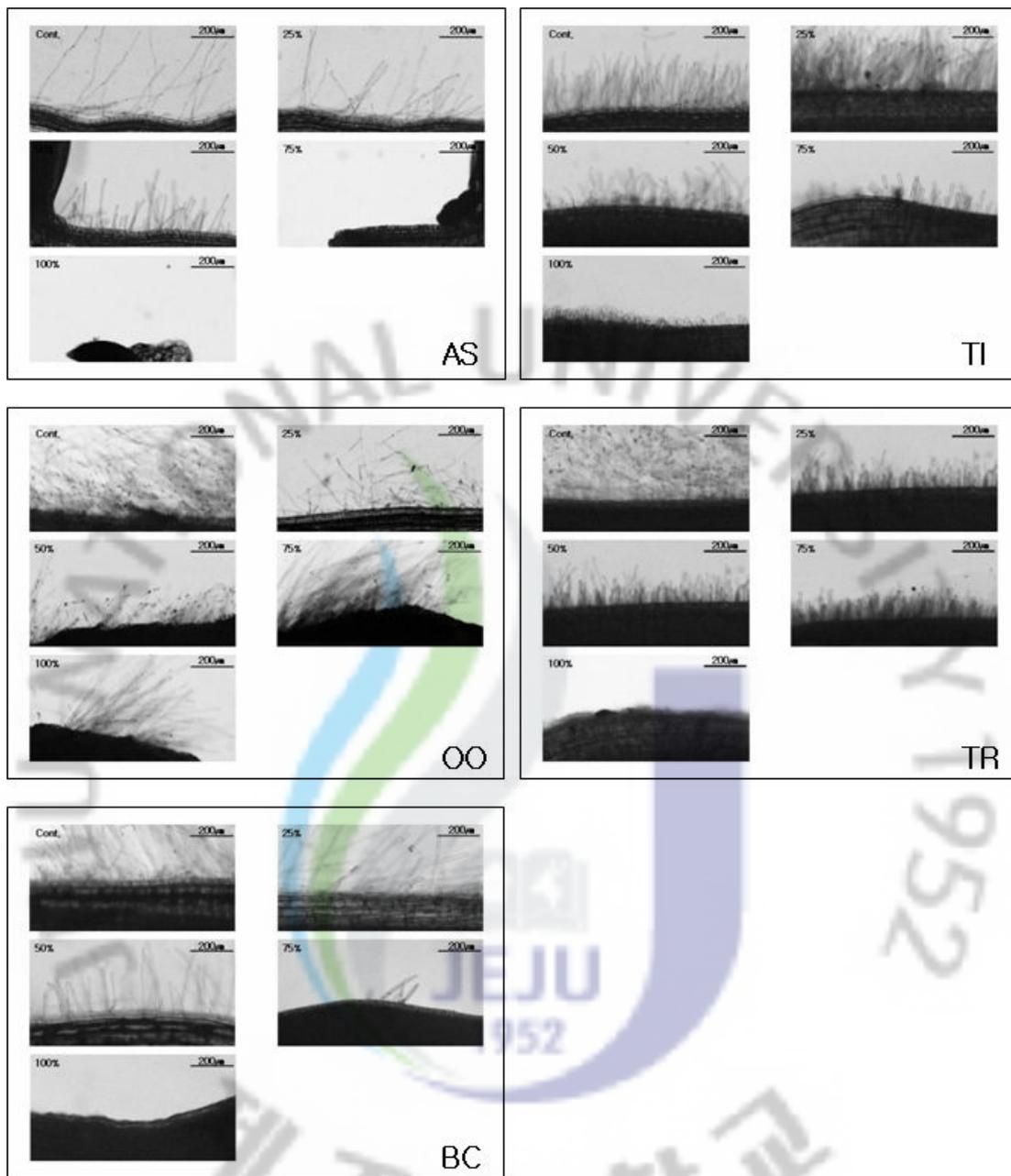


Figure 24. Development of receptor plants root hairs treated with different concentration of *S. quelpaertensis* water extracts. Each abbreviation to species as in Figure 22.

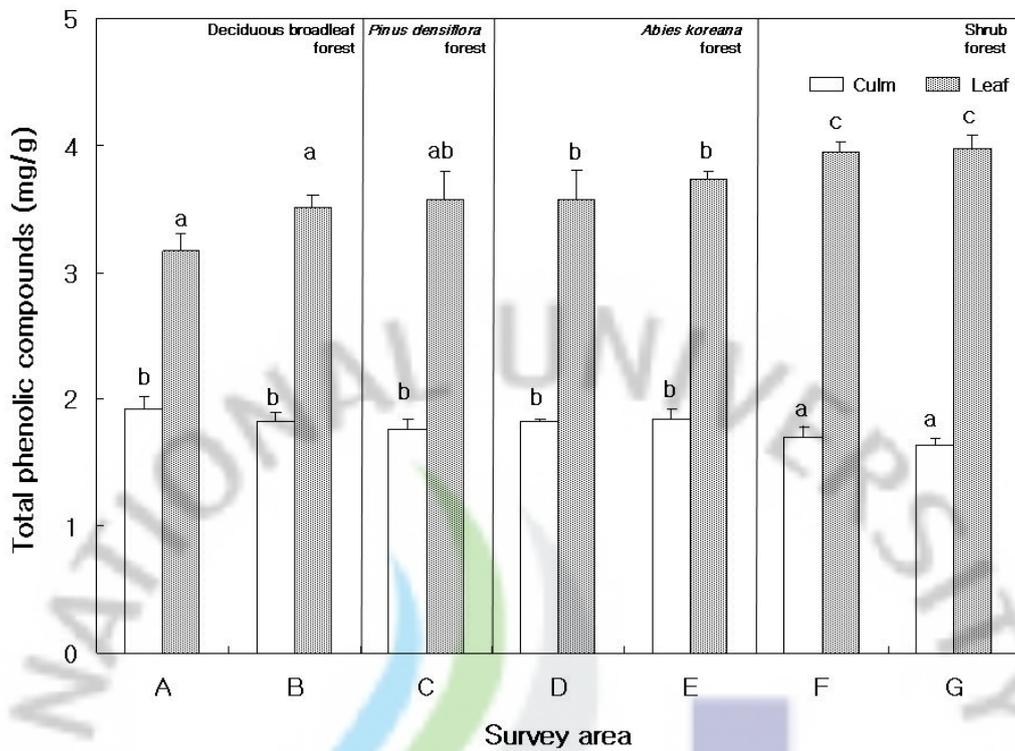


Figure 25. Comparison of total phenolic compounds on *S. quepaertensis* in survey area.

¹⁾ Means within a plant part followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT. A: Chi-do, B: Songduksu, C: Yeongsil D: Mansedong hill, E: Witesoreum, F: Sajebi hill, F: Janggumok.

Table 14. Correlation of total phenolic compounds on culms and leaves of *S. quepaertensis* by vegetation types in Mt. Halla.

	Vegetation type	Elevation	Total phenolic compound of culms
Elevation		0.72**	
Total phenolic compound of culms		-0.63**	-0.45**
Total phenolic compound of leaves		0.80**	0.67**
			-0.63**

*, ** significant at $p < 0.05$, $p < 0.01$, respectively.

이와 같은 결과를 종합하면 조릿대류는 상층으로부터 침투한 종자를 조릿대류에서 분비되는 allelochemicals에 의해 발아가 억제되어 후대목 발달을 어렵게 한다(Hirura *et al.*, 1996; Kakashizuka, 1998). 따라서 제주조릿대인 경우도 allelochemicals 중 하나인 페놀화합물이 자연 상태에서 빗물에 의해 세탈되어 수관내 토양에 있는 다른 물질과 결합하거나 비활성화 상태로 하부식생에 대해 알레로패티(allelopathy) 효과를 보임으로써 한라산에서 제주조릿대가 우점하는 주요 요인으로 판단된다. 그러나 알레로패티 효과는 phenolic acids, terpenoids, flavonoids, polyphenol 등 다양한 물질이 복합적으로 작용하기 때문에 차후 제주조릿대의 allelochemicals 분석, 서식지 환경에 따른 allelochemicals의 함량 변화, allelochemicals의 활성기작 등을 하부식생의 변화와 연관하여 제주조릿대의 우점요인을 규명해야 할 필요가 있다고 판단된다.

3. 제주조릿대의 관리방안

1) 말 사료 이용성

(1) 제주조릿대의 말 사료가치

과거 제주지역은 겨울철에는 목초가 부족하여 상록성인 제주조릿대를 말의 먹이사료로 사용하였다. 말 방목에 따른 제주조릿대의 섭취 선호도를 알아보기 위해 방목을 실시한 결과 방목 말은 제주조릿대의 1~2년지와 당년지에 상관없이 제주조릿대에 대한 높은 기호성을 보였고, 방목기간 동안에 농후사료를 보충 급여하지 않아도 큰 문제가 발생하지 않았다. 제주조릿대에 대한 말의 채식습성을 보면 잎 부분을 먼저 채식한 다음 줄기를 채식하는 경향을 보였다. 제주조릿대의 잎은 비교적 부드럽기 때문이라고 판단된다.

A-site인 경우 1차 방목기간(23일) 동안 단위면적당 섭취한 제주조릿대의 양은 417.4g/m²로 비교적 높게 나타났다. 그러나 2차(8일)에는 22.2g/m²로 제주조릿대의 생산량이 적었기 때문에 섭취량 또한 낮게 나타났다. 그러나 B-site는 생산량이 충분하기 때문에 경우 1차 방목기간(120일) 동안 75.0g/m², 2차 방목기간(116일) 동안 53.8g/m²로 분석되었다.

Table 15. Comparison of production amount and intake amount on *S. quelpaertensis* for horse grazing.

Grazing times	Production amount(g/m ²)		Remain amount(g/m ²)		Intake amount(g/m ²)	
	Mean(±SD)	Mean(±SD)	Mean(±SD)	Mean(±SD)	Mean(±SD)	Mean(±SD)
A-Site 1st (23 days)	487.2 (±213.0)	69.8 (±21.0)	417.4 (±154.0)			
2nd (8 days)	31.7 (±17.0)	9.5 (±2.9)	22.2 (±15.3)			
B-Site 1st (120 days)	122.8 (±34.8)	47.8 (±27.9)	75.0 (±21.9)			
2nd (116 days)	58.9 (±11.9)	5.1 (±1.4)	53.8 (±16.7)			

¹⁾ A to B site were described at Figure 5.

말을 사육 할 때는 적정량의 조사료를 반드시 급여해야 하고 양질의 조사료만으로 정상적인 사육이 가능하기 때문에 조사료를 구하기 쉽고 저렴하게 확보할 수 있는지가 주요 요인이 된다. 조사료는 말의 소화기내 정상적인 미생물 활성화에 필수적이며 에너지, 단백질, 비타민 및 각종 원소 등을 공급해주기 때문에 중요성이 매우 크다.

조사료의 질(質) 평가는 크게 조단백질, ADF(cellulose, lignin 등), NDF(cellulose, hemicellulose, lignin 등) 함량을 가지고 평가할 수 있는데 ADF인 cellulose나 lignin은 말이 비교적 소화하기 어려운 성분들로 함량이 낮을수록 단백질이나 가용성 탄수화물들이 많이 함유하고 있어 말 사료로서의 가치는 높다고 할 수 있다(이, 2003). 따라서 제주조릿대의 성분을 분석한 결과 제주조릿대의 성숙한 잎에서의 조단백질 함량은 12.2%, 신초(당년지) 잎에서는 16.6%로 분석되었다.

이를 제주도내 말 사육농가에서 사용되는 사료작물과 비교하면 자주개자리 (*Medicago sativa*) 건초 16.5%, 쥐보리풀(*Lolium multiflorum*) 건초 7.1%, 오리새 (*Dactylis glomerata*) 건초 10% 내외의 함량을 보이는데 비해 제주조릿대의 조단백질 함량은 비교적 높은 것으로 판단된다(Table 16). 또한 신초 15.8%, 구초 12.5% 함량을 보이는 *S. nipponica*와 유사하였다(Kawai *et al.* 1999).

Table 16. Changes of crude protein, NDF and ADF on culm and leaves of *S. quelpaertensis* by horse grazing times(% , dry matter).

Grazing times	Crude protein		NDF		ADF	
	Mean(±SD)		Mean(±SD)		Mean(±SD)	
	Culm	Leaf	Culm	Leaf	Culm	Leaf
Control (the organs of 1 year old)	4.8 (±0.4)	12.2 (±1.1)	75.0 (±2.2)	67.9 (±3.5)	48.6 (±1.4)	40.5 (±1.2)
1st (the organs of current year)	6.5 (±0.5)	14.3 (±0.8)	68.5 (±2.2)	59.0 (±2.8)	45.0 (±1.9)	41.9 (±2.3)
2nd (the organs of current year)	8.0 (±0.8)	16.6 (±1.0)	68.2 (±3.1)	58.5 (±1.8)	47.8 (±2.8)	39.0 (±2.4)

ADF와 NDF 함량에 대한 질(質)평가는 미국 건초시장에서 이용하고 있는 조사료 질 평가 기준을 보면 ADF 함량이 31% 이하일 경우 매우 우수한 조사료이고, 45% 이상일 경우 그 사료적 가치는 매우 낮다고 할 수 있으며, NDF 함량 또한 40% 이하가 매우 좋고, 65% 이상일 경우 저질(低質)의 조사료라 할 수 있다. 제주조릿대인 경우 ADF 함량은 지난해 줄기가 48.6%, 잎 40.5%이며 당년 줄기가 45.0%, 잎 41.9%로 조사되었고, NDF 함량은 지난해 줄기 75.0%, 잎 67.9%, 당년 줄기 68.5%, 잎 59.0%로 조사되었다(Table 16). 이를 제주도내 말 사육농가에서 사용되는 사료작물과 미국건초 시장에서 이용하고 있는 조사료 질(質)평가 기준을 비교하면 질 낮은 조사료로 분석되었으나 잎에서는 일반적으로 사용되는 오리새와 비슷하게 나타나 사료가치가 있는 것으로 판단된다.

일반적인 사료작물은 어릴수록 조단백질, 가용성탄수화물, 무기물 및 비타민 등이 많이 함유되어 있는 반면 ADF의 함량은 적다. 그 예로 쥐보리풀인 경우 단위 면적당 생산량이 높고 그 질도 비교적 양호하기 때문에 제주지역에서 쉽게 건초로 제조하여 이용할 수 있는 사료작물이나 늦게 수확하게 되면 생산량이 많고 건초가 용이하나 질은 계속 저하된다고 한다. 따라서 제주조릿대 수확에 따른 단백질, ADF, NDF의 함량을 비교하기 위해 구조와 신초를 분석한 결과 쥐보리풀과 같은 비슷한 생육특성을 보이는 것으로 분석되었다.

말의 주 사료는 조사료이지만 곡류나 농후사료를 통하여 일부 부족한 영양분을 공급해주어야 한다. 대부분 농가에서는 단미사료를 이용하기 보다는 시중에 시판되는 농후사료를 급여하고 있다. 따라서 제주지역에서 이용되는 말 조사료원과 제주조릿대 주요 다량원소 비교 분석한 결과 인산(P)인 경우 수입알팔파(0.19%), 쥐보리풀(0.15%), 제주산목초(0.16%), 제주조릿대의 당년 잎(0.13%), 작년 잎(0.11%), 당년줄기(0.10%), 작년 줄기(0.05%) 순으로 조사되었다. 칼슘(Ca)인 경우 제주조릿대의 작년 잎(0.42%)은 수입알팔파(1.23%) 다음으로 분석되었고, 칼륨(K)인 경우 당년줄기(1.55%)에서 제주지역에서 이용되는 말 조사료원 보다 높게 나타났다. 반면 마그네슘(Mg), 나트륨(Na)은 제주지역에서 이용되는 말 조사료원 보다 낮거나 같은 것으로 분석이 되었다. 제주조릿대의 생장기관별 인산(P), 칼슘(Ca), 칼륨(K), 마그네슘(Mg) 등의 변화를 보면 전체적으로 제주조릿대의 성분이 잎에서 줄기보다 높게 나타났고, 생육기간에 대해서는 인산(P), 칼륨(K), 마그네슘(Mg)은 제주조릿대가 어릴수록 함량이 높은 것으로 나타났다(Table 17).

