

최 종
연구보고서

음나무 순 대량생산을 위한
우량 품종 생산기술 개발

Development of Mass Bud Production
Technique for *Kalopanax pictus*

국립산림과학원

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “음나무 순 대량생산을 위한 우량품종 생산기술 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2004년 8월 일

주관연구기관명 : 국립산림과학원

총괄연구책임자 : 이 성 규

연 구 원 : 이 갑 연

연 구 원 : 허 성 두

연 구 원 : 이 병 실

연 구 원 : 김 기 철

연 구 원 : 이 정 주

연 구 원 : 김 원 우

연 구 원 : 박 유 헌

연 구 원 : 이 상 봉

연 구 원 : 장 경 환

연 구 원 : 김 중 한

연 구 원 : 유 세 결

협동연구기관명 : 서울대학교

협동연구책임자 : 이 은 주

요 약 문

I. 제 목

음나무 순 대량생산을 위한 우량품종 생산기술 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

음나무의 순과 수피는 오랜 옛날부터 우리나라 전통적인 향토식품의 재료로 활용되어 왔다. 더욱이 최근에는 수피, 근피 및 새순에서 다양한 유용물질이 확인되고, 이들 물질의 약리 효과가 검증되면서 수요가 급증하고 있다. 이러한 수요의 증가는 무분별한 남획을 초래하여, 자생지의 귀중한 수목유전자원을 감소시키고 있다. 따라서 인위적 간섭에 의해 급격히 사라져 가는 음나무를 보전하고, 복원할 수 있는 연구가 절실히 요구되고 있다. 그리고 수요가 높은 음나무를 집약재배하거나 임간재배하는 방법을 구명하여, 농산촌의 소득증대에 기여할 수 있는 방법의 모색도 필요하다.

본 연구에서는 ① 자생 음나무 유전자원 보존과 차세대 육종을 위한 지역 품종 보존원 조성하고, ② 음나무 순 생산증대를 위한 집약재배법을 확립하고, ③ 林間 재배법을 탐색하고자 하였다. 그리고 ④ 수체내 유용물질 함량이 높은 지역종을 수집/보급 함으로서, 농산촌민의 소득증대에 기여하고자 하였다.

III. 연구개발 내용 및 범위

○ 자생 음나무 유전자원 보존과 차세대 육종을 위한 지역 품종 보존원 조성
전국 각지에 散在하여 자생하고 있는 음나무를 수집하여 지역품종 보존원을 조성함으로써 자생 식물 자원으로서 가치가 높은 음나무 유전자원을 보존하고, 미래의 육종목표 변화에 대하여 신속한 대응을 기대할 수 있는 모집단을 육성한다.

○ 음나무 순 생산증대를 위한 재배법 확립
斷幹, 斷枝, 斷根 등의 처리를 통하여 음나무 순 생산증대를 기대할 수 있는 수형으로 유도하여 농산촌 주민의 소득증대에 기여할 수 있는 집약 재배법을 확립한다.

○ 林間 재배법 탐색

빛 환경이 음나무 종자의 발아와 稚樹의 성장 및 순 생산량에 미치는 영향을 조사하여, 林床의 치수가 成木으로 발달하기 어려운 음나무를 山地에서 林間 재배하는 방법을 탐색한다.

○ 수체내 유용물질 함량 증진법 개발

생육 환경이 서로 다른 조건에서 성장한 개체의 유용물질 함량을 조사/분석하여 수체내 유용물질의 함량이 높아 부가가치가 높은 음나무 순을 생산할 수 있는 재배환경을 탐색한다.

○ 음나무 재배를 위한 實務書 개발

기존의 연구결과와 본 과제에서 수행한 연구결과를 사용하여 농산촌 주민이 음나무를 재배하는데 필요한 실무 재배 기술본을 작성하여 기술/이전 보급한다.

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

본 연구에서는 ① 우리나라에 자생하는 음나무 군락의 생태적 특성을 파악하고, 유전적으로 우량한 지역종을 수집하여 ② 집약재배할 수 있는 방법과 ③ 임간(林間)에서 재배할 수 있는 방법을 탐색하였다. 그리고 음나무에 함유된 ④ 유용물질의 함량이 높은 생육환경과 지역종을 선발하였으며, 이들 ⑤ 우량 지역종을 보급할 수 있는 기반을 조성하였다.

1. 생태적 특성

개체목 단위로 산재하여 서식하는 것으로 알려진 음나무의 군집을 탐색하고, 인위적 간섭이 적고 보전상태가 양호한 강원도 흥정산, 발왕산, 가리왕산 지역을 대상으로 지형, 토양특성 등의 물리적 환경과 식생구조를 조사하였다. 그 결과 음나무 자생지는 해발고 780~1,300m의 북서, 북동 및 북향을 중심으로 경사가 심한 산복-사면에 위치하였으며, 비옥한 토양이었다. 음나무의 평균 연륜 성장량은 1.60~2.41mm이며, 초기 20년간은 높은 성장량을 나타내나, 그 후로는 점차 감소하는 경향을 나타냈다. TWINSPAN에 의한 군집의 분리는 지역간의 군집분리에 중요하게 작용하였으

며, 음나무림의 평균상대우점치(MIV)는 홍정산지역 24.55%, 가리왕산지역 29.25% 그리고 발왕산지역 38.28%로 나타났으며, 종다양도는 전체적으로 1.3124~1.3992 범위를 보여 대체적으로 3개 지역간에 큰 차이는 보이지 않았다. 음나무 층위별 분포형(Morista's index)은 교목층, 아교목층 및 관목층이 각각 0.9629, 2.9570, 20.5419로 나타나 교목층은 임의 분포하는 경향을 보였으나 아교목층과 관목층은 집중분포하는 것으로 나타났다. 종다양성 분석 결과 상대우점도의 범위가 0.1476~0.2065으로 몇몇 종에 의한 단순림을 이루지 않고 다수의 종에 의해 혼효되어 자생하고 있으며, 유사도지수는 64.31~64.54% 범위로 3개 조사지역간에 식생의 연속성이 있는 것으로 판단되어 되었다. 조사지의 상대우점치를 이용한 종간 상관관계를 조사한 결과 음나무는 사스레, 물참대, 까치박달나무 그리고 들메나무와는 동일한 생태적 지위 갖는 것으로 나타났으며, 노린재나무 1%, 쪽동백, 고로쇠나무, 나래회나무, 느릅나무는 5%수준의 부의 상관관계를 보여 생태적 지위가 다른 것으로 나타났다. 직경급 분포에 의한 개체군의 생육 동태를 예측한 결과 홍정산 지역은 정규분포를 보여 앞으로 지속적인 유지가 가능하며, 발왕산의 경우에도 소경목에서 대경목에 이르기까지 골고루 출현하여 음나무림의 지속적인 유지가 가능할 것으로 생각되나 가리왕산의 경우는 치수나 어린 개체가 출현이 되지 않고 중경급과 높은 직경급의 개체의 밀도도 높지 않아 앞으로 이 집단에서는 음나무 집단의 지속적인 유지가 어려울 것으로 생각된다.

2. 집약재배법 탐색

종자의 저장과 발아촉진

상온건조저장, 냉장건조저장, 상온습사저장, 냉장습사저장 및 변온습사저장과 노천매장 등의 6가지 저장방법으로 처리된 종자의 개갑율(開匣率)을 조사한 결과, 변온습사저장에 의해 처리된 종자가 최고 82%의 개갑율을 나타내어 6가지 저장방법 중 가장 우수한 결과를 보였으며 상온건조저장과 냉장건조저장의 경우에는 개갑이 전혀 이루어지지 않았다. GA₃ 농도별 처리에 따른 발아율을 조사한 결과에서도 변온습사저장한 종자를 1,000mg/l 용액에 처리한 실험구에서 80%의 가장 높은 발아율을 나타내었으나 상온건조저장과 냉장건조저장에 의해 처리된 종자들은 개갑특성 조사 결과와 동일하게 전혀 발아가 이루어지지 않았다. 또한, 음나무 종자의 최적 발아온도와 채

취시기 구멍을 위한 실험 결과, 최적 발아온도는 20℃인 것으로 나타났으며 이후 온도가 증가할수록 발아율은 낮아지는 경향을 보였다. 음나무 종자의 최적 채취시기는 종실의 생리적 성숙단계로 추정되는 10월 10일과 20일에 채취한 종자가 각각 78%와 80%의 높은 발아율을 나타낸 것으로 미루어 볼 때 10월 20일 이전일 것으로 판단된다.