사료작물의 미량원소들은 말의 흡수 및 이용에 있어 다양한 상호작용을 나타내고 그 이용성도 미량원소 함량에 따라 차이를 보인다고 한다. 따라서 제주지역에서 이용되는 말 조사료원과 제주조릿대의 미량원소를 비교 분석한 결과 철(Fe)의 함량은 모든 잎(작년 잎; 356.7ppm)과 줄기(작년줄기; 243.5ppm)에서 제주지역에서 이용되는 말 조사료원 중 가장 높게 나타났으며, 오리새(120.2 ppm)에 대해서는 2~3배정도의 함량의 차이를 보이고 있는 것으로 분석되었다(Table 17). 특히 망간(Mn)의 함량을 제주조릿대의 생장기관에 따라 분석하면 작년 잎(571.5ppm)이 작년줄기(165.1ppm)보다 4배 이상 많은 것으로 분석되었으며, 수입 알팔파(23.5ppm)에 비해서는 24배정도 많은 것으로 나타났고 제주조릿대의 잎이 줄기보다 많은 함량을 보였다. 반면 아연(Zn) 함량인 경우 제주조릿대의 대부분의 줄기가 잎보다 많은 함량을 보였고, 오리새(32.5ppm)에 비해 제주조릿대의 잎과 줄기에서 2배 이상 높은 함량을 보이고 있다. 또한 분석된 미량원소 중 구리(Cu)의 함량은 제주지역에서 사용되는 조사료원 보다 낮은 함량을 보이는 것으로 분석되었다(Table 17). 따라서 제주조릿대 잎은 아연(Zn)을 제외하고는 칼슘(Ca), K(칼륨) 등이 줄기보다 높았다.

식물체가 토양성분을 흡수하는 범위는 토양의 pH, 수분함량, 식물 종에 따라 다르기(이, 2003) 때문에 본 연구에서 측정된 제주조릿대 군락지 토양과 제주조릿대, 제주도내 목장 토양과 오리새를 분석하여 제주조릿대가 선호하는 토양성분을 알아보았다. 다량원소 및 Na 함량을 비교한 결과 P₂O₅(유효인산)은 제주조릿대 군락지에서 1.63ppm으로 조사되었고 제주도내 목장 토양에서 20.5ppm로 조사되어 제주조릿대 군락지 토양이 제주도내 목장토양보다 매우 낮게 나타났다. 제주도 중산간 이상의 토양특성상 인산결핍 현상을 그대로 보여주고 있다(Imai, 1981; Gunjigake & Wada, 1981). Na 함량은 차이를 보이지 않았으며 전체적으로 제주도내 목장 토양이 제주조릿대 군락지 토양보다 성분함량이 높은 것으로 나타났다. 오리새의 구성물 함량은 P₂O₅, Mg, K, Na 성분함량이 제주조릿대보다 높았으나 Ca 성분은 제주조릿대에서 높은 것으로 조사되었다. 토양성분과 식물체의 구성물질 함량을 비교해 보면 염분을 제외하고 제주조릿대의 Ca과 K 성분이 토양성분 함량보다 높게 나타났으며 도내목장에서는 오리새에서 K만 높은 것으로 나타났다(Table 18).

미량원소인 경우 제주조릿대 군락지와 제주도내 목장 토양을 비교한 결과 평균 함량은 $Fe > Mn > Zn > Cu$ 의 순이었으며, Fe과 Cu의 함량은 제주조릿대 군락지 토양이 높게 나타났고 Mn, Zn의 함량은 제주도내 목장 토양이 높게 나타났다(Table 18). 제주조릿대의 구성물 함량은 Cu를 제외하고는 오리새에 비해 높게 나타났으며 토양성분과 식물체의 구성물질 함량을 보면 전반적으로 식물체의 미량원소 함량이 토양에 비해 높게 나타났으나 미량원소는 식물체의 전 함량을 분석한 것이어서 상당부분은 토양 내 성분이 포함된 것으로 사료된다. 하지만, 이는 토양의 함량에 관계없이 식물체가 생육에 필요한 만큼의 미량원소를 체내에 축적하고 있음을 암시하고 있다고 볼 수 있다(송 등, 1998).

말이 제주조릿대의 섭취 후 제주조릿대의 구성성분이 체내 흡수량을 알아보기 위해 소화율을 측정하였다. 그 결과 시험기간 5일 동안 제주조릿대를 자유채식 했을 때 건물 섭취량은 구초 $23.4 \pm 4.3\text{kg}$, 신초 $20.1 \pm 3.1\text{kg}$ 으로 조사되었고 건물 분체취량은 구초 $14.9 \pm 2.8\text{kg}$, 신초 $10.6 \pm 1.4\text{kg}$ 으로 조사되어 건물소화율은 구초 $36.4 \pm 0.8\%$, 신초 $47.2 \pm 1.2\%$ 로 신초가 구초보다 소화율이 높은 것으로 분석되었다. 조단백질 소화율은 구초 $75.3 \pm 1.5\%$, 신초 $67.8 \pm 1.0\%$ 로 성장단계에 따라 큰 차이가 없었으나 비교적 높은 소화율을 보였다. NDF와 ADF 소화율은 각각 구초가 $22.6 \pm 0.9\%$, $27.4 \pm 0.5\%$ 로 조사되었고 신초가 $47.0 \pm 1.3\%$, $47.1 \pm 1.1\%$ 로 신초가 구초보다 높은 소화율을 보였다(Table 19). 일반 목건초의 말 소화율이 50% 내외임을 감안할 때, 신초의 경우 비교적 사료가치가 높은 것으로 판단되며, 구초는 섬유소 소화율이 떨어지기 때문에 건물소화율이 낮은 것으로 보인다.

위의 결과를 종합하면 제주조릿대의 사료가치를 평가한 결과 말의 기호성, 채식성, 단백질 함량과 소화율이 비교적 높았고 ADF와 NDF의 함량은 제주산 목건초인 오리새와 비슷한 함량을 보여 제주조릿대가 말 사료로서의 가치가 있는 것으로 판단되며 제주조릿대가 말의 생리학적, 영양학적 측면에 어떤 영향을 주는지에 대해서는 앞으로도 지속적인 연구가 필요하겠다.

Table 17. Changes of macroelement and microelement on culm and leaves of *S. quelpaertensis* by horse grazing times(% , dry matter).

Grazing times	Macroelement(Mean±SD)(%)										Microelement(Mean±SD)(ppm)							
	P		Ca		K		Mg		N		Fe		Mn		Zn		Cu	
	Culm	Leaf	Culm	Leaf	Culm	Leaf	Culm	Leaf	Culm	Leaf	Culm	Leaf	Culm	Leaf	Culm	Leaf	Culm	Leaf
Control (the organs of 1 year old)	0.05 (±0.01)	0.11 (±0.03)	0.1 (±0.01)	0.42 (±0.10)	0.86 (±0.05)	0.87 (±0.10)	0.06 (±0.01)	0.09 (±0.01)	0.04 (±0.01)	0.03 (±0.01)	356.7 (±17.6)	243.5 (±19.0)	165.1 (±15.1)	571.5 (±20.3)	74.1 (±4.0)	50.1 (±5.0)	3.8 (±0.4)	5.6 (±0.7)
1st (the organs of current year)	0.10 (±0.02)	0.13 (±0.03)	0.11 (±0.03)	0.30 (±0.05)	1.31 (±0.10)	1.40 (±0.20)	0.06 (±0.01)	0.13 (±0.02)	0.02 (±0.01)	0.02 (±0.01)	213.3 (±32.1)	263.3 (±12.5)	162.1 (±18.0)	403.6 (±25.1)	62.4 (±4.5)	39.4 (±2.0)	4.3 (±0.3)	5.5 (±0.4)
2nd (the organs of current year)	0.11 (±0.02)	0.14 (±0.05)	0.13 (±0.02)	0.35 (±0.06)	1.55 (±0.15)	1.14 (±0.10)	0.07 (±0.02)	0.14 (±0.03)	0.04 (±0.01)	0.03 (±0.01)	271.6 (±17.6)	172.2 (±17.0)	225.1 (±15.0)	492.1 (±17.5)	64.0 (±3.0)	40.4 (±2.5)	6.3 (±0.6)	5.9 (±0.4)

Table 18. Comparison of macroelement and microelement on *S. quelpaertensis* and local hay, and soli of horse's grazing area and pasture.

Compartments	P ₂ O ₅ (ppm)	Macroelement				Microelement				
		Ca	Mg	K	Na	Fe	Mn	Zn	Cu	
		(unit: Soil-cmol/kg, Plant-%)				(ppm)				
Plant	<i>S. quelpaertensis</i>	0.08	0.26	0.08	0.87	0.04	300.1	368.3	62.1	4.7
	Local Hay (<i>Dactylis lomerata</i>)	0.16	0.21	0.14	1.27	0.19	120.2	106.9	32.5	6.6
Soil	Grazing area	1.63	0.21	0.2	0.17	0.19	99.9	22.2	2.9	0.5
	Pasture	20.5	2.60	0.90	0.50	0.20	75.6	51.3	11.4	0.3

Table 19. Digestibility of horses on *S. quepaertensis*.

	Organs of last year	Organs of current year
Amount of intake (kg)	23.4±4.3	20.1±3.1
Amount of dung (kg)	14.9±2.8	10.6±1.4
Dry matter digestibility (%)	36.4±0.8	47.2±1.2
Crude protein digestibility (%)	75.3±1.5	67.8±1.0
NDF digestibility (%)	22.6±0.9	47.0±1.3
ADF digestibility (%)	27.4±0.5	47.1±1.1

Weight of horse before experiment on digestibility: The organs of last year(297±28.5kg),
Organs of current year(303±11.0kg).

(2) 말 방목 강도에 따른 제주조릿대의 생육과 하부식생 변화

말 방목에 따른 제주조릿대의 생육특성 및 하부식생의 변화를 알아보기 위해 2005년에 2회 방목한 A-site와 2006년부터 2007년까지 매년 2회 방목한 B-site로 구분하여 조사하였다. A-site 제주조릿대의 간장인 경우 방목 전 $85.8 \pm 3.9\text{cm}$ 에서 1차 방목 후 $25.6 \pm 3.6\text{cm}$, 2차 방목 후 $15.7 \pm 2.0\text{cm}$ 로 방목 횟수가 증가함에 따라 방목 전 간장에 비해 각각 70.2%, 81.8%가 감소되었다. B-site인 경우 방목 전 $35.0 \pm 16.3\text{cm}$ 에서 1차 방목 후 $20.3 \pm 5.7\text{cm}$, 2차 방목 후 $11.4 \pm 4.5\text{cm}$ 로 방목 전 간장에 비해 각각 42.1%, 67.6% 감소되어 일본에 분포하는 *S. nipponica*에서 나타난 72% 감소율과 비슷한 감소율(Hirayoshi *et al.*, 1968a)을 보였다(Figure 26).

제주조릿대 절간의 굽기도 방목 횟수가 증가함에 따라 A-site는 각각 32.8%, 43.7%, B-site는 각각 35.3%, 55.2%로 순차적 감소의 경향을 보였다. 반면 단위 면적당 줄기수는 A-site인 경우 방목 전 $116.4 \pm 10.9\text{개}/\text{m}^2$ 에서 $68.0 \pm 10.2\text{개}/\text{m}^2$, $32.0 \pm 7.9\text{개}/\text{m}^2$ 로 순차적 감소하였는데 B-site는 $68.9 \pm 27.93\text{개}/\text{m}^2$ 에서 $78.08 \pm 40.55\text{개}/\text{m}^2$ 으로 증가되었다가 $38.3 \pm 32.5\text{개}/\text{m}^2$ 로 다시 감소되었다(Figure 26).

이러한 결과는 제주조릿대 줄기의 생활사가 약 2년 정도로 4월 초부터 9월 말까지 성장기를 거쳐 10월초부터 3월 말까지 휴면기를 거친 후 고사가 되는데 A-site 줄기(culm)인 경우 성장기를 거치지 못하여 지속적인 말의 섭취가 이루어진 반면 B-site는 줄기의 성장기를 거쳤기 때문에 다수의 줄기가 분지 형태로 출현한 것으로 판단이 된다. 한편 일본에 자생하는 *Sasa senanensis*인 경우는 방목한 후 줄기(culm) 당 분지가 23.7배가 증가하였다고 한다(Hirayoshi, 1969b). 또한 B-site에서 2차 방목 후 줄기수의 감소는 1차 방목 후 줄기의 발생을 위해 근주 내에 축적되어 있던 동화물질을 이용하였으나 2차 방목 후에는 동화물질의 양이 원활하지 않아 줄기의 발생이 적은 것으로 생각된다(Saitoh, 2002).

하부식생의 변화는 A-site인 경우 말을 방목하기 전에 제주조릿대의 하부식생은 청미래덩굴(*Smilax china*), 줄방제비꽃(*Viola acuminata*), 뱀뿔(*Lycopodium serratum*), 으름(*Akebia quinata*) 등이 분포하였으며 이에 따른 종다양도 지수는 1.47을 분석되었다. 1차 방목 후에는 송악(*Hedera rhombea*), 애기나리(*Disporum smilacinum*), 바위수국(*Schizophragma hydrangeoides*), 고사리삼(*Botrychium ternatum*) 등 초본식물과 상층식생을 구성하는 서어나무(*Carpinus laxiflora*) 치수

등이 분포하여 종다양도 지수는 1.80로 분석되어 방목 전·후의 종다양도 21%가 증가한 것으로 나타났다. 또한 2차 방목 후에도 1차 방목과 비슷하게 1.88로 조사되어 하부 출현종, 개체수가 증가 경향을 보였다(Figure 27). B-site도 방목 전 송악, 마(*Dioscorea batatas*), 마삭줄(*Trachelospermum asiaticum* var. *intermedium*), 좁닥취(*Ainsliaea apiculata*), 비목(*Lindera erythrocarpa*)치수 등이 분포하여 종다양도 1.78을 보였고 1차 방목 후 소나무(*Pinus densiflora*), 물참나무(*Quercus grosseserrata*), 보리수나무(*Elaeagnus umbellata*), 때죽나무(*Styrax japonica*) 등이 상층식생을 구성하는 치수 등과 마삭줄, 사철난(*Goodyera schlechtendaliana*), 탐꽃(*Clinopodium gracile* var. *multicaule*), 청미래덩굴(*S. china*) 등의 초본식물이 분포하여 종다양도 1.86, 2차 방목 후에는 종다양도 2.19로 분석되었다(Figure 27). 이처럼 방목이 진행됨에 따라 제주조릿대가 왜성화 되는 경향과 하부식생의 출현종, 개체수가 증가하는 경향이 있으나 방목지역에 분포하는 수목에 대해서는 피해목 및 고사목이 발생되었다.

피해목의 발생 원인은 말의 행동 습성상 나무껍질씹기(bark chewing) 행동에 의해 발생된 것으로 방목전 A-site인 경우 분포하는 수목은 총 20과 25속 37종 643개체군으로 조사되었고, 가장 많이 분포하고 있는 개체군으로는 비목나무(*Lindera erythrocarpa*) 157개체, 때죽나무(*Styrax japonica*) 87개체, 팔배나무(*Sorbus alnifolia*) 48개체 등의 순으로 조사되었다.

2차 방목 후 말의 나무껍질 씹기(bark chewing) 행동에 따른 박피현상을 보이는 수목은 17과 21속 27종 88개체군으로 조사되었으며, 이중 가장 많은 수종으로는 때죽나무 18개체, 참회나무(*Euonymus oxyphyllus*) 10개체, 비목 7개체 등의 순으로 조사되었고 총 분포하는 수목 중에 대한 피해율은 73.0%, 총 개체에 대한 피해율은 13.7%로 조사되었다(Table 20, Appendix 1).

말의 나무껍질씹기에 의해 박피현상으로 보이는 나무는 평균 침입 확률이 높기 때문에 수목이 천천히 죽이는 현상이 나타나는데 이에 따른 고사 수목은 8과 11속 12종 31개체군으로 참회나무 7개체, 때죽나무 6개체, 비목나무 6개체 등으로 줄기의 직경이 5cm이내의 어린수목으로 나무껍질이 벗겨지기 쉽고 나무껍질에 목질소(lignin)가 적은 나무로 나타났으며 총 분포 수목중에 대해 고사율은 43.3%, 총 개체에 대해 고사율은 4.8%로 조사되었다(Scharf & Hirth, 2000).

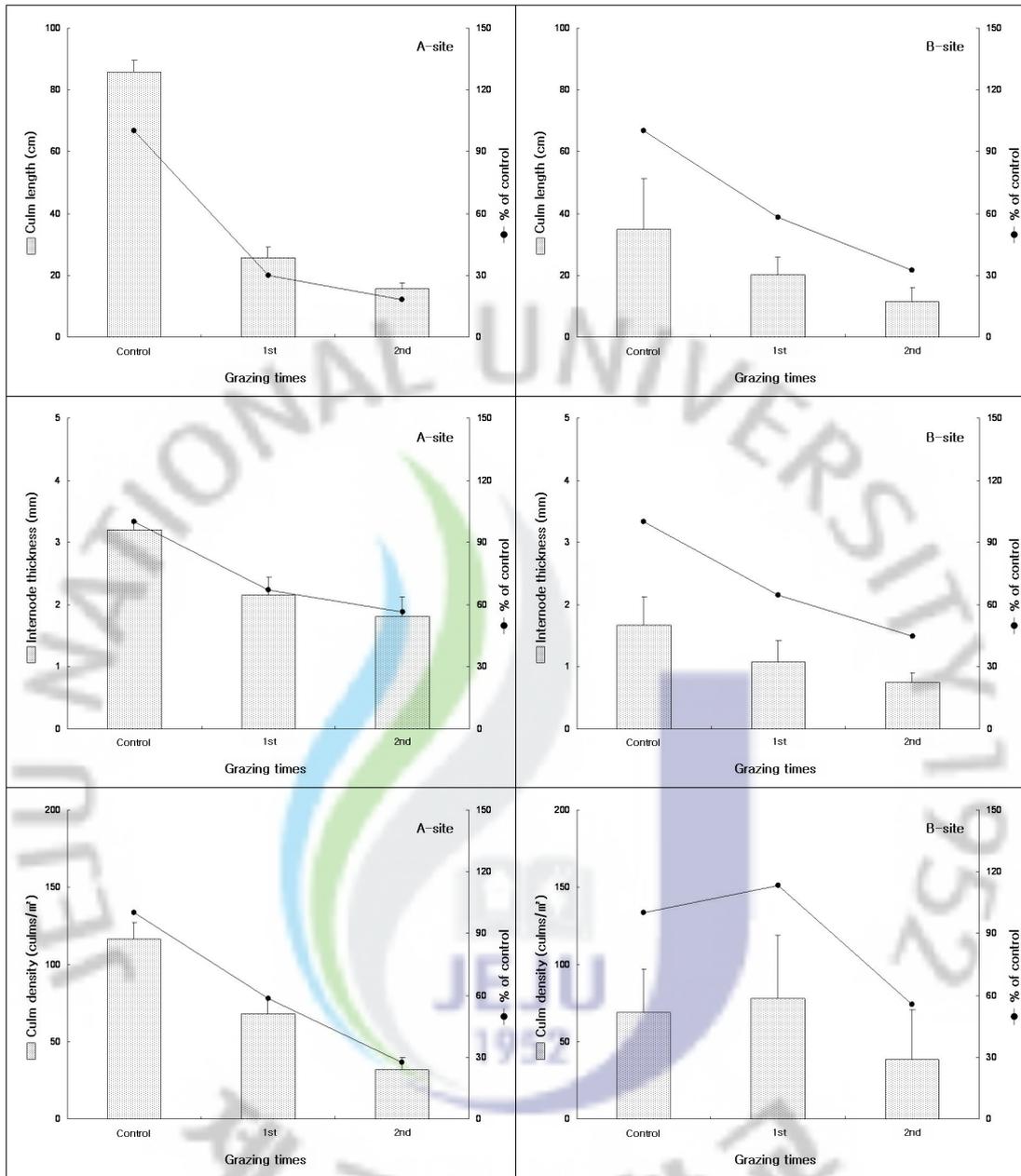


Figure 26. Changes of growth characteristics on the *S. quelpaertensis* according to horse grazing times by survey area.

¹⁾ A to B sites were described at Figure 5.

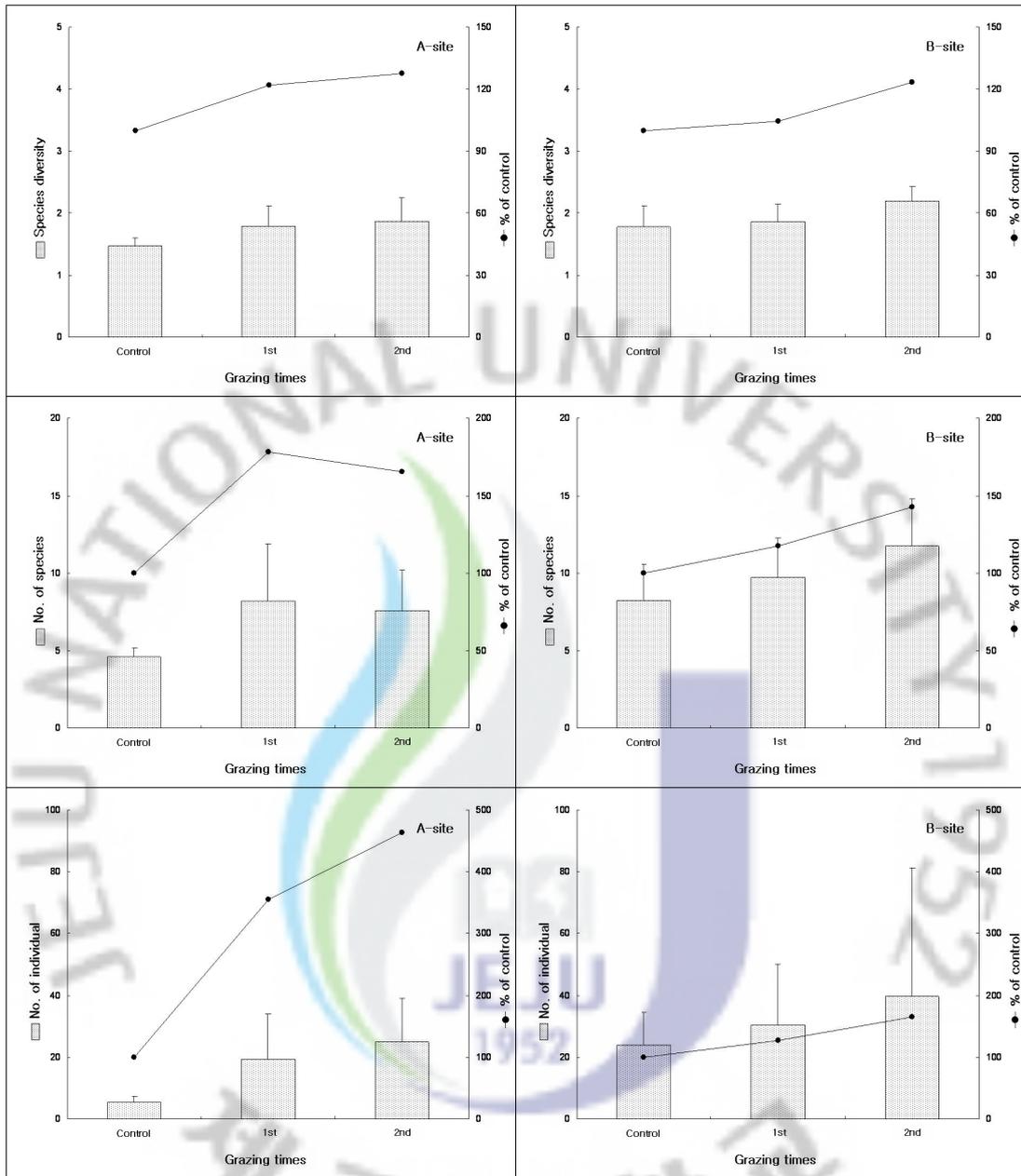


Figure 27. Changes of species diversity on vegetation under the *S. quelpaertensis* according to horse grazing times by survey area.

¹⁾ A to B sites were described at Figure 5.

Table 20. Number of striped trees by behavior bark chewing of horses.

Striped trees	No. of Families	No of Genera	No. of Species	No. of individuals
Total tree	20	25	37	643
Damage tree	17	21	27	88
Damage rate (%)	80.0	84.0	73.0	13.7
Dead tree	8	11	12	31
Dead rate (%)	40.0	44.0	43.4	4.8

외국인 경우 말에 의한 나무껍질씹기 현상은 성마인 경우 전체수목의 60.0% 정도 나타나고 어린 말인 경우 10.6% 나타났으며, 수목의 수고에 따라서는 50cm이하가 81.8%, 수고가 150cm 이상이 15.3%로 나타난다고 한다(Ainslie, 2005). 이와 비교하면 본 조사에서는 전체수목 중에 나무껍질씹기가 13.7%로 조사되어 차이가 있었다. 이처럼 차이가 있는 이유는 말 방목 기간과 방목면적 등의 차이로 인한 것으로 판단이 되고 고사목의 발생은 Kuiters 등(2006)의 보고와 같이 나무껍질에 목질소(lignin)인 수목으로 나무껍질이 벗겨지기 쉽고, 흉고직경이 5cm이하인 참회나무, 때죽나무, 비목나무 등 어린나무에 피해가 많은 것으로 조사되었다. 반면 B-site는 피해목 발생은 없었다.

이처럼 피해목 발생 원인은 말의 행동 습성상 나무껍질씹기(bark chewing) 행동에 의해 발생이 되는데 이러한 행동은 지금까지 밝혀지지 않았으나 먹이량, 수분, 영양분의 결핍, 본능, 권태 등 여러 가지 원인에 의해 일어난다(Ralston *et al.*, 1979; Ciani *et al.*, 2001)고 한다. 따라서 단위면적당 제주조릿대의 섭취량을 기준으로 방목기간동안 A-site과 B-site의 제주조릿대 생산량과 말의 하루 섭취량(AUD, Animal unit day)을 분석한 결과 A-site는 1차 방목 기간동안에 하루 섭취량은 24.7kg, 2차 방목기간동안 2.6kg으로 2차 방목시 말의 하루 섭취량은 1차 방목에 비해 22.1kg이 급격히 감소하였다. 반면 B-site에서 하루 섭취량은 1차 방목기간동안 24.4kg, 2차 방목기간동안 18.1kg으로 1차 방목에 비해 6.3kg이 감소하였다. 일반적으로 가축들의 먹이량은 지역 환경과 동물의 체중에 따라 먹

이요구량이 다르다(Scarnecchia, 1985; Ruyle & Ogden, 1993). 제주조릿대에 대한 말 소화율 실험에서 말 한 마리가 하루에 섭취하는량은 구조 23.4kg, 신초 20.1kg으로 조사되었는데 말 체중의 7%, 8%로 산출되었다(Table 21). 따라서 A 지역 2차 방목인 경우 제주조릿대에 대한 하루 섭취량이 2.6kg으로 말 체중에 1%밖에 안 되기 때문에 먹이 부족으로 나무껍질씹기 행동이 나타나 피해목이 발생하는 것으로 생각된다.

그러므로 결과 제주조릿대는 말 사료로 가치가 있고 방목이 진행되면서, 제주조릿대가 왜성화 되면서 하부에 출현하는 종에 광선, 기온, 습도 등 환경이 개선되어 임상이 갱신 될 것으로 판단되나 불가피하게 발생하는 피해목을 줄이기 위해서는 말의 행동 습성에 대한 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

Table 21. Comparison of AUD on *S. quelpaertensis* for horse grazing by grazing area.

Grazing times	Production amount(kg)	Intake amount(kg)	Grazing days	AUD (kg)	AUD/WH (%)
A-Site ¹⁾ 1st	1,327.6	1,137.4	23	24.7	8
2nd	60.4	42.3	8	2.6	1
B-Site 1st	19,133.0	11,685.5	120	24.4	8
2nd	9,177.0	8,382.4	116	18.1	6

AUD: Animal Unit Day, WH: Weight of Horse

¹⁾ A to B sites were described at Figure 5.

2) 벌채 후 생육 및 하부식생의 변화

(1) 제주조릿대 벌채 후 월간 생육 변화

제주조릿대 벌채에 따른 생육특성을 알아보기 위해 지역별로 2개의 실험구와 1개의 대조구로 총 3개의 조사구를 선발하여 조사하였다. 각각의 조사구에 출현하는 제주조릿대 밀도, 간장과 총 엽장을 월별 조사한 결과, 낙엽활엽수림에서 제주조릿대 간장은 5~6월 사이에 급격한 성장을 보인 후 완만하면서도 지속적으로 성장하였다. 총 엽장은 6~7월 사이에 급격히 성장한 반면 밀도는 4~6월 사이 급속히 증가하는 경향을 보였고, 6~10월에도 약간의 변화가 있는 것으로 나타났다(Figure 28). 또한, 낙엽활엽수림에서는 8월을 기준으로 제주조릿대 벌채 및 부엽층 제거 후 1년이 경과된 조사구에서 제주조릿대의 간장은 25.33cm, 총 엽장은 33.71cm, 밀도는 83개/m²로 가장 낮게 나타났고, 대조구인 경우 간장이 66.54cm, 총엽장은 53.44cm, 밀도가 178개/m²로 실험구에 비해 높게 나타나 벌채나 부엽층 제거가 제주조릿대 성장에 제한요인으로 작용하고 있었다.

침엽수림대에서도 낙엽활엽수림대에서와 비슷한 결과로 나타났으나, 제주조릿대 벌채 및 부엽층이 제거된 실험구에서는 간장은 31.4cm, 총엽장은 40.3cm, 밀도는 83개/m²로 나타난 반면 대조구에서는 간장이 38.9cm, 총엽장 50.6cm, 밀도가 96개/m²로 조사되었다(Figure 29).

관목림인 경우 전체적인 제주조릿대의 생육은 5월부터 꾸준하게 성장하여 다른 임상과는 달리 벌채 후 생육특성에 많은 차이가 있었다. 8월을 기준으로 제주조릿대 벌채 및 부엽층을 제거한 실험구에서는 간장이 5.39cm, 총엽장은 14.52cm, 밀도는 687개/m²로 나타났으나 대조구에서는 간장이 31.38cm, 총엽장은 22.21cm, 밀도는 평균 991개/m² 나타나, 간장은 대조구에 비해 약 1/6배정도 감소하였고 밀도도 약 2/3배 정도가 감소되었다(Figure 30).