무기양료와 생장

생장량이 서로 다른 음나무 유묘 엽내 무기영양소를 비교 분석한 결과, 생장이 양호한 개체는 N, K의 함량이 높았다. P, Ca, Mn, Fe, Zn 등의 원소도 양호한 생장을 나타내는 개체가 비교적 높은 함량을 나타냈다. 그러나 Mg와 Cu는 생장에 따른 차이를 전혀 보이지 않았으며, Na는 생장이 양호할 수록 수체내 함량이 낮았다. Ca, Fe, Cu, Zn 은 묘목의 생장과 상관관계가 인정되지 않았다. 이상의 결과로 N, P, K, Mg, Mn, Na가 음나무 생장에 유익한 영양원소이며, Na는 생장을 저해하는 무기원소임이 입증되었다. 따라서 집약재배에서는 N과 같은 유익한 영양원소의 시비를 통하여 생산성을 증가시키고, Na의 시비를 억제하여 영양생리장애를 방지하는 것이 필요하다.

수형과 순 생산성

줄기의 수를 서로 다르게 수형을 조절한 다음 새순의 생산성을 조사한 결과, 줄기가 많은 수형이 새순의 수가 도 증가하였다. 그러나 새순 길이는와 발생기간은 수형간 차이가 크지 않았다. 새순의 품질을 조사한 결과, 3줄기형, 5줄기형 및 개심형의 선호도가 높은 것으로 나타났다. 이러한 결과로 3줄기형, 5줄기형 및 개심형으로 수형을 조절하는 것이 양질의 음나무 순을 대량으로 생산할 수 있는 것으로 구명되었다.

3. 임간재배법 탐색

임내 광환경

임내 광환경을 구성하는 광반, 산란광의 광질과 광도를 조사한 결과, 광반은 가시적으로 노천광과 유사하나, 광도가 노천광의 절반정도에 불과하고 짧은 파장의 빛이 감소되는 양적 및 질적 변화가 있었다. 산란광은 PAR영역의 빛이 현저하게 감소되어 있는 반면에 원적색광(fra-red)을 포함한 적외선 영역의 빛은 비교적 높은 광도를

나타냈다. 이러한 결과로 임상에 도달하는 빛(광반, 산란광)은 광도뿐 만아니라 광질의 변화도 있었음이 확인되었다.

임내 광환경에서의 종자발아

지베렐린에 의해서 후배속시킨 종자에 적색광(red light)과 원적색광(far-red light)을 照射한 후, 발아율을 조사한 결과, 적색광에 의해서 발아가 억제되고 원적색광에 의해서 발아가 촉진되는 현상을 나타냈다. 이러한 결과는 임내의 원적색광이 많은 광조건에서도 발아가 가능함을 나타낸다. 그리고 원적색광에 의한 발아촉진은 세포의 신장생장을 촉진시킴으로서 나타나는 Phytochrome의 강광반응에 기인한 것으로 생각된다.

임내 광환경에 대한 음나무의 적응 반응

음나무가 林床의 낮은 광도조건에 적응하는 기작을 구명하기 위해서, 양수인 이태리포플러와 耐陰樹인 음나무, 졸참나무를 대상으로 생육 광도 저하에 대한 光合成系의 적응반응을 조사하였다. 그 결과 양수인 이태리포플러는 생육 광도의 저하로 엽면적, 단위 엽면적 당의 엽록소함량, 빛의 흡수율 및 광합성에 대한 이용효율 등이 감소하고, 광합성의 광화학계 및 탄소고정계의 활성 저하로 낮은 광합성능력을 나타냈다. 그러나 내음성이 이태리포플러보다 강한 음나무와 졸참나무는 엽면적, 엽록소함량, 순양자수율을 증가시켜 빛의 흡수량과 광합성에 대한 이용효율을 높이는 적응반응을 나타냈다. 그리고 이들 수종은 낮은 광도에서도 광합성의 광화학계 및 탄소고정계의 활성이 정상적으로 유지되고 있음을 알 수 있었다.

수령증가와 내음성 수준

수령증가가 내음성 수준에 미치는 영향을 구명하기 위해서 수령이 서로 다른 음나무의 광합성 특성을 조사하였다. 그 결과 수령에 따른 광합성능력, 빛 이용효율, 탄소 고정효율, 광호흡, 광보상점, 광포화점 등의 변화는 나타나지 않았다. 그러나 임내에서 성장한 개체는 수령이 증가할 수록 수분이용효율과 광합성 능력이 저하하는 경향을 나타냈다. 이러한 결과를 통하여 임간재배시에는 수령의 증가에 따라서 임관의 밀도를 낮추는 소개시업(疏開施業)이 필요함을 알 수 있었다.

4. 생육환경과 유용물질 함량

유용물질함량 변이

우리나라에 자생하는 음나무의 부위별 및 7개 자생집단별로 4종의 kalosaponin 함량을 정량분석하고, 통계분석을 통해 함량변이를 조사하였다. 부위별 총 kalosaponin 함량은 내피가 가장 높고, 새순, 근피의 순으로 나타났다. 자생집단별 내피의 총 kalosaponin 함량은 발왕산집단이 가장 높았고, 가리왕산 집단, 한라산Ⅱ 집단, 전남 망운집단, 경기 팔탄집단, 한라산Ⅰ 집단순이었다. 이러한 지역간의 kalosaponin 함량 변이는 유전적 및 환경적인 요인으로 추정되었다.

유용물질함량과 생장

kalosaponin의 함유량이 높은 개체를 대상으로 생장특성을 조사하여 단순상관, 편상관 및 다중회귀분석을 통해 kalosaponins 생산에 영향을 미치는 생장요인을 추정하였다. 그 결과, kalosaponin P 함량에 가장 높게 영향을 미치는 인자는 내피두께로 나타났으며, kalosaponin O 함량은 내피무게와 수령으로 나타났으며, kalosaponin B 함량은 내피중량과 평균흉고직경으로 나타났다. 이상의 결과로 보아 음나무 내피의 특성이 kalosaponins 생산에 밀접하게 관계하는 것으로 나타났다.

5. 우량 지역종 선발 및 보급 기반 조성

생장이 우수한 23가계의 지역종을 선발하고, 또한 kalosaponin 함량이 높은 20가계 등 총 53가계의 채종원을 12,320m²(1,920본)의 면적에 조성하였다.

SUMMARY

The new bud and bark of *Kalopanax pictus* are known as a medicinal plant and valuable food resource in Korea. Recently many effective ingredients are recovered and demand for *Kalopanax pictus* is rapidly increasing these days. This rapid increase in demand causes over harvest and can destroy their valuable genetic resources. So urgent study for its conservation and restoration is needed. Intensive cultivation and cultivation in the forest method can provide needed materials.

In the study we aimed 1) to establish desirable populations of *Kalopanax pictus*, 2) to find efficient intensive cultivation methods for higher new bud production, 3) to search cultivation method in the forest, 4) to increase effective ingredients in the target trees and 5) to provide superior trees to farmers for better income.

Research site characteristics, vegetation structure and dynamics of *Kalopanax pictus* forests in Mt. Heungjeong, Mt. Balwang and Mt. Gariwang were studied to provide the information needed for national resources conservation and restoration of *K. pictus* forest in Gangwon-do of Korea. The *K. pictus* forests were distributed at 780m to 1,300m in altitude, steep slope, ridges-slope areas with facing northeast to northwest in good nutrition area. The annual diameter growth of those trees ranged 1.60 mm to 2.41 mm. During early 20 years trees showed higher growth rate and then they showed decreased growth rate. The result of TWINSpan ordination show that geographical features played a role in determining community types in the study areas and MIV value showed 24.55% in Mt. Heungjeong, 29.25% in Mt. Gariwang, and 38.25% in Mt. Balwang.

Species diversity (H') of investigated areas ranged 1.3124~1.3992 and this value relatively higher than that of other forests with similar site. The distribution pattern of Morista's index show that *Kalopanax septemlobus* distributed randomly in tree and concentrated a few sample plots in sub-tree layer and shrub layer.

The range of similarity indices between surveyed areas was 64.31~64.54%. The association analysis showed that *Kalopanax septemlobus* positively associated with *Betula ermani*, *Deutzia glabrata*, *Carpinus cordata*, *Fraxinus mandshurica* and

negatively associated with *Symplocos chinensis* var. *pilosa*, *Styrax obassia*, *Acer mono*, *Euonymus macroptera*, *Ulmus davidiana* var. *japonica*. According to the diameter distribution of *Kalopanax pictus* community, the community of Mt. Gariwang will gradually decline and replaced by *Quercus* community. The communities of Mt. Heungjeong and Mt. Balwang has its seedlings and saplings, so it may be sustained.

This study was conducted to reveal the effective germination method of *K. pictus* by 6 different storage conditions, GA₃ concentrations, germination temperatures, and seed collection times. The obtained results are shown below; The rate of split achene pericarp was analyzed for 6 storage methods; *i.e.*, dry and moist room temperature storage, dry and moist cold storage, moist storage and cold stratification storage until 12 weeks after sowing. The moist storage method showed the most excellent value (82%) in the rate of split achene pericarp over all storage methods. But, non-split achene pericarp occurred when the seeds were stored either dry room temperature or at 4°C without providing any moisture. Germination rate was peak (80%) when treated with 1,000mg/ℓ GA₃ after gradual exposure to the temperature ranging from 4°C to 25°C with moisture. However, no seed germination occurred when the seeds were stored either dry room temperature or at 4°C without providing any moisture. The effect of temperature on seed germination was also analyzed. When the seeds were cultured at 20°C until 5 weeks, 78% of them was germinated. However, as the temperature got either lower or higher than 20°C, the germination rate decreased. The seed collection time also appeared to influence the germination rate. When the seeds were collected on October 10 and 20, the germination rates were 78 and 80%, respectively. However, the germination rate of seeds collected earlier than that period decreased dramatically.