이와 같이 벌채지역에서는 임상에 따라 생육이 차이가 있지만 벌채 및 부엽층을 제거한 지역에서가 인위적인 간섭을 하지 않은 지역보다 상대적으로 간장, 엽장 등 생장이 저하되고 밀도 감소하는 특징이 있었다. 이러한 결과는 조릿대가 상층식생이 발달할수록 물질생산량과 양료 함량 등이 서로 다른 입지유형별 차이에 의해 식생유형별 생육특성을 보인다는 보고(김과 김, 1981; 차, 2002)와 일치하였다. 그러므로 제주조릿대도 벌채 등의 인위적인 간섭에 의한 생육특성 변

화는 상층식생의 종류와 유무에 따라 광량, 기온, 풍속, 습도, 영양분 등 생육환경에 따라 달라지는 것으로 판단되지만 벌채 등의 제주조릿대의 생육에 영향을 주는 효과에 대해서는 보다 많은 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.



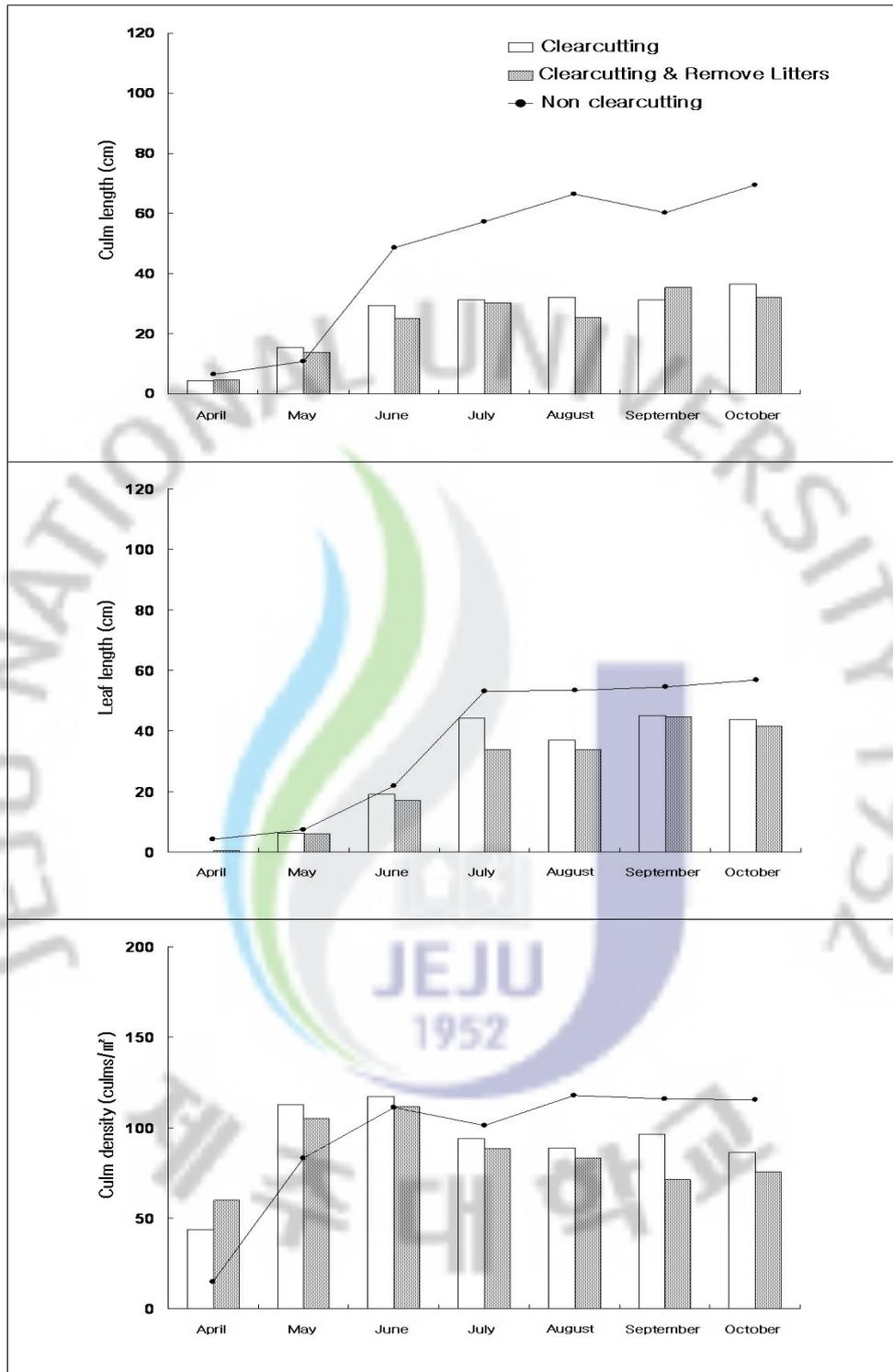


Figure 28. Growth characteristics monthly after cutting of the *S. quelpaertensis* in deciduous broadleaf forest.

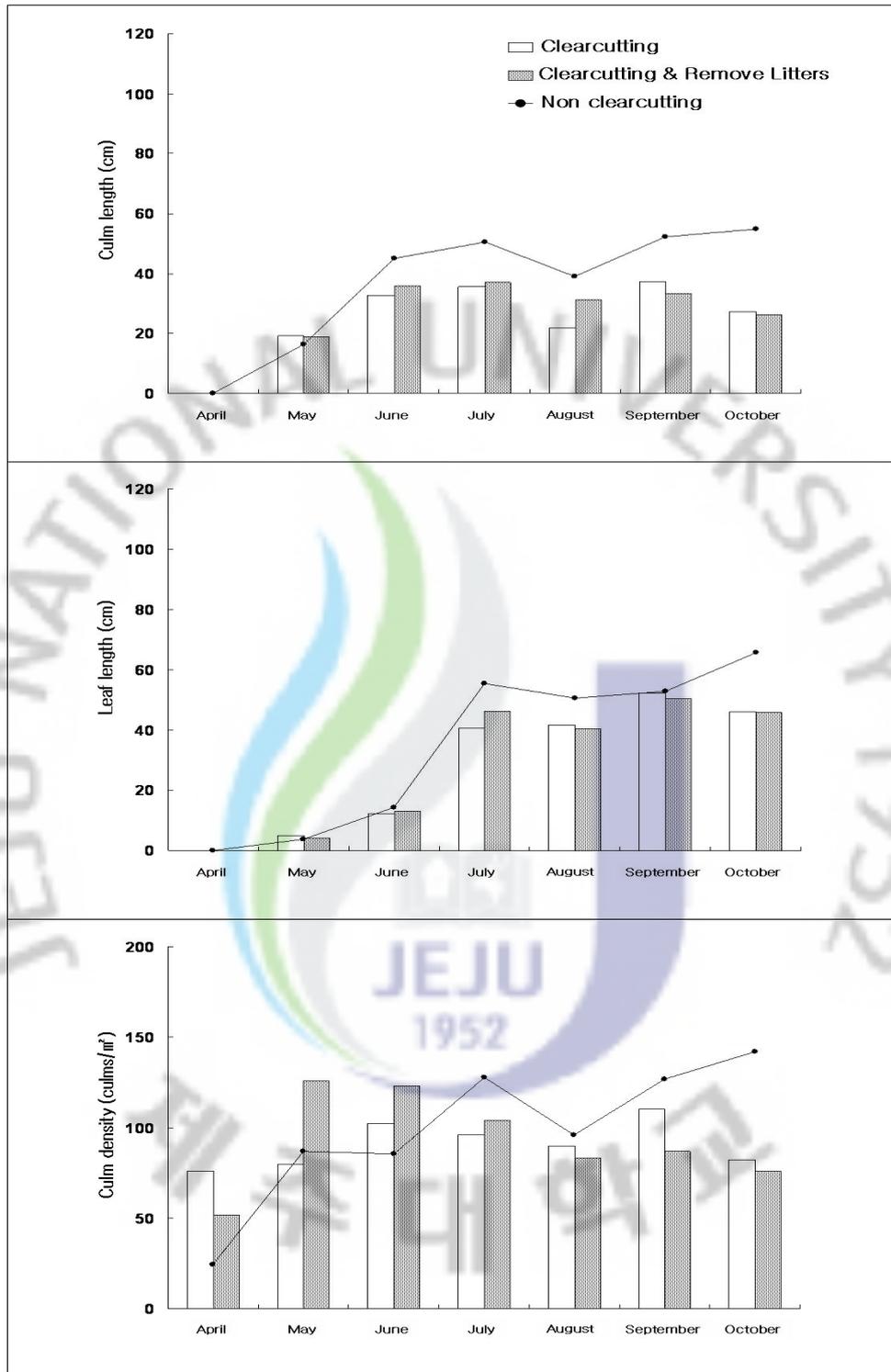


Figure 29. Growth characteristics monthly after cutting of the *S. quelpaertensis* in *Pinus densiflora* forest.

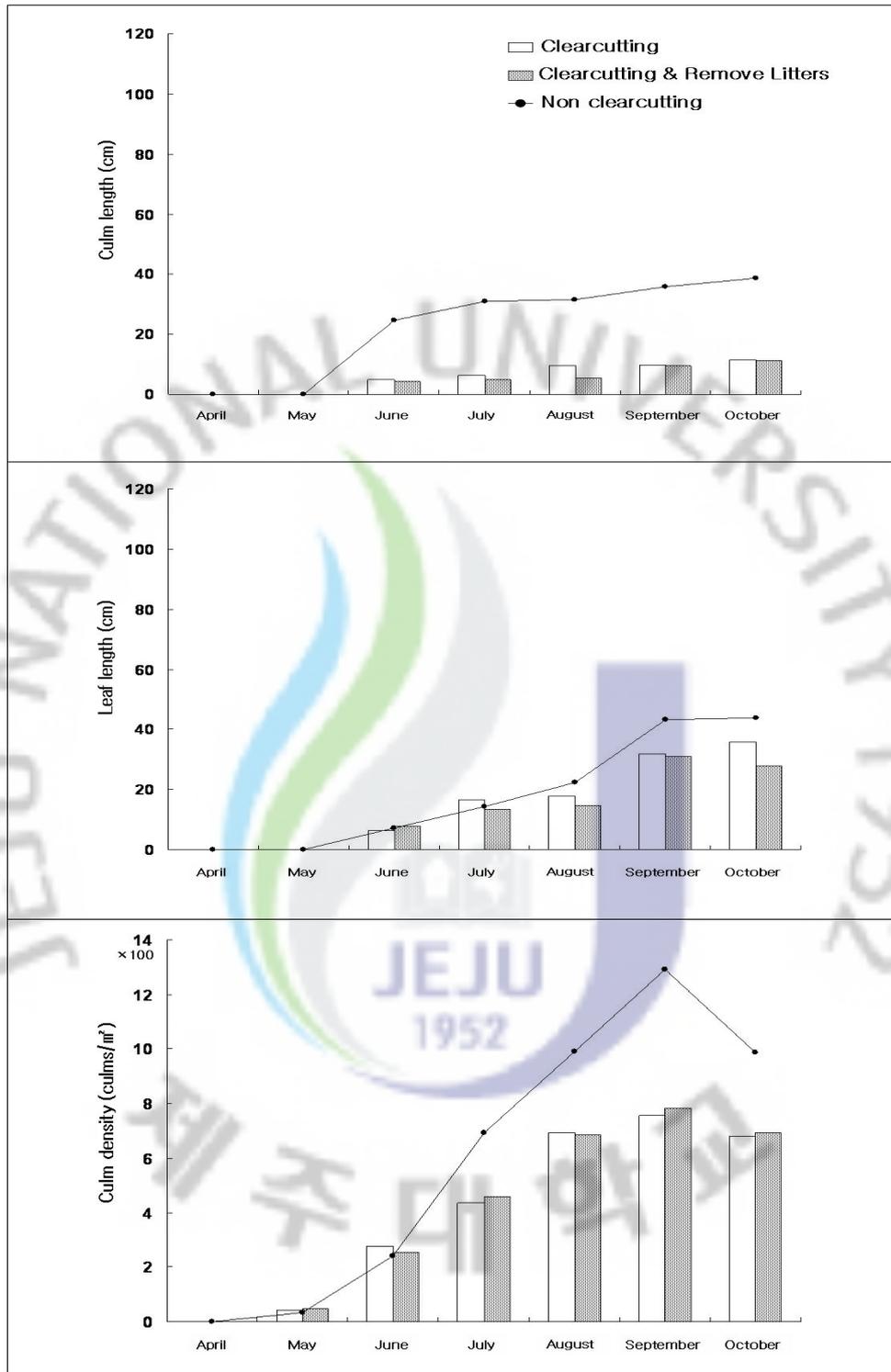


Figure 30. Growth characteristics monthly after cutting of the *S. quelpaertensis* in shrub forest.

제주조릿대 벌채 후 월간 하부식생의 변화를 조사한 결과, 낙엽수림대인 경우 실험구가 대조구에 비해 일반적으로 종다양도 및 총 출현 개체수가 높게 산출되었으며, 6~7월을 기준으로 종다양도가 증가하다 7월 이후부터 감소하는 경향을 보였다. 7월을 기준으로 제주조릿대 벌채 및 부엽층 제거구에서 종다양도 지수는 1.57(출현개체 평균 42.7개)로 가장 높게 나타났고, 제주조릿대 제거구에서는 1.36(출현개체 평균 19.7개), 대조구에서는 0.96(출현개체 평균 11.0개) 순으로 산출되었다(Figure 31).

하부식생으로는 팽팽나무(*Ilex crenata*), 마삭줄(*Trachelospermum asiaticum* var. *intermedium*) 등이 실험구와 대조구에 공통적으로 출현하였으며, 제주조릿대 군락의 상층부를 구성하고 있는 비목(*Lindera erythrocarpa*), 서어나무(*Carpinus laxiflora*), 물참나무(*Quercus X grosseserrata*), 단풍나무(*Acer palmatum*) 등 교목성 치수와 좀비비추(*Hosta minor*), 새끼노루귀(*Hepatica insularis*) 등은 제주조릿대 벌채가 이루어진 실험구에서만 출현하였다.

침엽수림대인 경우 실험구 및 대조구의 종다양도 변화는 6~7월을 기준으로 증감을 보여 낙엽수림대와 비슷한 경향으로 나타났다. 7월을 기준으로 제주조릿대 벌채 및 부엽층 제거구에서 종다양도 지수는 0.94(출현개체 평균 10.0개)로 가장 높게 나타났고, 다음으로 대조구에서 0.56(출현개체 평균 4.0개)으로 나타났으나 제주조릿대 제거구에서는 1종 2개체만이 출현하였다. 특히, 종다양도 지수가 9월에 제주조릿대 벌채 및 부엽층 제거구에서 0.00으로 나온 반면, 총 출현 개체수는 수정난풀(*Monotropastrum globosum*) 13개체가 출현하였고, 제주조릿대 벌채구에서는 종다양도 지수가 0.56으로 비목 3개체, 마삭줄 1개체가 출현한 것이 특징적이었다(Figure 31).

관목림인 경우 종다양도의 변화는 8월을 기준으로 증감하는 반면 총개체수는 7월을 기준으로 증가되는 경향을 보였다. 7월을 기준으로 제주조릿대 및 부엽층 제거구에서는 1.30(출현개체 평균 10.0개)로 가장 높게 나타났고, 제주조릿대 제거구 1.03(출현개체 평균 6.0개), 대조구 0.00(출현개체 평균 2.3개) 순으로 종다양도가 산출되었다(Figure 31). 조사구 공통으로 출현하는 종으로는 털새(*Arundinella anomala* var. *hirtiglunis*) 로 조사되었으며, 실험구에서는 오이풀(*Sanguisorba officinalis*), 제주양지꽃(*Potentilla stolonifera* var. *quelpaertensis*), 호장근(*Reynoutria elliptica*) 등이 출현하였다.

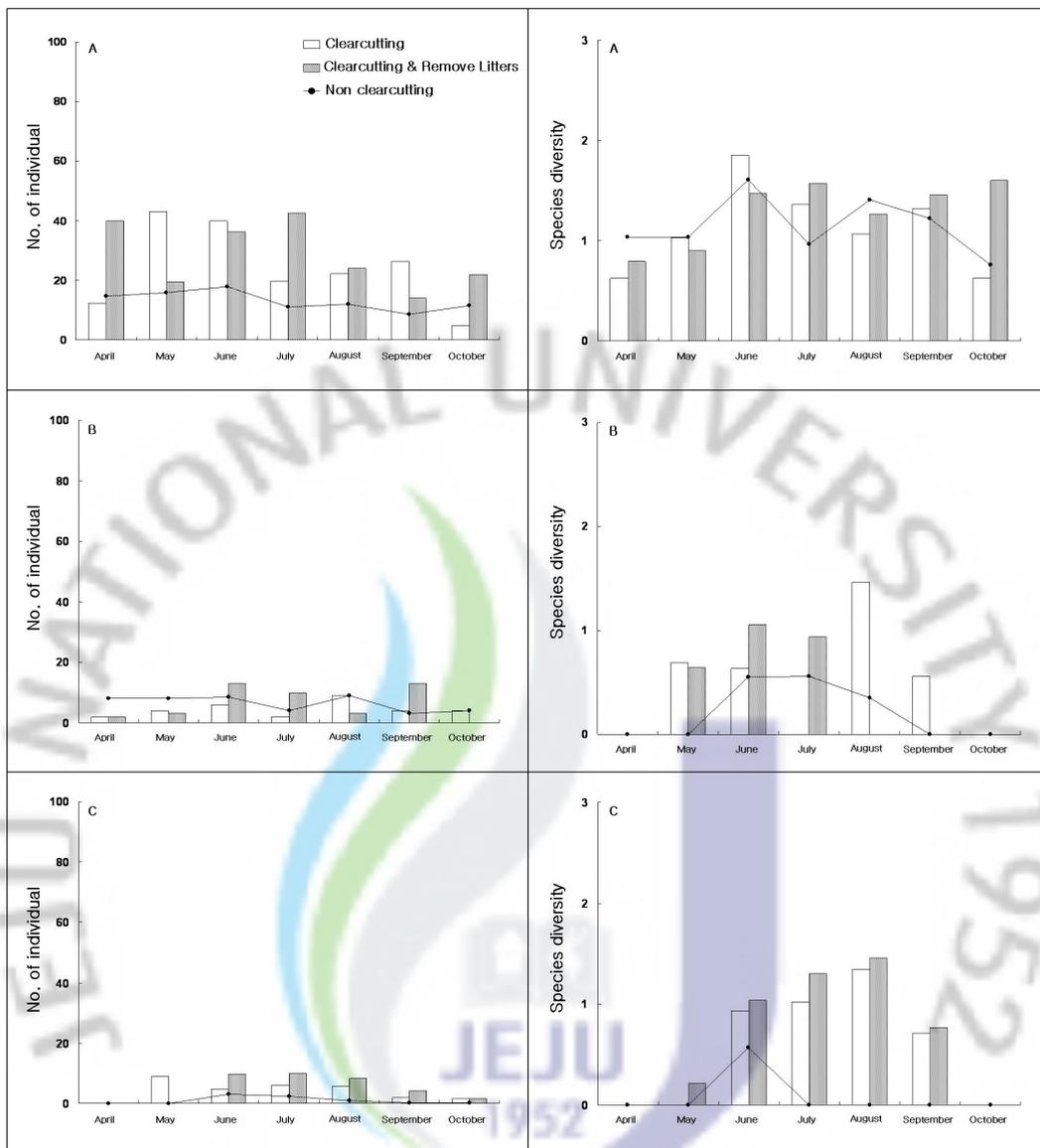


Figure 31. Changes of understory vegetation after cutting of the *S. quelpaertensis* by vegetation types in Mt. Halla.

A: Deciduous broadleaf forest, B: *Pinus densiflora* forest, C: Shrub forest.

이와 같이 식생유형별 종다양도 및 제주조릿대 하부에 출현하는 총 개체수는 낙엽활엽수림, 관목림, 침엽수림 순으로 낮게 나왔는데, 낙엽활엽수림에서 총 개체수는 다른 임상에 비해 4배정도 많은 것으로 분석되었다. 따라서 낙엽활엽수림이 다른 임상에 비해 총 출현 개체수가 높은 이유는 관목림인 경우 낙엽활엽수림보다 환경변화에 취약한 종과 생활사가 짧은 종으로 구성되어 있고(김, 2002), 침엽수림인 경우 낙엽활엽수림보다 낮은 낙엽분해률로 인한 부엽층의 발달하는 반면 토양 내 유기물함량이 낮고 종자침투의 어려웠기 때문에 하부식생에 발생을 저해하는 것으로 판단된다(장과 박, 1986).

식생유형별로 제주조릿대를 벌채한 후 생육특성과 하부식생의 변화를 종합하여 보면, 낙엽활엽수림과 관목림에서 제주조릿대를 벌채하고 부엽층을 제거시킬 경우 1년이 지난 다음해에 제주조릿대의 간장이 각각 약 3/5, 5/6 정도 감소하여 왜성화되는 경향이 있었을 뿐만 아니라 밀도는 각각 1/2, 1/3 정도가 줄어드는 경향을 나타나 제주조릿대의 하부에 출현하는 다른 식물의 종 수 및 개체수는 증가되는 것으로 나타났다.

그러나 침엽수림에서는 제주조릿대를 벌채하고 부엽층을 제거한 경우 간장이 1/4, 밀도가 1/5 정도가 감소하였으나 제주조릿대 이외의 다른 식물의 종수나 개체수는 증가하지 않는 것으로 나타났다. 또한 제주조릿대를 벌채 한 지역에서도 양적인 차이는 있으나 식생유형별로 제주조릿대 벌채와 부엽층을 제거한 지역과 유사한 경향을 보였다. 이처럼 침엽수림에서는 제주조릿대의 상층부에 분포하는 소나무(*Pinus densiflora*)로부터 타감물질(allelochemicals) 분비(Kil & Yim, 1983)와 낮은 낙엽분해률에 의한 토양내의 낮은 유기성분함량(장과 박, 1986) 등에 기인하는 것으로 생각된다. 더욱이 조릿대는 벌채 방법, 시기와 밀도에 따라 새로이 발생하는 조릿대의 굵기, 크기 및 줄기 수에 많은 영향을 미치고 있는 것으로 알려져 있다(김과 김, 1980; 이, 1990). 또한 밀집된 조릿대류의 수관은 상층으로부터 떨어지는 종자의 침투를 어렵게 하고, 침투한 종자라 할지라도 조릿대류에서 분비되는 타감물질에 의해 발아가 억제되며, 상층목의 후대목이나 다른 관목의 치수들은 조릿대류의 뻗뻗한 수관에 가려 정상적인 성장을 어렵게 하는 것으로 보인다(Hirura & Konno, 1996; Kakashizuka, 1998). 이렇게 복합적인 이유로 인하여 제주조릿대의 벌채 후 월별 생육특성에 의해 하부식생에 미치는 영

향은 제주조릿대의 상층부 식생유형에 따라 다르게 나타나는 것으로 판단된다. 그리고 한라산국립공원내에 분포하는 초본류는 대부분 종자번식을 하는 1년생 또는 낙엽성 다년생 초본인(김, 2002) 반면 제주조릿대는 연간 일정주기를 통한 줄기의 발생과 생장의 연속성을 보이고 있는 상록성 식물이라고 할 수 있다. 이로 인해 제주조릿대가 우점한 지역에서는 하부에 출현하는 종이 자라는데 필요한 광선, 기온, 습도 등이 환경에 악영향을 초래하고, 하부식생의 종 다양성 감소 및 총 출현 개체수의 감소를 일으키고 있는 것으로 판단된다. 이와는 달리 제주조릿대에 대한 인위적 간섭 즉, 벌채 등을 했을 경우에 제주조릿대 밀도가 식생 유형에 따라 감소 폭이 달라지거나 왜성화 경향 차이로 인해 서로 다른 유형의 하부식생의 발달을 가져오는 것으로 판단된다.



(2) 제주조릿대 벌채 횟수에 따른 생육 변화

제주조릿대의 벌채 횟수에 따른 생육특성 및 종다양도의 변화를 알아보기 위해 벌채지역을 식생유형별로 구분하여 2008년도 조사를 기준으로 비교분석하였다. 낙엽활엽수림인 경우 벌채횟수의 증가함에 따라 제주조릿대의 간장은 대조구 55.55cm에서 A-site 31.79cm, B-site 16.54cm, C-site 9.21cm로 조사되어 벌채 횟수가 증가함에 따라 A-site 42.8%, B-site 70.2%, C-site 83.4%로 감소가 보였다. 절간의 굵기도 대조구 2.23mm에서 A-site 2.02mm, B-site 1.41mm, C-site 0.93mm로 9.4%, 36.7%, 58.3%로의 감소를 보였다(Figure 32).

벌채 횟수 증가에 따른 엽면적 변화는 대조구 66.80cm²에서 A-site 59.26cm², B-site 44.57cm², C-site 26.32cm²로 벌채 횟수가 증가함에 따라 A-site 11.3%, B-site 24.8%, C-site 40.1%로 감소되었고 제주조릿대의 엽면적에 연관된 엽장, 엽폭, 엽둘레도 벌채 횟수 증가함에 따라 순차적으로 감소를 하였다(Table 22). 따라서 제주조릿대 지상부의 생장에 따른 줄기(culm) 1개의 생물량 변화를 보면 벌채 횟수가 증가함에 따라 대조구 1.91g/culm에서 A-site 1.75g/culm, B-site 1.02g/culm, 0.43g/culm으로 대조구에 비해 A-site 8.4%, B-site 46.6%, C-site 77.5%가 감소하였고 이를 가지고 저해지수를 산출한 결과 벌채 횟수가 증가함에 따라 대조구 1.00에서 A-site 0.82, B-site 0.28, C-site 0.05로 산출되어 연간 2회 이상 제주조릿대를 벌채함으로써 제주조릿대의 생육에 많은 피해를 주는 것으로 나타났다(Table 23).

단위면적당 제주조릿대의 줄기(culm)수 변화는 1회 벌채시 대조구 121.44개/m²에서 A-site 140개/m², B-site 70.7개/m², C-site 24.3개/m²로 밀도가 증가하였으나 2-3회 벌채시는 감소하는 것으로 나타났다(Figure 32). 이는 1회 벌채한 경우 지상부에서 다수의 분지를 출현시키기 위해 근주 내에 축적되어 있던 동화물질을 원활히 이용하였으나 2차벌채 후에는 동화물질의 양이 원활하지 않아 줄기의 발생이 적은 것으로 생각된다(Saitoh *et al.*, 2002). 반면 제주조릿대 벌채 횟수 증가에 따른 하부식생의 종다양도 지수 변화는 대조구 0.70에서 A-site 1.13, B-site 1.60, C-site 1.51로 증가되는 경향을 나타냈다. 따라서 벌채에 따른 제주조릿대의 밀도와 하부식생의 종다양도는 역의 상관($r=-0.593$, $P < 0.05$)을 보이는 것으로 분석되었다(Figure 32).

침엽수인 경우도 벌채 횟수가 증가함에 따라 전체적으로 지상부의 생장이 감소하는 경향을 보였고 단위면적당 줄기수도 1회 벌채시 다수의 지상부 분지가 발생하여 대조구 133.7개/m²에서 212개/m²로 58%가 증가한 후 B-site 67개/m², C-site 5개/m²점차 감소하는 경향을 보였다(Figure 32). 제주조릿대의 하부식생인 경우도 단위면적당 밀도에 따라 하부식생의 종다양도는 역의 상관관을 보이거나 침엽수림에서는 제주조릿대의 상층부에 분포하는 소나무(*Pinus densiflora*)로부터 타감물질의 분비(Kil & Yim, 1983)와 낮은 낙엽분해률에 의한 토양내의 낮은 유기성분함량(이와 장, 1995) 등에 의해 유의차가 없는 것으로 분석되었다.

관목림인 경우도 벌채횟수 증가에 따라 간장의 변화는 대조구 37.25cm에서 A-site 33.4%, B-site 81.7%, C-site 84.6%로 왜성화되는 경향을 보였고, 밀도는 대조구 1,868.46개/m²에서 A-site 2,279.00개/m², B-site 1192.33개/m², C-site 712.33개/m²로 변화되었으며 하부식생은 제주조릿대 순군락에서 종다양도 지수는 A-site에서 0.21, B-site에서 0.98, C-site에서 0.98로 하부식생이 발생하는 것으로 나타났다. 따라서 제주조릿대의 밀도와 종다양도는 부의상관($r=-0.61$, $P < 0.05$)을 보이는 것으로 분석되었다(Figure 32).

이처럼 식생유형별 제주조릿대의 벌채 횟수 증가에 따른 제주조릿대 생육특성과 하부식생의 변화는 비슷한 경향을 보였으나 변화 폭은 식생유형에 따라 차이가 있어 제주조릿대의 벌채 횟수 증가에 따른 제주조릿대 생육특성 및 하부식생의 변화를 식생유형별 군집분석을 한 결과 2개의 군집으로 분류되어 낙엽활엽수림과 침엽수림은 비슷한 변화를 보이고 관목림과는 다르게 분석되었다(Figure 33).

이와 같은 결과를 종합해보면 제주조릿대에 대한 관리방안을 제시하기 위해 말방목과 벌채를 실험한 결과 방목과 벌채는 제주조릿대를 왜성화(矮性化) 시켜 하부에 광선, 기온, 습도 등 환경을 개선시켜 줌으로써 다양한 하부식생의 출현으로 임상의 갱신이 가능한 것으로 판단되나 중단 후 제주조릿대 및 하부식생의 변화에 대해 지속적인 연구가 요구된다.