Inorganic nutrients analysis in early leaves showed that good growth trees had higher in N and K. Good growth trees also showed a bit higher in P, Ca, Mn, Fe, and Zn but no difference in Mg and Cu. But Na was low in good growth trees. There was no indication between Ca, Fe, Cu, Zn and early tree growth. This result suggested that N, P, K, Mg, Mn, Na were beneficial nutrients and Na was not. Therefore it is good to add N and subtract Na for better intensive cultivation practice.

We tested relationship between tree branch & shape and bud production. Tree

with many branches had better bud production. But there was no difference in bud length and leaf emergent period. The quality of new bud was better in 3-, 5-, and open branch types. So it is desirable to have 3-, 5-, and open branch types for higher production.

We investigated light conditions in the forest based on sunfleck, diffused light, light quality and intensity. In result, sunfleck resembled sky light, light intensity was half of sky light and short wave length was reduced. This changed light intensity and quality in the forest. Sunfleck was reduced in PAR spectrum but far-red and red spectrum was not much changed. In the result suggested the light (sunfleck, diffused) reaching on forest floor showed light intensity and quality changes.

We checked light condition effects on seed germination. Far-red light treatment a bit stimulated gibberelin-treated seed germination. And red light treatment inhibited seed germination. This indicates the light which reaching the forest floor has large portion of far-red light and this will be sufficient for normal seed germination in the forest. Because far-red light can stimulate cell elongation and believe that phytochrome will do a role in this response.

Three tree species (*Populus euramericana*, *Kalopanax pictus* and *Quercus serrata*) exhibiting different levels of shade tolerance were employed to investigate photosynthetic responses to the lower light condition on forest floors. Chlorophyll contents, spectral properties and photosynthetic characteristics were examined by using the tree species grown under high light intensity or low light intensity. Plants grown under the low light intensity tended to have reduced leaf area, chlorophyll content per unit leaf area, light absorption and respiration in the shade intolerant tree species of *P. euramericana*. However, the shade tolerant species *K. pictus* and *Q. serrata* showed increased leaf area, chlorophyll content and net apparent quantum yield. Therefore, light absorption and light utilization efficiency were improved under the low light intensity. Also shade tolerant species maintained activities of photosystems and CO₂ fixation systems with little changes in low light intensity condition.

We measured the effect of tree aging on the level of shade tolerance by photosynthesis rates. In result, photosynthesis rate, light utilization efficiency, carbon

fixation rate, photo-respiration, photo-saturation, photo-compensation were not changed with tree age. But trees grown in the forest showed lower water utilization and photosynthesis rate with age. This suggested that it would be better to be down tree density with tree age.

Effective ingredient was surveyed in 7 native populations with 4 kalosaponin contents. Inner bark showed the highest content. New bud and root bark were next. Tree in Mt. Balwang showed the highest and Mt. Gariwang, Hallasan II, Chunnam Mangwoon, Kyunggi Paltan, Hallasan I in decreasing order. We believe that this difference comes from genetic and environmental bases.

We also measured the factors that could effect on kalosaponin contents. Inner bark was related with Kalosaponin P. Inner bark weight and tree age were related with Kalosaponin O. On the other hand, inner bark weight and DBH were related with Kalosaponin B. In result, traits of inner bark are closely related with Kalosaponin production.

To transfer this desirable cultivation technique, we selected 53 superior local populations and established a forest for seed harvesting (12,320 m², 1,920 trees).

CONTENTS

Chapter 1	Research outline -----	14
Chapter 2	Present status of technology development -----	18
Chapter 3	Introduction -----	20
Chapter 4	Distribution and environmental condition -----	23
Section 1	Distribution and ecological traits -----	23
Section 2	Population structure -----	28
Chapter 5	Development of intensive cultivation technique -----	52
Section 1	Seed storage and germination -----	52
Section 2	Inorganic nutrients and growth -----	58
Section 3	Tree shape and new bud production -----	66
Chapter 6	Survey for cultivation technique in the forest -----	72
Section 1	Light condition in the forest -----	72
Section 2	Light condition and seed germination -----	79
Section 3	Physiological response to low light -----	92
Section 4	Physiological response to aging -----	111
Chapter 7	Growth condition and effective ingredient -----	119
Section 1	Effective ingredient in various habitats and parts -----	119
Section 2	Effective ingredient and tree growth -----	126
Chapter 8	Collection of superior population and technique transfer -	134
Chapter 9	Goal achievement level and contribution to related areas -	139
Chapter 10	Practical application of result -----	142
Reference	-----	143

목 차

제1장 연구개발 과제의 개요	14
제2장 국내외 기술개발 현황	18
제3장 서론	20
제4장 자생지 분포 및 입지환경	23
제1절 음나무의 분포와 생태적 특성	23
제2절 자생군락의 구조와 입지환경	28
제5장 집약 재배 기술 개발	52
제1절 종자의 저장 및 발아촉진법	52
제2절 무기양료와 생장	58
제3절 수형과 순 생산성	66
제6장 임간 재배 기술 탐색	72
제1절 산림내 광환경	72
제2절 산림내 광환경과 종자의 발아	79
제3절 광도 저하에 대한 생리적 반응	92
제4절 수령증가에 따른 생리적 변화	111
제7장 생육환경과 유용물질함량	119
제1절 산지별/부위별 유용물질 함량변이	119
제2절 유용물질 함량과 생장	126
제8장 우량 지역종 수집 및 보급 기반 조성	134
제9장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	139
제10장 연구개발 결과의 활용계획	142
참고문헌	143

제1장 연구개발 과제의 개요

1. 필요성

가. 기술적 측면

- 1) 현재, 농산물 수입개방에 따라 국제 상황이 무한 경쟁체제로 급변함에 따라 약화된 국내 농산물의 경쟁력을 강화하기 위한 신 소득 대체 작목 개발이 시급히 요구된다.
- 2) 최근 건강 기능성 식품의 수요가 급증함에 따라 약용, 산채류의 생산성에 관계하는 생리생태적 특성과 품종개발 및 효율적인 재배 방안과 연구가 절실히 요구된다.
- 3) 최근 음나무(개두릅) 순은 기호도가 높은 식/약용산채로 그 수요가 급증하여 자생 음나무 자원의 무분별한 남획으로 우량유전자원이 소멸위기에 처한 바, 음나무자원을 탐색/수집하여 재배 품종 개발을 위한 Gene bank 구축이 시급하다.
- 4) 음나무 집약재배에 적합한 우량품종 육성보급의 필요성과 음나무 순의 다량생산을 위한 최적 재배기술 보급이 절실히 요구된다.

나. 경제·산업적 측면

- 1) 음나무 순은 씹쌀한 맛과 독특한 향이 특징인 산채로서 최근 기호도가 높은 천연식품으로 그 수요가 급증하고 있어 산지에서는 다른 산채류보다 높은 가격에 판매되고 있다.
- 2) 일부 농가에서는 신소득 작목으로 음나무 재배를 시도하고 있지만 구체적, 체계적인 증식 및 재배기술이 열악한 실정으로 대부분 야생채취하고 있다.
- 3) 최근 들어 음나무의 수피, 근피 및 새순의 약리 효과가 알려져 자생지에서 이를 채취하기 위하여 무분별한 남획이나 도벌이 성행하기 때문에 많은 음나무 자생지가 급격히 파괴되어 가고 있는 실정으로 이에 대한 대비 방안이 절실히 필요하다.
- 4) 또한 두릅은 관목으로 채취량이 많지 않을 뿐 아니라 어느 정도 채취하고 나면 더 이상의 채취가 힘들어지나 음나무는 교목으로서 지속적인 생산이 가능

하며 농가의 소득 증진은 물론이고, 환경 친화적이고 지속적 가능한 생산을 올릴 수 있다.

다. 사회·문화적 측면

- 1) 현재, 농산물 수입개방에 따라 국내 농산물의 경쟁력이 급속히 약화되었으며, 더구나, 생물다양성 협약에 의한 자국 품종의 보호가 제도화되면서 많은 외화를 로얄티로 지급해야하기 때문에 1차 산업의 우리 농·산촌경제는 심각한 위기상황에 처해있다.
- 2) 최근 이를 극복하기 위하여 차별화 된 농산물을 생산, 가공, 판매하는 틈새시장(niche market)을 겨냥한 새로운 아이디어를 바탕으로 고부가가치 농업을 창출하는 벤처농업과 같은 힘겨운 자구책을 모색하고 있는 실정이다.
- 3) 따라서 이러한 일련의 급속한 현실 변화에 감안한다면 최우선적으로 경쟁력이 높은 우리 고유의 새로운 소득 품종개발이 선행되어야 하며, 이들 품종의 구체적이고 체계적인 재배 증식기술 보급으로 농가소득을 증진시킬 수 있는 방안이 될 것이다.