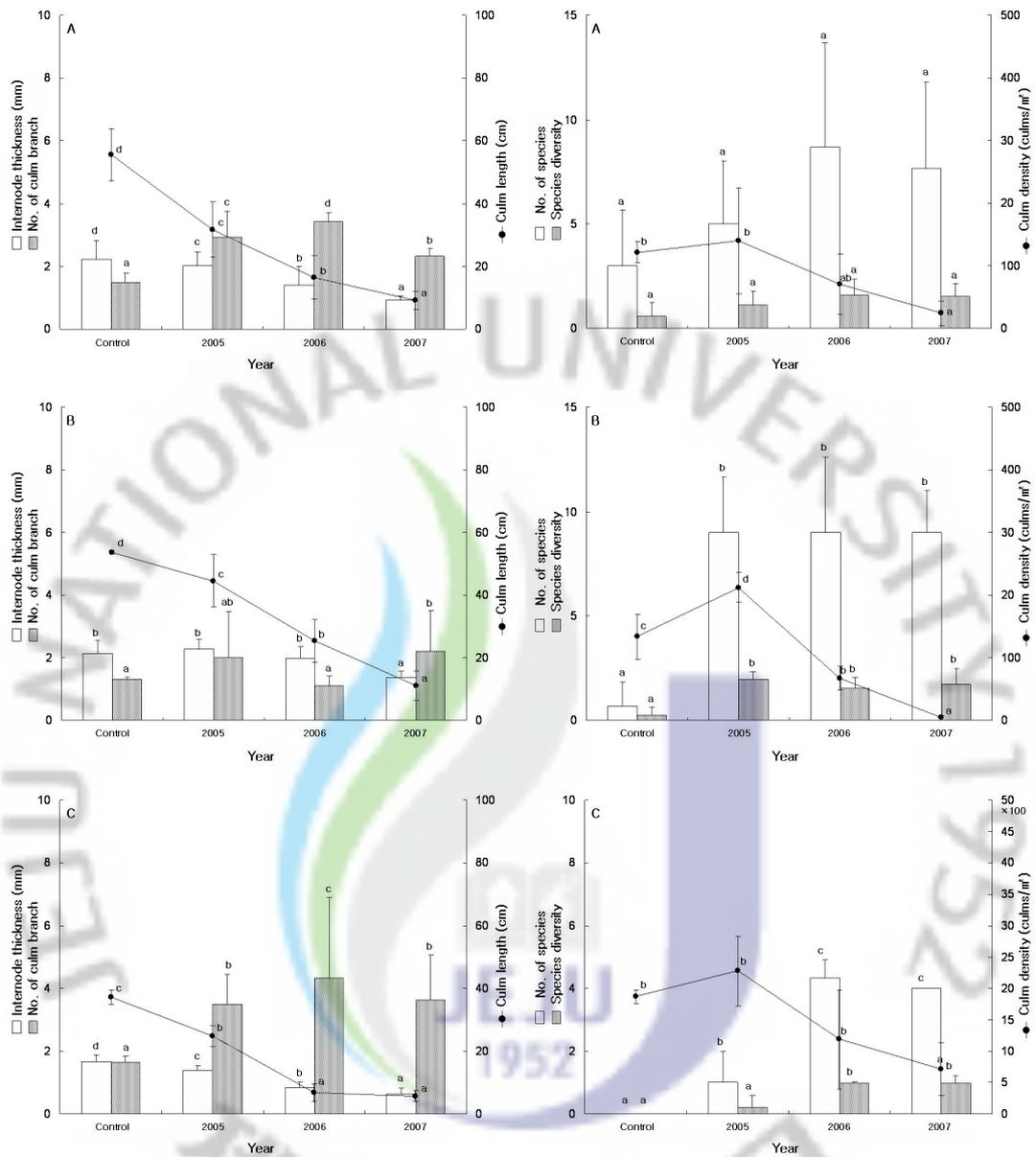


Figure 32. Changes of growth characteristics on the *S. quelpaertensis* and understory vegetation according to number of yearly cutting by vegetation types.

¹⁾ Means within a column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT.

A: Deciduous broadleaf forest, B: *Pinus densiflora* forest, C: Shrub forest.

Table 22. Change of leaves characteristics on the *S. quelpaertensis* according to number of yearly cutting by vegetation types.

Vegetation type	No. of cutting	Leaf area (cm ²)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Leaf girth (cm)
Deciduous broadleaf forest	0	66.80 ^{d1)}	18.64 ^d	4.92 ^d	36.23 ^c
	1	59.26 ^c	17.69 ^c	4.55 ^c	31.98 ^{bc}
	2	44.57 ^b	15.62 ^b	3.84 ^b	27.51 ^{ab}
	3	26.32 ^a	12.02 ^a	2.81 ^a	23.20 ^a
<i>Pinus densiflora</i> forest	0	72.75 ^d	19.71 ^d	5.52 ^d	34.95 ^b
	1	45.54 ^c	15.70 ^c	4.00 ^c	30.57 ^{ab}
	2	28.77 ^b	12.63 ^b	3.14 ^b	27.56 ^{ab}
	3	15.29 ^a	9.84 ^a	2.08 ^a	21.24 ^a
Shrub forest	0	25.53 ^d	11.49 ^d	3.14 ^d	21.53 ^b
	1	14.73 ^c	8.64 ^c	2.35 ^c	18.48 ^b
	2	9.33 ^b	6.67 ^b	1.85 ^b	14.58 ^a
	3	6.94 ^a	5.79 ^a	1.63 ^a	13.11 ^a

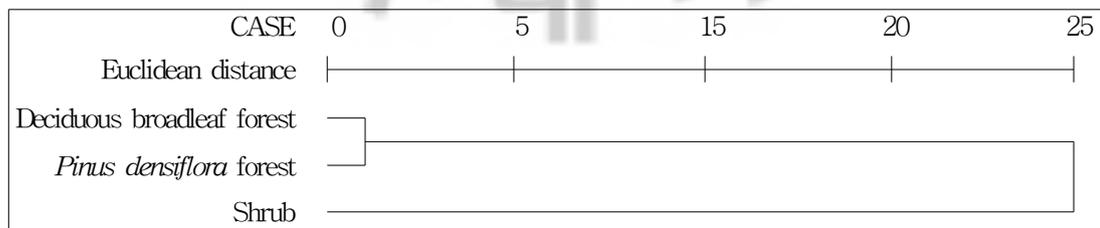
¹⁾ Means within a column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT.

Table 23. Changes of biomass per culm on the *S. quelpaertensis* according to number of yearly cutting by vegetation types.

Vegetation type	No. of cutting	Culm			Leaf		
		Fresh weight (g/culm)	Dry weight (g/culm)	Inhibition index	Fresh weight (g/culm)	Dry weight (g/culm)	Inhibition index
Deciduous broadleaf forest	0	2.98 ^{c1)}	0.95 ^c	1.00 ^b	2.66 ^b	0.96 ^c	1.00 ^b
	1	2.39 ^{bc}	0.81 ^b	0.76 ^b	2.64 ^b	0.94 ^c	1.06 ^b
	2	1.20 ^{ab}	0.38 ^a	0.23 ^a	1.71 ^b	0.64 ^b	0.50 ^{ab}
	3	0.47 ^a	0.14 ^a	0.04 ^a	0.71 ^a	0.29 ^a	0.10 ^a
<i>Pinus densiflora</i> forest	0	3.24 ^c	0.98 ^d	1.00 ^c	2.03 ^c	1.17 ^d	1.74 ^d
	1	1.57 ^b	0.46 ^c	0.24 ^b	1.47 ^b	0.74 ^c	0.46 ^c
	2	0.69 ^a	0.23 ^b	0.05 ^a	1.24 ^b	0.45 ^b	0.23 ^b
	3	0.25 ^a	0.07 ^a	0.01 ^a	0.44 ^a	0.13 ^a	0.02 ^a
Shrub forest	0	1.00 ^b	0.33 ^b	1.00 ^c	1.07 ^b	0.35 ^a	1.00 ^b
	1	0.51 ^a	0.19 ^b	0.34 ^b	0.63 ^{ab}	0.26 ^a	0.50 ^{ab}
	2	0.25 ^a	0.11 ^{ab}	0.10 ^{ab}	0.47 ^a	0.24 ^a	0.35 ^a
	3	0.14 ^a	0.05 ^a	0.02 ^a	0.36 ^a	0.16 ^a	0.17 ^a

¹⁾ Means within a column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by DMRT.

Figure 33. Dendrogram of hierarchical cluster analysis according to characters of growth on *S. quelpaertensis* after cutting.



V. 종합고찰

제주조릿대의 분류학적 위치를 알아보기 위하여 제주조릿대(*S. quelpaertensis* Nakai)와 *S. palmata* (Bean) Nakai에 대해 정성적 형질을 정량적 형질로 조사한 결과 절의 형태는 Table 1과 같이 절과 절간의 굵기는 *S. palmata*가 제일 큰 것으로 조사되었으나 절과 절간의 비는 제주조릿대가 1.46으로 제일 크고 *S. palmata*가 1.24로 제일 작은 것으로 나와 제주조릿대의 절(Node) 형태는 도드라진 것으로 나왔다(이, 1980) 또한 절간을 쌓고 있는 엽초의 비와 엽장 등 제주조릿대와 *S. palmata*는 다소차이를 보였고 이를 군집분석 한 결과 제주조릿대와 *S. palmata*가 서로 다른 군집으로 분류되어 동일종이라는 보고(이, 1996)와 차이가 있었다. 그러나 본 조사는 한정된 수량과 정량적인 형질에 의한 것으로 차후 기준표본(type specimen)을 통한 비교, 변이 폭에 지속적인 연구와 기준이 되는 분류형질 연구 등을 통해 분류체계를 마련하여 재검토를 해야 한다고 판단된다.

제주조릿대의 확산정도를 알아보기 위하여 제주조릿대의 분포변화를 조사하였다. 제주조릿대는 1914년에 북쪽 해발 1,000m~1,600m, 남쪽 해발 1300~1,800m까지 분포(中井, 1914)하였고, 1977년에는 등산코스를 기준으로 돈네코코스인 경우 해발 200~1,500m, 어리목코스인 경우 700~1,900m, 관음사코스인 경우 0~400m, 600~1,900m, 성판악코스인 경우 800~1,900m, 영실코스인 경우 1,000~1,500m분포(오와 김, 1977)하였으며 현재는 해발 600m에서 1,900m까지 주로 분포하고 해발 600m이하 저지대인 일부 오름과 상록활엽수림에서는 제주조릿대가 간헐적으로 분포하며 제주조릿대의 군반은 지속적인 확장을 통해 그 영역을 넓혀 가고 있는 것으로 조사되었다.

이처럼 제주조릿대의 분포가 확대 되는 것은 번식방법에 기인한 것으로 제주조릿대는 번식은 종자와 근경을 이용하고 있기 때문이다(Oshima, 1961). 제주조릿대의 종자발아 특성은 발아하는데 1년이라는 기간이 소요되고 45% 발아율을 보여 자연상태 하에서는 부엽층, Allelochemicals 등 주변환경에 의해 더욱더 발

아기간이 길어지고 발아율은 감소할 것으로 판단된다(Kudo, 1980). 제주조릿대의 근경은 Figure 12과 같이 구성이 되어있고 Figure 13과 같은 번식을 통해 확장을 하는 것으로 판단된다.

한라산에 분포하는 식물은 해발고도에 따라 수직분포를 보이는데 초지대, 낙엽수림대, 침엽수림대 관목림대로 구분이 된다(오, 1968; 차, 1969). 제주조릿대의 분포는 낙엽수림대부터 관목림대 넓은 분포역을 보이고 있어 식생대유형별 환경변화에 따라 생육이 변화한다(김 등, 2006). 한라산 해발고도 및 식생유형에 제주조릿대의 생장특성이 차이를 보이는데 이를 종합하면 간장, 엽장, 엽폭의 생장은 해발 1,300m 까지는 점차 증가하다가 해발 1,400m 이상부터는 점차 감소되며 식생유형별로는 낙엽활엽수림, 소나무림, 구상나무림, 관목림 순으로 감소되어 제주조릿대의 줄기당 총 엽면적도 낙엽활엽수림 382.971cm², 소나무림 345.51cm², 구상나무림 162.24cm², 관목림 138.27cm² 순으로 감소하였다.

단위면적당 밀도는 낙엽활엽수림 202.6개/m², 소나무림 275.1개/m², 구상나무림 437.6개/m², 관목림 1799.5개/m²순으로 증가하였다. 제주조릿대 지상부 생물량은 낙엽활엽수림 988g/m², 구상나무림 766g/m², 소나무림 758g/m², 관목림 675g/m² 순이었고, 지하부는 관목림 2,825g/m², 낙엽활엽수림 744g/m², 소나무림 662g/m², 구상나무림 339g/m² 순이었으며 제주조릿대의 연간 지상부 생산량은 낙엽활엽수림 753g/m², 구상나무림 498g/m², 소나무림 478g/m², 관목림 435g/m²순으로 감소되었다. 이처럼 생육특성 변화는 주변환경에 기인된 것이며, 식생유형별 제주조릿대 자생지의 토양산도는 관목림 pH 5.23로 가장 높고 낙엽활엽수림 pH 4.99, 및 구상나무림 pH 5.04, 소나무림 pH 4.67로 가장 낮았다. 토양수분은 식생유형에 관계없이 평균 73~76%로 나타났으며 토양내 유기물 함량은 낙엽활엽수림에서 18.83mg/kg으로 가장 높게 나타났으며 구상나무림 11.64mg/kg, 관목림 10.90mg/kg, 소나무림 10.85mg/kg 순으로 조사되었다.

제주조릿대의 상층부에 조사(照射)되는 광량은 관목림 지역이 낙엽활엽수림이나 구상나무림에서 보다 10~20배정도 높은 것으로 나타났고 식생유형별 토양성분은 낙엽활엽수림에서 질소(T-N) 0.62%, 칼슘(Ca) 0.45cmol⁺/kg, 양이온치환용량(CEC) 32.28cmol⁺/kg으로 가장 높았으며 소나무림에서는 유효인산(P₂O₅) 5.47mg/kg, 칼륨(K) 0.19cmol⁺/kg으로 가장 높았다. 따라서 제주조릿대의 생육특성중 간장은 주변 환경인자인 광량(r=-0.69, p <0.05)에 영향을 받고, 밀도인 경우는 광량(r=0.86, p <0.01)

과 토양산도($r=0.60$, $p < 0.05$)에 영향을 받는 것으로 조사되었다. 제주조릿대인 경우 서식지와 식생유형별로 서로 다른 생육특성을 보이는데 식생유형별 제주조릿대를 동일장소에 이식 후 생육특성 조사한 결과 Figure 20와 같이 이식 후 매년 생육 대한 증가폭 커져 현재까지 식생유형별 생태형구배(ecotype cline)가 일어난 것으로 판단된다

식물군락의 지리적 분포와 구조 및 동태는 군락의 하부에 구성하는 종이나 치수에 광선, 기온, 습도 등의 독특한 환경을 형성하여 하층식생의 성장량이나 생존률에 크게 관여한다(Chanham, 1988). 제주조릿대는 식생유형별로 서로 다른 생육특성을 보이고 있으며 하부식생에 서로 다른 영향을 주고 있다. 그중 관목림에서 제주조릿대의 생육특성인 밀도 증가가 종다양도 지수에 반비례경향이 뚜렷하게 나타났다. 제주조릿대가 하부식생에 영향을 주고 있는 것으로 판단되어 원인 규명을 위해 제주조릿대의 수용성추출액에 대한 allelopathy효과를 조사한 결과, 제주조릿대의 총페놀함량은 서식지별, 식물체 부위별로 서로 다른 함량을 갖고 있으며 수용체식물 중에 따라 서로 다른 알레로패티 효과를 보이고 있어 제주조릿대의 알레로패티 효과가 해발·식생유형별 제주조릿대의 하부식생에 대해 서로 다른 영향을 미치고 있는 것으로 판단된다.

위의 결과에 의하면 한라산에서 제주조릿대가 우점도가 높은 주요 하층식생으로 자리 잡고 있으며, 종다양성에 악영향을 주기 때문에 한라산내에 종다양성을 확보하기 위하여 제주조릿대의 관리방안을 모색하고자 제주조릿대 말 사료가치 분석과 군락지 내에 말 방목 및 벌채 통해 제주조릿대 관리 및 자원화 방안을 제시하고자 실시하였다.

제주조릿대는 말의 기호성, 채식성, 단백질 함량과 소화율이 비교적 높았고 ADF와 NDF의 함량은 제주산 목건초인 오리새와 비슷한 함량을 보여 제주조릿대가 말 사료로서의 가치가 있는 것으로 판단된다. 제주조릿대 군락내 말 방목 및 벌채가 진행됨에 따라 제주조릿대가 왜성화 되어 하부식생의 출현종, 개체수가 증가하여 임상의 갱신이 가능한 것으로 나타났다. 그러나 말 방목시 먹이가 부족에 했을 때 말의 행동 습성상인 나무껍질씹기행동을 함에 따라 피해목 및 고사목이 발생하는 악영향도 있기 때문에 피해목 발생을 줄이기 위해 말의 행동 습성에 대한 연구도 병행되어야 할 것이며 최근 기후변화에 따른 생태계가 변화에 따라 지속적인 제주조릿대의 동태 파악과 더불어 고산식물 종 보존 방안 및 자연생태계 균형 유지 연구가 필요하다고 판단된다.

VI. 적 요

본 연구는 제주도에 분포하는 제주조릿대의 생태학적특성을 파악하기 위해 제주조릿대의 분류학적 위치, 제주조릿대의 동태 및 생육특성 등을 조사하였고, 관리방안을 모색하기 위해 말 사료가치 분석과 말 방목 및 벌채에 따른 제주조릿대 생육특성 및 주변식생의 변화 등을 조사하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 제주조릿대의 분류학적 위치

1) 제주조릿대(*Sasa quelpaertensis* Nakai)와 *S. palmata* (Bean) Nakai의 지상부에 대해 정성적인 형질을 정량적 형질로 조사한 결과 절과 절간의 비는 제주조릿대가 1.46, *S. palmata*가 1.24로 조사 되었고 절간을 쌓고 있는 엽초의 비와 엽장 등 제주조릿대와 *S. palmata*는 다소 차이를 보였다. 이를 군집분석한 결과 제주조릿대와 *S. palmata*는 서로 다른 분류군으로 분류되어 동일종으로 판단하기 어렵다.

2. 제주조릿대의 동태 및 생육특성

1) 한라산에서 제주조릿대는 해발 600~1,900m까지 분포하고 있으며 제주조릿대는 지속적으로 확장이 되고 있는 것으로 나타났다.

2) 제주조릿대의 발아기간은 1년으로 발아율은 45%로 조사되었으며 유성생식과 가축분지와 단축분지를 통한 무성생식을 하고 가축근경에서 분리현상으로 새로운 개체 형성하기도 하였다.

3) 낙엽수림대에 분포하는 제주조릿대는 4월부터 탁엽의 발생되고, 5월부터 8월까지 본엽이 형성되며, 9월에는 잎 가장자리의 퇴색이 시작되었으며, 줄기의 생장은 3월말부터 시작되고 잎의 크기가 최대로 될 때까지 지속적으로 이루어졌다.

4) 한라산 해발고도별 제주조릿대의 생육특성을 종합하면 간장, 엽장, 엽폭의 모든 생장이 해발 1,300m 까지는 점차 증가하다가 해발 1,400m 이상부터는 점차 감소하였다.

5) 제주조릿대의 간장은 낙엽활엽수림 66.3cm로 가장 높았고 소나무림 62.1cm, 구상나무림 40.2cm, 관목림 32.8cm 순으로 조사된 반면 단위면적당 밀도는 관목림 1799.5개/m², 구상나무림 437.6개/m², 소나무림 275.1개/m², 낙엽활엽수림 202.6 순으로 조사되었다.

6) 식생유형별 제주조릿대의 지상부 생물량을 비교해보면 낙엽활엽수림 988g/m²으로 가장 높았고 구상나무림 766g/m², 소나무림 758g/m², 관목림 675g/m²순으로 조사되었고, 지하부의 생물량은 관목림 2,825g/m², 낙엽활엽수림 744g/m², 소나무림 662g/m², 구상나무림 339g/m² 순으로 조사되었다. 연간 지상부의 생산량은 낙엽활엽수림이 753g/m²로 가장 높았고 구상나무림 498g/m², 소나무림 478g/m², 관목림 435g/m² 순으로 조사되었다.

7) 식생유형별 제주조릿대 군락지의 토양산도는 관목림 지역에서 평균 pH 6.29로 가장 높았으나, 토양수분은 식생유형에 관계없이 평균 73~76%로 나타났다.

8) 식생유형별 제주조릿대 군락지에서 토양내 유기물함량은 낙엽활엽수림 18.83mg/kg, 구상나무림 11.64mg/kg, 관목림 10.90mg/kg, 소나무림 10.85mg/kg 순이었고 제주조릿대의 상층부에 조사되는 광량은 관목림 지역이 낙엽활엽수림이나 구상나무림에서 보다 10~20배정도 높은 것으로 나타났다.

9) 제주조릿대의 밀도 증가에 따른 종 다양성 지수의 변화는 낙엽활엽수림대에서 제주조릿대의 밀도 증가에 따른 종 다양성은 큰 차이를 보이지 않았으나 관목림 지역에서는 제주조릿대의 밀도증가와 종다양도 지수와는 반비례경향이 뚜렷하게 나타나 식생유형별 하부식생에 서로 다른 영향을 주고 있다.

10) 식생유형별 제주조릿대 이식 후 매년 생육 대한 증가 폭 커져 제주조릿대는 식생유형별 생태형구배가 일어난 것으로 판단된다.

11) 제주조릿대의 서식지별, 식물체 부위별 총페놀 함량 다르고 수용체식물 종에 따라 서로 다른 알레로패티 효과를 보임으로 제주조릿대의 allelochemicals가 식생유형별 제주조릿대의 하부식생에 대해 서로 다른 영향을 미치고 있는 것으로 판단된다.

3. 제주조릿대의 관리방안

1) 제주조릿대에 대한 사료가치를 평가한 결과 말 기호성과 채식성이 높고, 단백질 함량과 소화율이 높아 말 사료로서의 가치가 높다고 판단된다.

2) 제주조릿대 군락내 말 방목 진행됨에 따라 제주조릿대 왜성화 경향을 야기시켜 하부식생의 출현종, 개체수가 증가하여 입상의 갱신이 가능한 것으로 나타났다.

3) 제주조릿대에 벌채 등의 인위적 간섭했을 경우에 식생유형별 서로 다른 제주조릿대 밀도의 감소 및 왜성화 경향 등을 초래시키고, 서로 다른 유형의 종 다양성의 변화를 가져오는 것으로 판단된다.

4) 말 방목시 먹이량의 부족에 의해 말의 행동 습성상인 나무껍질씹기행동을 함에 따라 피해목 및 고사목이 발생됨에 따라 말의 행동 습성에 대한 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

인용문헌

- Agata, W., F. Kubota and E. Kamata. 1979a. Ecological characteristics and dry matter production of some native grasses in Japan. III. Effects of day length on formation of winter-bud and new rhizome in *Sasa nipponica*. J. Japan. Grassl. Sci. 25(2) : 177-120.
- Agata, W., F. Kubota and E. Kamata. 1979b. Ecological characteristics and dry matter production of some native grasses in Japan. II. Effect of time and frequency of cutting on dry matter production in *Sasa nipponica* community. J. Japan. Grassl. Sci. 25(2) : 110-116.
- Ainslie, A. 2005. Bark chewing by the wild horses of Guy Fawkes River National Park, NSW: impacts and causes. B. Sc. Honours. pp. 62-72.
- Akifumi, M. 1992. Survivorship of a monocarpic bamboo grass, *Sasa kurilensis*, during the early regeneration process after mass flowering, Ecological Research, Springer Japan. 7 : 245-254.
- AOAC. 1996. Official methods of analysis 16th ed. Assoc. Offic. Anal. Chem., Arlington, VA.
- Chanham, C. D. 1988. Growth and canopy architecture of shade-tolerant trees: response to canopy gaps. Ecology 69(3) : 785-795.
- Ciani, A., L. Martinoli, C. Capiluppi, M. Arahou and M. Mouna. 2001. Effects of water availability and habitat quality on bark-stripping behaviour in Barbary Macaques. Conservation Biology. 15 : 259-265.
- Connell, J. H. and R. O. Slatyer. 1977. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. Amer. Nat. 111 : 1119 - 1144.
- Duke, S. O. 1986. Naturally occurring chemical compounds as herbicides. Rev. Weed Sci. 2 : 17-44.

- Graham, H. D. 1992. Modified prussian blue assay for total phenol compound. J. Agric. Food Chem. 40 : 801-807.
- Gunjigake, N. and K. Wada. 1981. Effects of phosphorous concentration and pH on phosphate retention by active aluminum and iron of Ando Soils. Soil Sci. 132: 347-352.
- Hazeborek, J. P., S. A. Garrison and T. Gianfagna. 1989. Allelopathic substances in Asparagus roots : extraction, characterization, and biological activity. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 114(1) : 152-158.
- Heisey, R. M. 1990. Allelopathic and herbicidal effects of extracts from tree of heaven(*Ailantus altissima*). Amer. J. Bot. 77(5) : 662-670.
- Hirayoshi. I., E. Iwata and M. Matumura. 1968a. Ecological studies on woodlands of grazing use I. Effect of grazing on the growth of dwarf bamboos(*Sasa* spp). J. Japan. Grassl. Sci. 26 : 182-193.
- Hirayoshi. I., E. Iwata and M. Matumura. 1969b. Ecological studies on woodlands of grazing use. III. Vegetation change of dwarf bamboo type grassland after five months summer. J. Jpn. Grassl. Sci. 15(3) : 155-162.
- Hirura, T., J. Sano and Y. Konno. 1996. Age structure and response to fine-scale disturbance of *Abies sachalinensis*, *Picea jezoensis*, *Picea glehnii* and *Betula ermanii* growing under the influence of a dwarf bamboo understory in northern Japan. Can. J. For. Res. 26 : 589-597.
- Huxley, J. 1938. An auxiliary taxonomic principle. Nature. 142 : 219-220.
- Imai, H. 1981. Phosphate adsorption on volcanic ash soils, The effect of equilibrium pH on phosphate adsorption. Jpn. Soil Sci. Plant Nutr. 52 : 11-19.
- Kakashizuka, T. 1998. Regeneration of beech(*Fagus crenata*) after simultaneous death of undergrowing dwarf bamboo(*Sasa kurilensis*). Ecol. Res. 3 : 21-35.
- Katagiri, S., H. Ishii and N. Miyake. 1982. Studies on the amount of dry matter and nutrients in *Sasa* communities. Jpn. J. Ecol. 32 : 527-534.

- Kaufman, P. B., L. L. Wu, T. G. Brock and D. Kim. 1994. Hormone and the orientation of growth. In: Plant hormones and their role in plant growth and development. Davies, P. J., 2nd. Ed., pp. 147-179.
- Kawai, M., H. Inaba, S. Kondo, H. Hata and M. Okubo. 1999. Comparison of intake, digestibility and nutritive value of *Sasa nipponica* in Hokkaido native horses on summer and winter woodland pasture. J. Japan. Grassl. Sci. 45(1) : 15-19.
- Kawai, M., H. Inaba, S. Kondo, H. Hata and M. Okubo. 2000. Effect of summer and winter woodland grazing of Hokkaido native horses on growing of *Sasa nipponica*. J. Hokkaido. Grassl. Sci. 24 : 23-27.
- Kil, B. S. and Y. J. Yim. 1983. Allelopathic effects of *Pinus densiflora* on undergrowth of red pine forest. J. Chem. Ecol. 9 : 1135-1151.
- Kim, J. H. 1997. Variation of monoterpenoids in *Artemisia feddei* and *Artemisia scoparia*. J. Plant Bio. 40 : 267-274.
- Knight, T. A. S. 1806. On the direction of radicle and germen during the vegetation of seed. Phil. Trans. Royal Soc. London(Part 1). pp. 99-108.
- Konno, Y., D. Ito, M. Shimizu and R. Doi. 1990. Distribution of the genus *Sasa*, Japanese dwarf bamboo and cost of leaf. Bamboo Journal. 5 : 50-55.
- Kudo, H. 1980. The variation of floor plants after withering of *Sasa kurilensis* by unusual mass flowering. J. Jpn. For. Soc. 62(1) : 1-8.
- Kudo, H. 1984. Natural withering of *Sasa kurilensis* and regeneration of trees. Bulletin of Hokkaido University Forest. 42 : 889-809.
- Kudoh hiromu, M. Kadomatsu, M. Noda, Y. Akibayashi, S. Natsume and K. Kaneko. 1999. Long-term observation on the growth of *Sasa kurilensis* regenerated after mass flowering and associated plants in northern Japan: A 31 Year-Observation. Research Bulletins of the College Experiment Forests Hokkaido University. 56(1) : 30-40.
- Kuiters, A. T., L. A. M. van der Sluijs and G. A. Wytema. 2006. Selective bark-stripping of beech, *Fagus sylvatica*, by free-ranging horses. Forest Ecology and Management. 220(1-3) : 1-8.

- Li, H-H., Nishimura, K. Hasegawa and J. Mizutani. 1992. Allelopathy of *Sasa cernua*. J. Chem. Ecol. 18 : 1785-1796.
- Lodhi, M. A. K. and E. L. Rice. 1971. Allelopathic effects of *Celtis laevigata*. Bull. Torrey Bot. Club 98 : 83-89.
- Magurran, A. E. 1988. Ecological diversity and its measurement. Croom Helm. p. 1799.
- McClure, F. A. 1925. Some observations on the bamboo of Kwangtung (China). Lingnan Agricultural Review. 3 : 40-47.
- Mersie, M. and M. Singh. 1987. Allelopathic effect of *Parthenium* (*Parthenium hysterophorus* L.) extract and residue on some agronomic crops and weeds. J. Chem. Ecol. 13(7) : 1739-1747.
- Nakashizuka, T. and M. Numata. 1980. Regeneration process of climax beech forests II. Structure of a beech forest under the influence of grazing. Jap. J. Ecol. 32:473-482.
- Ogawa, Y., T. Mitamura, K. Okamoto and M. Teshima. 1986. Flora changes on *Sasa nipponica* grasslands used for grazing in successive and alternate winter seasons. Bull. Natl. Grassl. Res. Inst. 33 : 85-89.
- Oshima, Y. 1960. Ecological studies of *Sasa* community I. Productive structure of some of the *Sasa* communities in Japan. Bot. Mag. Tokyo. 74 : 208-209.
- Oshima, Y. 1961. Ecological studies of *Sasa* community II. Productive structure of some of the *Sasa* communities in Japan. Bot. Mag. Tokyo. 74 : 199-210.
- Pardates, J. R. Jr. and A. G. Dingal. 1988. An allelopathic factor in taro residues. Trop. Agric. 65(1) : 21-24.
- Patten, D. T. 1978. Productivity and production efficiency of an upper Sonoran Desert ephemeral plant community Amer. J. Bot. 65(8) : 891-895.
- Ralston, S. L., G. Van den Broek and C. A. Baile. 1979. Feed intake patterns and associated blood glucose, free fatty acid and insulin changes in ponies. Journal of Animal Science. 49 : 838-845.

- Ruyle, G. and P. Ogden. 1993. What is an A.U.M.?. Rangeland Management. pp. 1-4.
- Saijoh, Y. 1990. Ecological Studies for vegetation management on the stand dominated by *Sasa* : 2. On the elongation and branching type of rhizome of *Sasa senanensis*. Research bulletin of the Faculty College of Agriculture Gifu University. 55 : 267-278.
- Saitoh, T., K. Seiwa and A. Nishiwaki. 2002. Importance of physiological integration of dwarf bamboo to persistence in forest understorey: a field experiment. Jpn. J. Ecol. 90 : 78-85.
- Scarnecchia, D. L. 1985. The animal-unit and animal unit equivalent concept in range science. J. Range Manage. 35: 346.
- Scharf, C. M. and D. H. Hirth. 2000. Impact of moose bark stripping on mountain ash in Vermont. Alces Winter. pp. 41-52.
- Scott, S. J., R. A. Jones and W. A. Williams. 1984. Review of data analysis methods for seed germination. Crop Sci. 24 : 1192-1199.
- Shannon, C. E. and W. Wiener. 1963. The mathematical theory of communication. Univ. of Illinois Press, Urbana. pp.117.
- Turesson, G. 1922. The genotypic response of the plant species to habitat. Hereditas. 6 : 147-236.
- Weger, M. J. A., J. M. Louppen and J. H. M. Eppink. 1983. Species performances and vegetation boundaries along an environmental gradient. Vegetatio. 50 : 141-150.
- Yajima, T., N. Watanabe and M. Shibuya. 1997. Changes in biomass of above and under ground parts in *Sasa kurilensis* and *Sasa senanensis* stand with culm height. J. Jpn. For. Sci. 79(4) : 234-238.
- Yim, Y. J. 1973. Dry matter production and leaf area index of herb community in the central Korea. Kor. J. Bot. 18(3) : 87-91.
- Zhukova, L. A. and I. M. Ermakova. 1985. Structure and dynamics of coenopopulations of some temperate grasses. In: White, J. (ed.) Handbook of vegetation science. III. The population structure of vegetation. pp. 179-206.