2. 목표와 범위

가. 목표

- 1) 자생 음나무 유전자원 보존과 차세대 육종을 위한 지역 품종 보존원 조성
전국 각지에 散在하여 자생하고 있는 음나무를 수집하여 지역품종 보존원을 조성함으로써 자생 식물 자원으로서 가치가 높은 음나무 유전자원을 보존하고, 미래의 육종목표 변화에 대하여 신속한 대응을 기대할 수 있는 모집단을 육성한다.
- 2) 음나무 순 생산증대를 위한 재배법 확립
斷幹, 斷枝, 斷根 등의 처리를 통하여 음나무 순 생산증대를 기대할 수 있는 수형으로 유도하여 농산촌 주민의 소득증대에 기여하는 집약 재배법을 확립한다.
- 3) 林間 재배법 탐색
빛 환경이 음나무 종자의 발아와 稚樹의 성장 및 순 생산량에 미치는 영향을 조사하여, 林床의 치수가 成木으로 발달하기 어려운 음나무를 山地에서 林間

재배하는 방법을 탐색한다.

4) 수체내 유용물질 함량 증진법 개발

생육 환경이 서로 다른 조건에서 생장한 개체의 유용물질 함량을 조사/분석하여 수체내 유용물질의 함량이 높아 부가가치가 높은 음나무 순을 생산할 수 있는 재배환경을 탐색한다.

5) 음나무 재배를 위한 實務書 개발

기존의 연구결과와 본 과제에서 수행한 연구결과를 사용하여 농산촌 주민이 음나무를 재배하는데 필요한 실무 재배 기술본을 작성하여 기술/이전 보급한다.

나. 내용

1) 자생 음나무 유전자원 보존과 차세대 육종을 위한 지역 품종 보존원 조성

- 기후환경을 고려하여 산지를 구분하고, 자료분석을 통한 자생현황 조사
- 현지조사를 통하여 자생밀도가 높은 지역 탐색
- 형질특성을 토대로 하여 지역품종 선정
- 지역 품종의 증식/보존
- 지역품종의 생장 양식 조사

2) 음나무 순 생산증대를 위한 집약 재배법 확립

- 斷幹, 斷枝, 斷根 등의 처리를 통하여 수형 유도
- 순 多産型 지역품종 개발
- 수체분석을 통한 무기원소별 양분 요구도 구명(최적 시비량 구명)
- 고품질 순생산에 적합한 광환경 구명

3) 林間 재배법 탐색

- 광도 저하가 음나무의 생장에 미치는 영향 조사
 - 광합성 생리 조사
 - 파장별 빛 이용 효율 조사
 - 신장 생장량 조사
 - 빛의 이용효율성(순양자수율) 조사
- 수령 증가가 내음 수준에 미치는 영향 조사
 - 광합성 생리 조사

- 빛의 이용효율성 조사
- 빛에 대한 기공반응 조사
- 종자의 광발아 특성 조사
 - 임내 광질에 대한 발아 특성 조사
 - 광 前歷에 대한 발아 특성 조사
- 4) 수체내 유용물질 함량 증진법 개발

광환경, 시비조건 등이 서로 다른 조건에서 성장한 개체의 순과 내피를 시험재료로 하여 읍나무의 주요 약물질인 Kalosaponin의 함량을 분석하여, 유용물질의 함량을 증진시킬 수 있는 재배환경 구명한다.

제2장 국내외 기술개발 현황

1. 연구동향

○ 분포 및 생육 특성

- 음나무(*K. pictum* Nakai)는 수평적으로 한라산(N 33° 20')에서부터 백두산(N 41° 3')까지 전국적으로 분포하고 있으며, 특히 중부지방에 집중적으로 분포하고 있다. 또한 수직적으로는 남부지방에서는 해발고 200m 이상에서, 중부와 북부지방에서는 100m 이상에서 분포하는데 주로 해발고 400m 지역에 분포함
- 음나무는 동남향 계곡사면, 산복, 산록 등에서 생장이 왕성하며, 해발고가 높아질수록 성장량이 낮아지는 것으로 보고하였다. 또한 이 나무는 토심이 깊고 비옥한 適潤性~弱濕性(평균습도 48%) 토양에서 잘 자라는 것으로 알려져 있음
- 음나무 분포형태는 치수 혹은 유묘 단계에서는 집단적으로 분포하지만 생존율이 저조하여 성목은 대부분 독립목 단위로 산생(散生)하는데, 이와 같은 현상은 광 환경이 음나무 치수생장에 밀접하게 작용하는 것으로 알려져 있음

○ 생태적 특성

- 음나무림은 전형적인 이령혼효림으로 알려져 있으며, TWINSPAN과 DCCA에 의한 강원도 중왕산의 산림군집 분석결과 8그룹으로 구분되었는데, 그 중 신갈나무-음나무 군집은 해발고가 높고 Ca⁺⁺, C.E.C., Mg⁺⁺, 전질소 등의 양료가 많은 곳에 분포하는 것으로 보고되었음
- 또한, 상기 지역의 음나무림에서 음나무와 출현빈도가 높은 수종은 신갈나무, 고로쇠, 당단풍, 까치박달 등과 같이 능선이나 사면에 주로 분포하는 수종들과 함께 분포하며, 성목림은 대부분 비옥한 입지에 분포하고 있지만 치수림의 경우에는 산불이나 임도 건설 등과 같은 교란지에 많이 나타난 것으로 보고하였음

○ 영양생리

- 음나무 묘목은 토양산도가 낮은(pH 3.4) 토양에서 K, Ca, Mg 등의 흡수저해가 발생하여 저조한 성장을 보이는 것으로 보고되었음

○ 약리효과

- 지금까지 음나무에서 여러 종류의 saponin과 lignan 및 phenol성 항산화물질이 보고되었는데 그중 kalosaponin O와 kalosaponin P는 혈당강화작용을 하는 것으로 밝혀졌음
- 일반적으로 음나무 saponin은 용혈작용을 나타내고, 가래약, 항염증작용, 강장작용, 혈당강화작용 등 그 용도가 매우 광범위하며 탁월한 효능을 지니고 있는 것으로 알려져 있음
- 음나무에서 kalosaponins 함량은 수피의 내피부위가 새순이나 근피 부위 보다 높았으며, 위도와 해발고가 높은 지역에서 성장한 개체가 많은 kalosaponins 함유하는 것으로 보고되었음

2. 문제점과 전망

○문제점

음나무의 일반적인 연구는 상기와 같이 수행되었지만 이를 응용한 효율적인 음나무 재배법과 음나무순의 다량 생산을 위한 최적 재배기술 등과 같은 농·산촌에서 실용화 할 수 있는 기술개발은 전무한 실정으로 급속히 증가되는 수요 증가와 농·산촌에서 절실히 요구되고 있는 현장 재배 기술 개발이 시급히 요청됨

○전망

- 현재 우리나라에 자생하고 있는 음나무는 음나무순(개두릅)의 산채적 가치가 높고, 다양한 약리활성 때문에 국민들의 선호도가 높지만 무작위한 야생채취로 사라져 가는 유전자원임
- 따라서 우선적으로 이러한 음나무 유전자원을 탐색하여 육종사업에 필요한 다양한 변이의 유전자원을 확보하고, 음나무순 채취를 위한 우량 품종 선발은 음나무자원의 경제적 이용 측면에서 매우 전망이 밝음
- 음나무순 다수확성 품종 개량 및 재배법 개발은 음나무 자원의 효율적인 측면에서 대단히 중요하다고 판단되며, 이를 우리나라 고유의 상품으로써 생산이 가능할 뿐만 아니라 농·산촌 경제활성에 이바지 할 것으로 사료됨

제3장 서론

최근 우리나라 국민의 경제와 생활 수준이 향상됨에 따라, 쾌적한 환경조건과 더불어 건강 유지 및 증진에 대한 관심이 날로 증대되고 있다. 이에 따라 질병을 예방하고 건강한 생활을 영위하기 위해서 부작용이 우려되는 화학의약품보다는 비교적 안전하다고 여겨지는 식물성 자연건강식품을 선호하는 경향을 보이고 있다. 더욱이 좋은 음식이 보약이라는 약식동원(藥食同源)의 개념이 확산됨에 따라 식품의 선택에 대한 수요가 급증하고 있다.

한편으로는 수입 개방 물결과 더불어 UR, 물질특허제도, 생물다양성협약 등 선진국의 기술보호 추세의 강화로 주변 환경이 무한 경쟁 체제로 변화함에 따라 그동안 밤, 호도 등의 유실수와 표고 등의 버섯류에 편중되어 있는 단기 임산소득작목들이 UR 이후 과실 임산물의 수입 자유화로 물량, 가격 등의 경쟁력 약화로 임산물뿐만 아니라 국내 영농산업이 크게 타격을 받고 있는 실정이다. 이러한 일련의 환경변화에 대응하기 위하여 새로운 단기 고소득작물의 다양화 및 생산성 향상과 재배기술 보급이 주요 관심사로 대두됨과 동시에 차별화된 농산물을 생산·가공·판매하는 틈새시장(niche market)을 겨냥한 새로운 아이디어를 바탕으로 고부가가치 농업을 창출하는 벤처농업과 같은 자구책을 모색하고 있다. 따라서 우리가 보존하고 있는 식물자원 중에서 유용수종을 선발, 이용 가능한 자원적 가치를 검색하여 그 식물이 갖는 식용, 약용, 도료, 기호식품 등의 다양한 용도를 개발하여야 할 필요성이 절실히 요구될 뿐만 아니라, 자원의 합리적인 관리 및 이용이라는 측면에서도 매우 중요한 일이라 할 수 있다.

음나무(*Kalopanax pictus* Nakai)는 두릅나무과의 음나무屬으로 수고 30m, 흉고직경 1.8m까지 자라는 거목성 수종이다(Photo. 1). 향명으로는 엄나무, 명구나무, 개두릅나무, 영개나물, 신목 등이 있다.(정태현 등, 1949; 정태현, 1957; 안학수 등, 1982).

민간에서는 줄기와 가지에 가시가 많은 이 나무가 귀신의 범접을 막는다하여 가시 돋친 가지를 대문 위, 방문 위 등 출입구에 꽂아 두었으며, 충청도에서는 대문 위에 매달면 도둑을 방지하는 것으로 믿었다고 한다. 풍습으로는 금장(禁葬)이라 하여 미리 묘터를 잡아놓고 다른 사람이 그 자리에 묘를 쓰지 못하도록 막아두는 봉목(棒木)으로도 사용되었던 것으로 알려져 있다(최영진, 1992). 또한 비옥한 땅에서 자라는 나무라 하여 농업의 적지선정 또는 농경지를 확대할 때 지표목으로 사용한 것으로 알려져 있다(최영진, 1992; 尾内, 1978)

특히, 음나무의 수피와 근피는 오래 전부터 여러 질병에 효능이 있는 약재로 알려져 있는데(Nakai, 1927; Yusuhara와 Tei, 1936), 약용으로 이용되어 온 것은 고려 때부터인 것으로 추정되기도 한다(삼진제약, 1999). 한방에서는 그 수피를 해동피(海桐皮: *Kalopanax cortex*), 근피를 해동수근(海桐樹根)으로 기록하고 있다(안학수, 1982; 육창수, 1989; 정보섭과 신민교, 1990). 중국에서는 이를 자추수피(刺楸樹皮) 또는 조불숙(鳥不宿: *Ramus kalopancis*)이라고 하는데 그 효능은 같으며, 콩과의 *Erythrina indica* 수피를 해동피라고 해서 동일 용도로 쓰이기도 하나 성분상에 차이가 있는 것으로 알려져 있다(삼진제약, 1999). 이 생약은 풍습(風濕)을 없애고 혈액 흐름 증진, 진통 및 소종(消腫)의 효과가 있어 신경통, 요통, 관절염 등에 많이 쓰일 뿐만 아니라 피부진균류에 대해서도 강력한 저지효과가 있어 개선 등의 피부질환에 탁월한 효과를 가지고 있는 것으로 기록되어 있다(정보섭과 신민교, 1990; 임록재, 1999). 그 외 전제(煎劑)가 당뇨병에 유효하고, 오십견(五十肩) 치료에 탁월한 효능이 있는 것으로 알려져 있다(삼진제약, 1999; 신재용, 1999). 또한 민간에서는 음나무 가지를 끓는 물에 삶아 그 물로 식혜를 만들어 마시면 신경통에 좋다고 하여 예로부터 많이 이용하였으며, 가지 삶은 물은 다갈색 빛이 돌고 은은한 향이 있어 차게 식혀서 건강음료로 마셨다(산림청, 1993). 또한, 초봄의 새순은 씹씹한 맛과 독특한 향이 특징인 산채로서 최근 기호도가 높은 천연식품으로 그 수요가 급증하는 추세에 있어 산지에서는 다른 산채류보다 높은 가격에 판매되고 있다.

이와 같이 음나무의 수피, 근피 및 새순의 약리 효과와 기호식품으로서 그 수요가 급증함에 따라 자생지에서 이를 채취하기 위하여 무분별한 남획이나 도벌이 성행하기 때문에 많은 음나무 자생지가 급격히 파괴되어 가고 있는 실정이다. 따라서 인위적 간섭에 의해 급격히 사라져 가는 음나무 유전자원의 탐색과 이 수종의 보존 및 복원을 위한 생리생태학적 연구가 절실히 요구되고 있는 시점이라 할 수 있다.



Photo. 3.1. An 1,000 year old *Kalopanax pictus* as a natural monument (No. 363) near Samcheok City, Gangwondo (Height, 20m; DBH, 1.8m)

제4장 자생지 분포 및 입지환경

제1절 음나무의 분포와 생태적 특성

1. 음나무屬의 분류

음나무는 1983년 Thunberg에 의해 *Acer pictum* Thunberg으로 명명되었으며, 1927년 Nakai가 이 학명의 분류학적 위치를 변경하여 *Kalopanax pictus* (Thunberg) Nakai로 변경하였다(이우철, 1996). 그러나 Ohashi(1994)는 *Acer pictum* Thunberg은 두릅나무과가 아닌 단풍나무과 단풍나무속으로 음나무의 정식 학명을 *Kalopanax septemlobus* (Thunberg ex Murray) Koidzumi로 보고하였다. 현재까지 음나무屬은 1種 1亞種 3變種으로 음나무(*Kalopanax pictus*), 당음나무(*var. chinense*), 가는잎음나무(*var. maximowiczii*), 털음나무(*var. magnificus*), 리우큐우ハリギリ(*ssp. lutchuensis*) 등 5종류가 기록되어 있다(이창복, 1993; 정태현, 1957; 이영노, 1996; 林, 1969).

우리나라에는 1種 3變種이 자생하는 것으로 알려져 있는데, 이들의 분류학적인 특징으로 가는잎음나무는 잎의 열편이 엽선부터 기부쪽으로 2/3까지 갈라지는데 비해 음나무와 털음나무는 1/3까지 갈라지며, 음나무는 잎 뒷면의 털끝이 2-3개로 갈라지며 주맥이나 세맥에 산생하는데 비해 털음나무에서는 털끝이 4개 이상 갈라지며 밀생하는 것으로 각각 잎의 형태에 따라 분류하고 있다(김주환과 김철환, 1999). 또한 당음나무는 열편이 난형 또는 삼각형이며, 음나무는 난형 또는 장난형으로 분류되는 것으로 기록하고 있다(정태현, 1957). 그 외 리우큐우ハリギリ는 일본의九州, 屋久島, 徳之島, 沖氷良部島, 琉球 등의 지역에만 분포하며, 이 종은 해발고가 낮고 기온이 높은 지역에 분포하며 다른 음나무종과 달리 가지에 가시가 없는 형태적인 특징을 나타내는 것으로 알려져 있다(林, 1969; Ohashi, 1994).

임동욱과 소용영(1993)은 두릅나무과 식물줄기에서 2기 목부 비교 해부를 통해 음나무속은 연륜경계가 뚜렷한 환공재이며, 환상의 소도관은 접선대상배열인데, 음나무는 도관내 격벽의 형태를 갖는 진층체를 가졌지만 가는잎음나무에서는 찾아볼 수 없음이 확인되었다.

Lee(1990)는 음나무와 가는잎나무의 화분립의 평균 극축길이는 각각 32.86 μ m,

25.62 μm 이며, 적도면의 평균지름은 각각 26.94 μm , 20.98 μm 의 차이를 나타낸 것으로 보고하였다.

2. 음나무의 분포 및 생육특성

음나무속(*Kalopanax* spp.)은 동아시아 고유屬으로 Fig. 4.1.1과 같이 한국, 일본, 중국, 만주, 동부 시베리아 등의 지역에 분포하고 있는 낙엽활엽교목이다(이창복, 1993; 정태현, 1957; 林, 1969; 김해삼 등, 1979).

Nakai(1927)의 “조선산 주요수목의 분포 및 적지 조사보고서”에 의하면 음나무(*K. pictum* Nakai)는 수평적으로 한라산(N 33° 20′)에서부터 백두산(N 41° 3′)까지 전국적으로 분포하고 있으며, 특히 중부지방에 집중적으로 분포하는 것으로 보고하였다(Fig. 4.1.2). 또한 수직적으로는 남부지방에서는 해발고 200m 이상에서, 중부와 북부지방에서는 100m 이상에서 분포하는 데 주로 해발고 400m 지역에 분포하는 것으로 보고하였다.