- 강상준, 곽애경, 키쿠치 다카오. 1977. 한라산 구상나무림에 대한 식물사회학적 연구. 한국생태학회지. 20(2) : 293-298.
- 강상준. 1989. 한라산 구상나무 숲의 재생에 대하여. 제17회 국제학술대회 논문집. pp 21-50.
- 고정균, 강정호, 오희삼. 2006. 한라산의 등반·개발사. 4 : 107-108.
- 고정균. 2007. 지구온난화와 한라산의 식생. 한라산연구소. 6 : 3-17.
- 길봉섭, 김창환. 1996. 덕유산 국립공원 삼림식생의 종다양성. 한국생태학회지 19 : 229-230.
- 길봉섭. 1987. 소나무의 알레로패티 효과. 원광대학교 기초과학연구지. 6(1) : 27-33.
- 길봉섭. 1988. 리기다소나무의 Allelopathy 효과. 한국생태학회지 11 : 65-76.
- 김문홍. 1985. 제주도의 관속식물상. 한라산 천연보호구역학술조사보고서. 제주도. pp. 243-298
- 김상현. 1601. 남사록. 양증해 편역. 2000. 옛사람들의 등한라산기. 제주문화원. pp. 37-65.
- 김시경, 김영두. 1980. 조릿대의 예취시기와 재생과의 관계. 진주농전대 논문집. 18 : 47-51.
- 김시경, 김영두. 1981. 照度가 조릿대의 생육(現存量)에 미치는 影響. 진주농전대 논문집. 19 : 109-113.
- 김찬수, 강영제, 문명옥, 송관필. 2006. 한라산의 식물. 제주도 한라생태문화연구소. 9 : 74-140.
- 김찬수. 2002. 한라산 아고산대 식생변화 요인과 보존대책. 심포지엄자료집. 한라산연구소. pp. 25-55.
- 김치. 1609. 양증해 편역. 2000. 옛사람들의 등한라산기. 제주문화원. pp. 69-80.
- 노범진, 길봉섭. 1986. 리기다소나무의 독성물질이 다른식물에 미치는 영향. 원광대학교 기초자연과학연구지. 5 : 19-27.
- 농업기술연구소. 1988. 토양화학분석법. pp. 450.
- 大野秋月. 1996. 南鮮寶窟 濟州嶋. 제주시 우당도서관.
- 류순호, 송관철. 1984. 제주도 토양의 화학적 특성 조사연구. 한국토양비료학회지. 17(1) : 1-6.

- 박인협. 1985. 백운산지역 천연림생태계의 임분구조 및 물질생산에 관한 연구. 서울대학교 박사학위 논문. pp. 48.
- 박창서, 엄기태, 김이열. 1984. 토색분류에 의한 제주도 토양의 변이분석. 한국토양비료학회. 17(2) : 141-146
- 森爲三. 1928. “濟州島所生植物分布たつて. 文教の 朝鮮. 38 : 37-54.
- 송석환, 민일식, 김명희. 1998. 충남 서북 백동 사문암지역 식물체의 알칼리 및 전이원소 함량. 중보대학교 자연과학연구논문집. 7권 pp. 51-60.
- 염규백. 1962. 송백류의 분포를 중심으로 하는 한라산의 수직분포대. 식물학회지. 5(2) : 17-20.
- 오계철. 1968. 천연보호구역 한라산 및 홍도; 기후와 삼림군집. 문화공보부. 서울. pp. 68-88.
- 奥山春季. 1977. 寺崎 日本 植物圖譜. 平凡社教育産業センター. pp. 986-987.
- 오현도, 김문홍. 1977. 제주도 식물에 관한 연구.(I)-수목의 수직분포에 대하여-. 제주대학교논문집(자연과학편). 9 : 23-40.
- 이덕봉. 1957. 제주도의 식물상. 고려대문리논집. 2 : 399-412.
- 이영노. 1962. 한라산의 특산식물. 제주도. 41 : 124-135.
- 이우철. 1996. 한국식물명고. 아카데미서적. p. 1413.
- 이용상, 장남기. 1995. 배양액에서의 유기물분해와 식물군락에서의 낙엽분해에 관한 모델. 한국잔디학회. 9(2) : 119-129
- 이원조. 1841. 양증해 편역. 2000. 옛사람들의 등한라산기. 제주문화원. pp. 105-117.
- 이운원. 1990. 조릿대류에 의한 죽림조성에 관한 고찰 중부산업대학 농업개발연구소보. 1 : 43-53.
- 이종석, 김일중. 1977. 한라산 표고에 따른 몇가지 자생관상 식물의 성장 생태에 관하여. 제주대학교 논문집. 6: 63-68.
- 이종언. 2003. 사료자원의 평가 및 사양관리. 농촌진흥청 축산연구소. pp. 1-25.
- 이창복. 1980. 대한식물도감. 향문사. p. 80.
- 이창복. 1985. 한라산의 특산 및 희귀식물. 한라산천연보호구역 학술조사보고서. 제주도. pp. 215-242.

- 이형상. 1702. 남환박물. 양증해 편역. 2000. 옛사람들의 등한라산기. 제주문화원. pp. 83-101.
- 이호준, 이재석, 전영문, 정홍락, 강재구, 방제용, 류병혁. 1993. 조종천 상류 인접 지역의 식생. 건국대학교 이학논문집. 18 : 87-108.
- 임양재, 김정운, 이남주, 김용범, 백광주. 1990. 한라산국립공원 식물군집의 식물 사회학적 분류. 한국생태학회지. 13(2) : 101-130.
- 임양재, 백광수, 이남주. 1991. 한라산의 식생. 중앙대학교 출판부. pp. 98-99.
- 임제. 1578. 남명소승. 양증해 편역. 2000. 옛사람들의 등한라산기. 제주문화원. pp. 15-33.
- 장남기, 박남창. 1986. 남한의 송백림에 있어서 낙엽의 생산과 분해에 관한 연구. 한국생태학회지. 9(2) : 79-90.
- 장윤석, 임양재. 1985. 지리산 피아골의 식생형과 그 구조. 한국식물학회지. 28 : 165-175.
- 정연숙, 김준호. 1989. 간척지 갈대의 영영생장과 지상부 모듈의 개체군 동태. 한국생태학회지. 12(3) : 171-182.
- 佐竹義輔, 1999, 日本の野生植物 木本, 平凡社.
- 中井孟之進. 1914. 濟州道 並 莞島植物調査書. 朝鮮總督府專賣局.
- 차윤정, 이경준, 2002. 전남 백운산 지역 낙엽활엽수에서 벌채후 서로 다른 입분 유형에서 자라는 조릿대(*Sasa borealis*)의 형태 및 생리적 특성. 한국임학회지. 91(3) : 396-404.
- 차중환. 1969. 한라산 식물의 수직분포. 식물학회지. 12(4) : 19-29.
- 헌중. 1842. 읍지. 양증해 편역. 2000. 옛사람들의 등한라산기. 제주문화원. 155-189.
- 齋藤直人. 2002. 森林資源ササの活用. 林産試だより. 1: 10-12.

Appendix

Appendix 1. Species of striped trees by behavior bark chewing of horses.

Species	No. of total trees	No of Damage trees	Dead tree
Family 1. Pinaceae 소나무과			
<i>Pinus densiflora</i> S.et Z. 소나무	30		
Family 2. Betulaceae 자작나무과			
<i>Carpinus tschonoskii</i> Max. 개서어나무	3	1	
<i>Carpinus laxiflora</i> Bl. 서어나무	5	2	
Family 3. Fagaceae 참나무과			
<i>Quercus X grosseserrata</i> Bl. 물참나무	30	1	
Family 4. Magnoliaceae 목련과			
<i>Magnolia kobus</i> A.P.DC. 목련	4		
Family 5. Lauraceae 녹나무과			
<i>Lindera obtusiloba</i> Bl. 생강나무	4	1	2
<i>Lindera erythrocarpa</i> Makino 비목나무	157	7	4
Family 6. Rosaceae 장미과			
<i>Prunus maximowiczii</i> Rupr. 산개벚나무	39	4	
<i>Prunus sargentii</i> Rehder 산벚나무	29	5	1
<i>Pourthiaea villosa</i> Decne 윤노리나무	29	4	2
<i>Sorbus alnifolia</i> (S.et Z.)K Koch 팔배나무	48	5	2
<i>Sorbus commixta</i> Hedl. 마가목	1		
Family 7. Leguminosae 콩과			
<i>Maackia fauriei</i> (Lev.)Takeda 솔비나무	1	1	
Family 8. Rutaceae 운향과			
<i>Zanthoxylum schinifolium</i> S. et Z. 산초나무	4		
<i>Orixa japonica</i> Thunb. 상산	4	2	2
<i>Zanthoxylum piperitum</i> A.P.DC. 초피나무	3	2	1
Family 9. Aquifoliaceae 감탕나무과			
<i>Ilex crenata</i> Thunb. 팽팽나무	4	3	1
Family 10. Celastraceae 노박덩굴과			
<i>Euonymus oxyphyllus</i> Miq. 참회나무	21	10	7
Family 11. Aceraceae 단풍나무과			
<i>Acer palmatum</i> Thunb. 단풍나무	2	2	1
<i>Acer pseudo-sibolium</i> (Paxton)Kom. 당단풍	3	2	
<i>Acer mono</i> Max. 고로쇠나무	1		

Continued from previous page

Species	No. of total trees	No. of Damage trees	Dead tree
Family 12. Sabiaceae 나도밤나무과			
<i>Meliosma myriantha</i> S.et Z. 나도밤나무	1		
Family 1. Pinaceae 소나무과			
<i>Pinus densiflora</i> S.et Z. 소나무	30		
Family 2. Betulaceae 자작나무과			
<i>Carpinus tschonoskii</i> Max. 개서어나무	3	1	
<i>Carpinus laxiflora</i> Bl. 서어나무	5	2	
Family 3. Fagaceae 참나무과			
<i>Quercus X grosseserrata</i> Bl. 물참나무	30	1	
Family 4. Magnoliaceae 목련과			
<i>Magnolia kobus</i> A.P.DC. 목련	4		
Family 5. Lauraceae 녹나무과			
<i>Lindera obtusiloba</i> Bl. 생강나무	4	1	2
<i>Lindera erythrocarpa</i> Makino 비목나무	157	7	4
Family 6. Rosaceae 장미과			
<i>Prunus maximowiczii</i> Rupr. 산개벚지나무	39	4	
<i>Prunus sargentii</i> Rehder 산벚나무	29	5	1
<i>Pourthiaea villosa</i> Decne 율노리나무	29	4	2
<i>Sorbus alnifolia</i> (S.et Z.)K Koch 팔배나무	48	5	2
<i>Sorbus commixta</i> Hedl. 마가목	1		
Family 7. Leguminosae 콩과			
<i>Maackia fauriei</i> (Lev.)Takeda 솔비나무	1	1	
Family 8. Rutaceae 운향과			
<i>Zanthoxylum schinifolium</i> S. et Z. 산초나무	4		
<i>Orixa japonica</i> Thunb. 상산	4	2	2
<i>Zanthoxylum piperitum</i> A.P.DC. 초피나무	3	2	1
Family 9. Aquifoliaceae 감탕나무과			
<i>Ilex crenata</i> Thunb. 팽팽나무	4	3	1
Family 10. Celastraceae 노박덩굴과			
<i>Euonymus oxyphyllus</i> Miq. 참회나무	21	10	7
Family 11. Aceraceae 단풍나무과			
<i>Acer palmatum</i> Thunb. 단풍나무	2	2	1
<i>Acer pseudo-sibolianum</i> (Paxton)Kom. 당단풍	3	2	
<i>Acer mono</i> Max. 고로쇠나무	1		
Family 12. Sabiaceae 나도밤나무과			
<i>Meliosma myriantha</i> S.et Z. 나도밤나무	1		

감사의 글

행복이라는 열매를 만들기 위해 제주조릿대와 인연을 맺은 지 8년이 지나 미흡하지만 하나의 열매를 만들었습니다. 저에게 8년이란 시간은 정말로 행복한 시간이었고 행복의 열매를 만들기까지 그동안 저에게 많은 도움과 조언을 베풀어 주신 분들에게 감사의 마음을 전하고자 합니다.

먼저 논문이 완성되기까지 부족한 저를 아낌없이 지도를 주신 송창길 교수님에게 감사드립니다. 부족한 제 논문 심사를 맡아 세심하게 지적하시고 다듬어 주신 제주대학교 강영길 교수님, 김영용 교수님, 현해남 교수님 그리고 한라생태환경연구부 김철수 부장님께 진심으로 감사드립니다. 또한 제주대학교 전용철 교수님, 김동순 교수님께 감사의 마음을 전합니다. 대학원 생활을 하며 옆에서 많은 도움주신 김찬우 박사, 박성준 박사, 이충선 선생님, 김상현 선생님, 고미라 선생님께 감사하다는 말을 전하고 싶습니다.

이 논문이 쓰기까지는 한라산연구소 가족과 실험실 가족이 있었기에 가능했던 것입니다. All-in이라는 단어를 마음 깊이 새기게 해주시고 많은 조언과 도움을 주신 이창흡 과장님, 제주조릿대를 저와 인연을 맺혀주시고 저를 이곳에 오기까지 하드 트레이닝을 해주신 고정준 박사님, 옆에서 항상 도움을 주시고 새로운 시각을 열어주시는 오장근 박사님께 너무나 감사드립니다. 그리고 아낌없이 관심과 조언을 주신 고운정 주사님, 고희종 주사님, 변희수 주사님, 진승환 연구원님, 고석형 연구원님, 조병창님께 감사드리며, 하나의 가족인 된 수목시험과 정세호 과장님, 신창훈 박사님, 김대신 연구사님, 박정훈 주사님, 문홍식 주사님, 김양훈 주사님, 김성영 주사님, 김권을 주사님을 비롯한 수목시험과 가족 분들에게 감사의 마음을 전합니다. 또한 제가 학자의 길을 걷게 해주신 존경하는 원광대학교 길봉섭 교수님, 익산대학교 김창환 교수님, 유현경 박사님과 저와 연구수행을 같이 해주신 난지농업연구소 이종언 박사님, 제주조릿대에 대해 많은 조언을 해주신 문명옥 박사님, 한라산국립공원 신용만 선생님, 양송남 반장님 그리고 한라산국립공원 직원 모두에게 감사드립니다.

8년 동안 한라산을 오르락내리락하며 제주조릿대 연구를 항상 같이 해 준 태근이와 영돈이, 많은 고민을 같이 해준 민수형, 우리 실험실 아이템의 달인 송진영, 속도의 달인 김형철, 잡학의 달인 강정환, 성실함의 달인 우성배, 묵언수행의 달인 고은빛과 이가형, 무뚝뚝한 막내 이영삼과 강진영 후배님들과 저를 아는 모든 분들에게 감사의 마음을 전합니다.

이 논문으로 하늘나라에서 저를 지켜주신 아버지, 자식들에게 옆에서 헌신만 하시는 사랑하고 존경하는 어머니, 사랑하는 누나들, 깊은 관심으로 지켜봐 주시는 장인어른, 장모님, 처가 가족들, 마지막으로 늘 미안한 내 인생의 동반자인 나의 사랑스러운 내 아내 현선과 나의 아들 윤건, 윤환에게 이룩 말할 수 없는 사랑과 고마움을 전합니다.

8이라는 숫자는 재출발과 여덟가지 행복의 의미를 지니고 있어
저는 이제 다시 여덟 가지의 행복을 만들기 위해 새로운 출발을 하겠지요.

2008년 마지막 날
사무실에서