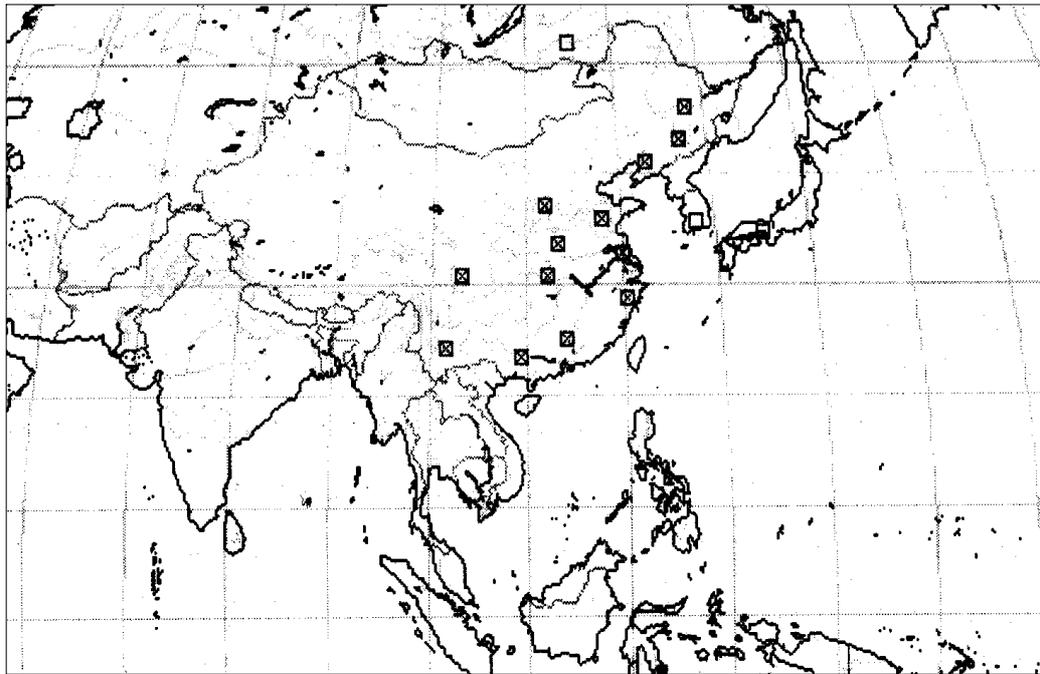


Fig. 4.1.1. Geographic distribution(☒) of *K. pictus* in North eastern Asia (Missouri botanica garden, 2000).

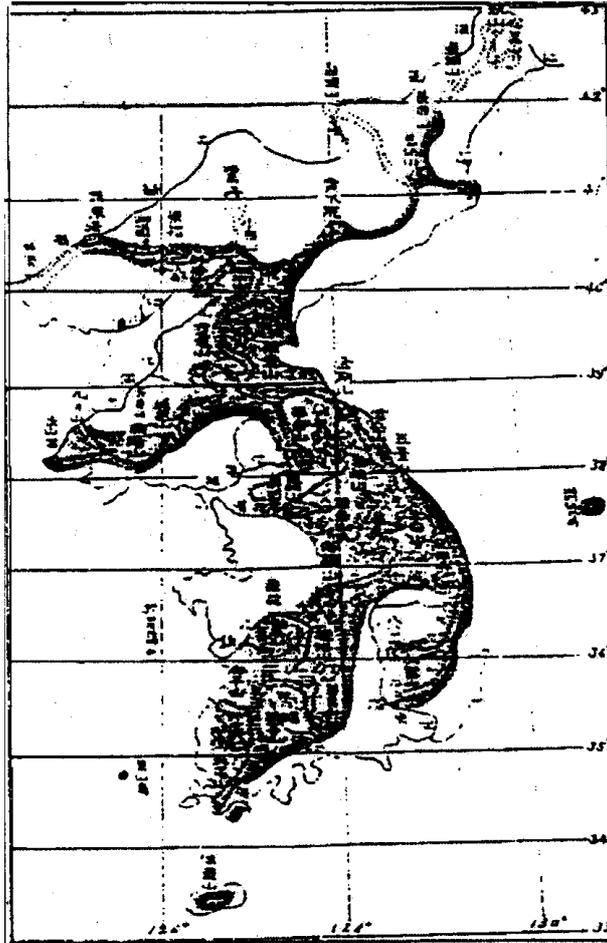


Fig. 4.1.2. Distribution (black area) of *K. pictus* in Korea (Nakai, 1927).

이돈구 등(1996)은 강원도 중왕산에서 음나무는 해발고 600-1,400m 범위에 폭넓게 분포하나 집중적인 분포범위는 해발고1,000-1,200m 이었는데, 이와 같은 분포범위의 차이는 이전의 화전, 인공조림, 도벌 등의 인위적 교란에 의한 것으로 보고하였다. 최근 이철호 등(2000b)은 강원도 흥정산, 발왕산, 가리왕산에서는 각각 해발고 820-965m, 970-1,045m, 935-1300m의 범위에 집중 분포하는 것으로 보고하였다.

음나무는 동남향 계곡사면, 산복, 산록 등에서 생장이 왕성하며(Nakai, 1927; 최문길과 정성호, 1992), 해발고가 높아질수록 성장량이 낮아지는 것으로 보고하였다(강호상과 이돈구, 1998). 또한 이 나무는 토심이 깊고 비옥한 適潤性~弱濕性(평균습도 48%) 토양에서 잘 자라는 것으로 알려져 있다(刘佳, 1979).

음나무 분포형태는 치수 혹은 유묘 단계에서는 집단적으로 분포하지만 생존율이 저조하여 성목은 대부분 독립목 단위로 산생하는 것으로 보고된 바 있다(이돈구 등, 1996). 이와 같은 현상은 광환경이 음나무 치수생장에 밀접하게 작용하는 것으로 알려져 있는데(최문길과 정성호, 1992), 佐藤과 塚田은 음나무 치수의 생존율은 활엽수(음나무)의 수관하(photosynthesis active radiation=15%)보다는 침엽수(*Abies sachalinensis*)의 수관하(PAR=27%)에서 높았다고 보고하였다. 藤村 등(1990)은 1년 생 이상의 음나무 치수는 상대일사량 5% 이상의 광량에서 단기간 생존할 수 있는 것으로 보고하였다.

또한 음나무 치수의 저조한 생존율은 음나무가 정아우세 현상이 강하기 때문에 피압에서도 수고 생장이 매우 빠르지만 줄기와 가지 등 비동화기관량에 대한 상대적인 엽량이 적고, 타 수종에 비해 가지형성이 불충분하기 때문에 수체균형(樹體均衡)이 붕괴되는 것으로 보고하였다(川崎과 橋場, 1981; 菊澤과 齋藤, 1978; 茂田과 藤本, 1981). 그 외 佐藤(1998)는 피압, 건조, 식해(食害), 균해(菌害) 등에 의한 것으로 보고한 바 있다.

3. 군집구조

식생에 관한 자연과학적 연구는 Humboldt(1769-1856)가 범칙과학으로 정립한 이래 식생학으로서 식생과 군락의 질서·범칙성을 연구하는 생태분야의 하나로 발전하였다(鈴木 등, 1985). Muller-Dombois와 Ellenberg(1974), Whittaker(1962, 1965)는 식생학 연구경향을 식생·군락의 상관(physiognomy)에 착안한 흐름과 종 조성의 상이에 중점을 두는 두 가지 방향을 지적하였다. 그리고 오늘날의 식생 연구법은 계층의 구조, 군락의 안정성, 입지 조건과의 관계 등을 도입한 다섯 가지 방법으로 나뉘어 지지만 최근에는 PC를 이용한 새로운 방식도 전개되고 있어 다양화되고 있다. 식물군집에 관한 연구는 Curtis와 McIntosh(1951)의 종간의 양적인 관계를 중요시하며, 상대밀도, 상대피도, 상대빈도를 이용한 상대우점도를 중요치로서 산림군집내 구성종간의 우열(優劣)의 비율을 나타낼 수 있다. Veno(1976)는 군집의 안정성에 관한 척도로서 종다양성을 해석하기 위하여 종다양도, 균재도, 우점도에 의하여 분석하였다. Monk 등(1969)은 온대 활엽수림은 일반적으로 교목상층, 관목층, 초본층으로 구분할 수 있으며, 식생층위별 조사구 면적이 상이하더라도 식생층위별 종다양도를 산출한 자료에 의하여 군집전체의 종 다양도의 특성을 설명할 수 있다고 하였다.

McIntosh(1967)는 종다양도에 의해 자연식생군집 또는 인위식생군집을 해석할 수 있으며, 생태적 천이과정을 분석하는데 중요한 요인으로 군집의 안정성, 물질생산량 식생의 생태적 지위(ecological niche), 경쟁관계 등을 분석할 수 있다고 하였다. Leps와 Starsa(1989)는 식생의 천이과정에서 종다양도는 초기에는 증가하는 반면에 후기에는 점차 감소하는 경향을 보인다고 하였다. Smith와 Huston(1989)은 식물군집 구조의 분석으로 환경조건, 식생밀도, 군집의 크기, 종의 분포, 천이과정, 유사성, 양료순환 등의 현상을 파악하였다.

음나무림은 전형적인 이령혼효림으로 알려져 있으며(황석인과 정현관, 1997), 송호경 등(1992)은 TWINSpan과 DCCA에 의한 강원도 중왕산의 산림군집 분석결과 8그룹으로 구분되었는데, 그 중 신갈나무-음나무 군집은 해발고가 높고 Ca⁺⁺, C.E.C., Mg⁺⁺, 전질소 등의 양료가 많은 곳에 분포하는 것으로 보고하였다. 또한, 가호상과 이돈구(1998)는 상기 지역의 음나무림에서 음나무와 출현빈도가 높은 수종은 신갈나무, 고로쇠, 당단풍, 까치박달 등과 같이 능선이나 사면에 주로 분포하는 수종들과 함께 분포하며, 성목림은 대부분 비옥한 입지에 분포하고 있지만 치수림의 경우에는 산불이나 임도 건설 등과 같은 교란지에 많이 나타난 것으로 보고하였다.

제2절 자생군락의 구조와 입지환경

1. 재료 및 방법

가. 조사지

읍나무는 개체목 단위로 산재하여 분포하는 서식특성을 고려하여, 자연적으로 군락을 형성하고 있는 강원도 지역의 발왕산, 흥정산, 가리왕산 지역의 읍나무 군락을 조사지로 선정하였다. 조사지의 외형적 相觀(physiognimy)을 기준으로 상층 임관형에 따라서 구분한 다음, 인위적 간섭이 적어 보존상태가 양호한 임분을 선정하여 조사구(20×20m)를 설치하였다. 조사구는 발왕산 및 흥정산이 각각 15개소, 가리왕산이 13개소로 총 43개소를 설정하였다. 기후조건은 조사지역에 근접한 흥천, 정선 및 대관령 관측소의 최근 10년간 자료를 정리하였다.

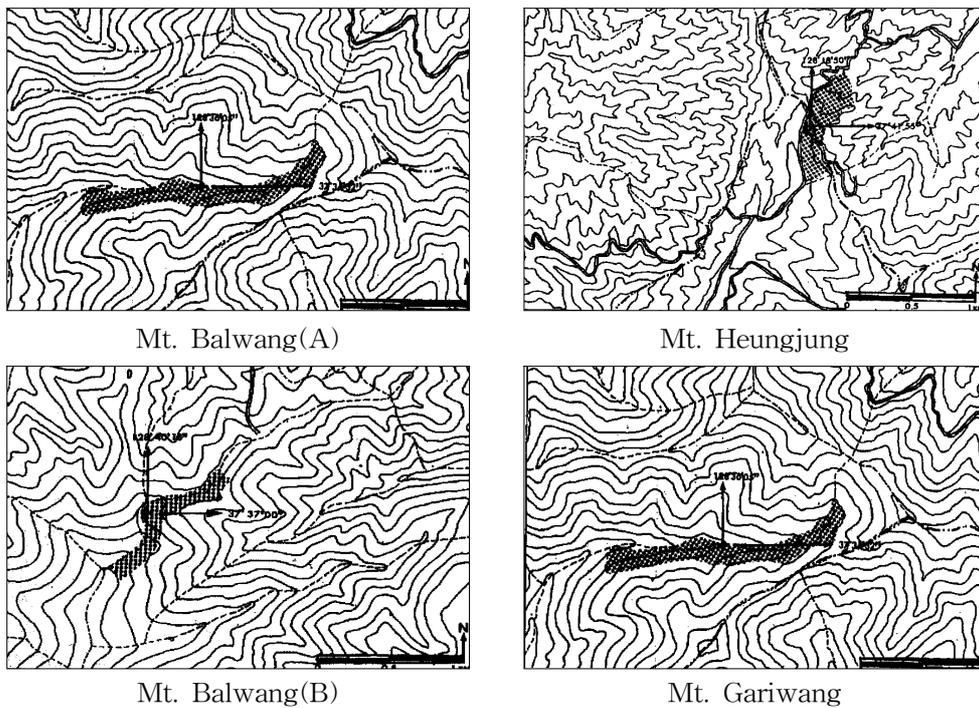


Fig. 4.2.1 Location map of surveying areas

나. 입지환경과 연륜생장 조사

음나무 자생지의 생육환경 분석을 위하여 조사지의 위도, 경도, 해발고, 방위(aspect) 및 경사(slope) 등을 조사하고, 토양의 이화학적 성질을 조사하였다. 조사지의 토양 유기물함량은 토양 0.3g을 0.2N $K_2Cr_2O_7$ 10ml을 넣고 200°C에서 기포발생 후 정확히 5분간 분해한 뒤 0.4N $FeSO_4(NH_4)_2SO_4$ 로 산화환원 적정을 하는 Tyurin 법으로 측정하였다. 토양 pH는 풍건한 토양 5g을 증류수 25ml를 넣고 30분간 진탕한 후 pH-meter(Orion 720A)를 이용하여 측정하였다.

양이온치환능력(C.E.C.)는 풍건한 5g에 1N- NH_4 OAc 용액을 통과시킨 후 알코올로 세척한 다음 NH_4^+ 포화토양을 Kjeldahl 증류장치에 의해 NH_4^+ 를 직접 정량하여 C.E.C.를 측정하였으며, 치환성 양이온 함량은 토양 5g에 1N- NH_4 OAc 25ml를 넣고 30분간 진탕한 후 No. 2여지로 여과한 후 ICP(GBC Integra XMP)를 이용하여 Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ 등을 측정하였다. 토양 내 총 질소 함량은 토양 1g에 분해촉진제(K_2SO_4 1.1g + $CuSO_4$ 33mg)와 H_2SO_4 4ml를 넣고 400°C에서 4시간 분해한 후 질소증류장치(Kjeltec 1035 Analyzer)를 이용하여 정량하였고, 유효인산(P_2O_5)분석은 Lancaster법을 이용하여 측정하였다(농촌진흥청, 1988).

암모니아태 질소와 질산태 질소는 토양 5g에 2M KCl 25ml로 침출하여 암모니아태 질소는 Indophenol Blue법으로 질산태 질소는 NO_3^- 를 Cadmium reactor에서 NO_2^- 로 환원하여 (N-(1-naphthyl) ethylenediamine dihydrochloride)로 발색하는 방법을 채택한 Auto Analyzer(ALPCHEM社)를 이용하여 정량하였다.

조사지에 서식하는 음나무의 성장상태를 조사하기 위하여 65년생 성목을 대상으로 가슴높이에서 목편을 채취하였다. 이 때 편심생장에 의한 오차를 줄이기 위하여 조사구의 경사면 방향과 반대방향에서 2개의 목편을 채취하였으며 채취한 목편은 해부현미경($\times 20$)을 이용하여 평균 연간 직경성장량을 측정하였다.

다. 식생조사 및 분석

식생조사는 1999년 8월~10월에 수행하였다. 각 조사구에 출현하는 목본식물을 교목층(8m이상), 아교목층(2~8m), 관목층(2m이하)으로 구분하여 층위별 울폐도를 조사하였다. 교목층과 아교목층은 개체수, 수고, 흉고직경 및 수관폭을, 관목층은 출현한 수종별로 개체수, 피도 등을 조사하였다.

각 조사구의 식생조사 결과 얻어진 자료에 의하여 구성수종의 상대적 중요도를

측정하는 척도로써 Curtis와 McIntosh(1951)의 방법에 따라 층위별 상대우점치 (Importance Value, IV)를 산출하였으며, 교목층, 아교목층, 관목층의 개체크기를 고려한 평균상대우점치(Mean Importance Value, MIV)를 산출하였다. 그리고 식생조사자료를 바탕으로 TWINSpan에 의한 classification(Hill, 1979)을 실시하였다.

음나무가 분포하는 산림식생내 주요 구성종들의 분포형을 Brower & Zar(1977)의 방법에 따라 Morista's index에 의하여 분석하였다.

$$\text{Morista's index} = \frac{n(\sum X^2 - N)}{N(N - 1)}$$

(단, n은 조사구, N은 대상종의 총개체수, X는 대상종의 조사구별 개체수)

종구성의 다양한 정도를 나타내는 종다양도는 Shannon의 종다양도(H')를 적용하였고, 종다양도의 최대가능치를 나타내는 최대종다양도(Maximum H')는 $H'_{\max} = \log S$ (S는 종수)를 사용하였다. 삼림내 구성종간의 개체수 분배정도, 즉 균재도(J')는 $J' = H' / H'_{\max}$ 의 식을 이용하였으며, 우점도는 $1 - J'$ 를 사용하였다(Brower 등, 1977). 또한 조사구내 출현한 수종중 상대적으로 빈도가 높은 주요 수종에 대하여 spss PC+를 이용하여 각 수종간 상관성을 분석하였다.

2. 결과 및 고찰

가. 음나무 자생지의 입지환경과 연륜생장

음나무 자생지의 입지환경 조사 결과 주요 분포범위는 해발고 780~1,300m 범위로, 강 등(1998)이 보고한 강원도 중왕산지역 음나무의 분포범위 해발고 1,000~1,200m 보다 넓은 분포를 나타냈다. 음나무림은 주로 북서, 북동 및 북향을 중심으로 경사도는 15~30°의 산복-사면에 위치하였다(Table 4.2.1). 조사지역의 모암은 현무암과 퇴적암으로 구성되어 있으며, 토양은 부식토가 많은 사질양토로 토심이 중이상으로 비교적 깊고 수분 함량이 많았다. 최근 10년간(1990~1999)의 기상자료에 의하면 홍천 년평균온도 6.02℃, 년평균강수량은 1,095mm, 정선 년평균 온도 6.30℃, 년평균강수량 1,330mm 그리고 대관령지역은 년평균온도 6.32℃, 년평균강수량 1,932mm, 1월 최저 평균기온 -13.0℃, 8월 최고 평균기온 23.3℃로 나타나 냉온대 낙엽활엽수림대의 기후적 특성을 나타내고 있었다.

조사지 토양의 이화학적특성 조사 결과(Table 4.2.2), 토양pH는 5.81(± 0.05)로 우리나라 산림토양의 평균치 5.5(이, 1981)보다 높은 값으로 비교적 중성에 가까운 토양이었다. 유기물함량은 9.64(± 0.48)% 로 산림토양중 비교적 유기물함량이 높은 谷間崩積土(4.54 \pm 2.97)보다 높았지만, 지리산 박달나무림(안과 이, 1998) 12.3~13.1% , 칠갑산 굴참나무림 (고와 임, 1997)의 21.5%보다는 낮았다. 토양의 保肥力을 나타내는 양이온 치환용량(C.E.C.)은 전체 조사지 평균 22.3(± 0.97 me/100g)으로 점봉산 신갈나무림(김과 김, 1995) 8.7~12.7me/100g, 온대남부지역의 황칠나무림(김 등, 2000) 4.62~19.0me/100g 등 보다 비교적 높은 값을 나타내고 있다. 치환성 염기는 $Ca^{++} > Mg^{++} > K^{+}$ 순으로 각각 4.83(± 0.53), 0.60(± 0.05), 0.45(± 0.03) me/100g이었는데 비교적 적윤지성을 나타내는 가래나무림(김 등, 1992) 7.8, 2.0, 0.7 me/100g에 비해 낮은 값이었다.

조사지의 토양 이화학적 성 중에서 유기물, 전질소, Ca^{++} , Mg^{++} , Na^{++} 의 함량과, C.E.C 가 가리왕산, 발왕산, 흥정산 순으로 유의한 차이를 나타냈는데(Table 4.2.2), 이 차이는 지역별 연륜 성장량과 유사한 경향을 보였다. 이러한 점을 고려하면 토양의 유기물, 전질소, Ca^{++} , Mg^{++} , Na^{++} 의 함량과, C.E.C가 생장에 중요 요인으로 작용하는 것으로 추측된다.

Table 4.2.1. Description of the physical features and the stratum for each plot in the *Kalopanax septemlobus* community in Mt. Hungjung, Mt. Gariwang and Mt. Balwang.

Survey site	Mt. Hungjung														
Site No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Altitude(m)	965	960	950	940	935	920	855	845	830	825	820	830	915	885	845
Aspect	N70W	N10W	N60W	N60W	N50W	N30W	N30W	N30E	N60W	N40E	W	E	N	N30W	N45E
Slope(°)	15	15	20	20	20	15	25	25	30	20	25	25	30	25	15
Height of canopy(m)	11	12	12	12	13	13	12	14	13	12	13	13	10	12	13
Mean DBH of canopy(cm)	20	25	25	22	20	25	20	20	20	20	22	20	20	20	20
Cover of canopy(%)	20	50	50	50	60	50	40	40	40	40	40	50	40	40	40
Height of subcanopy(m)	6	7	7	6	8	8	7	8	8	8	9	8	8	8	8
Mean DBH of subcanopy(cm)	8	7	8	8	8	10	6	6	8	6	7	10	8	6	8
Cover of subcanopy(%)	60	40	40	40	40	50	40	40	50	50	40	40	40	40	40
Height of shrub(m)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.8	0.6	0.6	0.6	0.8	0.7	0.7
Cover of shrub(%)	30	40	40	30	50	50	50	70	60	70	60	60	60	60	60

Table 4.2.1. 계속

Survey site	Mt. Gariwang												
Site No.	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Altitude(m)	970	985	990	980	970	975	975	980	985	990	970	985	1045
Aspect	S30E	S30W	N	N30E	N30E	N30E	N30E	N	N	N	N	N30E	E
Slope(°)	20	20	15	15	15	15	15	20	15	15	15	15	15
Height of canopy(m)	13	12	12	11	12	11	15	13	14	15	14	14	14
Mean DBH of canopy(cm)	18	20	22	18	30	20	30	25	25	25	30	25	30
Cover of canopy(%)	40	40	50	40	60	50	40	50	60	60	50	50	50
Height of subcanopy(m)	6	5	7	5	4	5	6	5	6	7	7	5	8
Mean DBH of subcanopy(cm)	8	6	8	6	5	7	7	7	7	8	8	7	8
Cover of subcanopy(%)	40	40	50	50	40	40	60	40	50	50	60	60	40
Height of shrub(m)	0.5	0.5	0.6	0.5	0.4	0.3	0.4	0.5	0.6	0.3	0.5	0.3	0.5
Cover of shrub(%)	50	60	50	50	60	60	60	60	60	60	60	50	60

Table 4.2.1. 계속

Survey site	Mt. Balwang														
Site No.	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
Altitude(m)	935	950	985	985	1000	1035	1040	1095	995	985	780	1300	1215	1185	975
Aspect	S35W	S40W	S60W	S80W	S45W	W	W	E	N30E	N60E	S	E	E	N60E	S60E
Slope(°)	20	25	25	20	25	30	20	25	25	25	20	15	25	25	20
Height of canopy(m)	13	14	12	13	12	13	12	10	13	14	13	11	13	14	12
Mean DBH of canopy(cm)	20	25	20	25	26	30	25	26	25	35	20	30	35	35	30
Cover of canopy(%)	60	50	50	40	40	50	50	50	40	40	60	50	40	40	50
Height of subcanopy(m)	5	4	5	6	6	6	5	5	6	6	5	6	5	5	6
Mean DBH of subcanopy(cm)	6	5	4	7	5	5	6	7	7	7	5	8	7	6	8
Cover of subcanopy(%)	30	50	50	40	40	40	30	40	30	40	30	40	40	50	40
Height of shrub(m)	0.5	0.6	0.5	0.4	0.7	0.5	0.7	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.7	0.7	0.5
Cover of shrub(%)	60	60	60	70	60	50	60	50	70	50	60	60	40	50	50

Table 4.2.2. Chemical properties of soil in the studied districts

District	No. of plot	Organic Matter (%)	Total nitrogen (%)	NH ₄ -N (ppm)	NO ₃ -N (ppm)	pH H ₂ O (1:5)	P ₂ O ₅ (ppm)	Exchangeable cation (me/100g)				C.E.C. (me/100g)
								Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺⁺	
Mt Heungjeong	15	6.83±0.58 ^b	0.20±0.02 ^c	12.68±0.53 ^a	4.57±0.24 ^a	5.79±0.06 ^a	15.27±1.70 ^a	3.16±0.52 ^b	0.36±0.03 ^c	0.39±0.03 ^a	0.06±0.00 ^b	18.25±0.97 ^c
Mt. Balwang	13	9.97±0.90 ^a	0.29±0.03 ^b	15.51±3.10 ^a	6.42±2.39 ^a	5.80±0.12 ^a	19.80±4.23 ^a	3.66±0.50 ^b	0.59±0.06 ^b	0.43±0.05 ^a	0.08±0.00 ^a	22.43±1.57 ^b
Mt. Gariwang	15	9.18±0.75 ^a	0.39±0.04 ^a	19.91±3.11 ^a	10.06±4.17 ^a	5.84±0.10 ^a	20.23±3.6 ^a	6.60±1.41 ^a	0.88±0.11 ^a	0.53±0.07 ^a	0.08±0.00 ^a	26.85±1.73 ^a
Total	43	8.63±0.48	0.29±0.02	15.44±1.46	6.91±1.51	5.81±0.05	18.35±1.87	4.38±0.53	0.60±0.05	0.45±0.03	0.07±0.00	22.30±0.97

* Different letters within a row show significant differences between districts at the p<0.05 level by Duncan's multiple range test. (means±se).

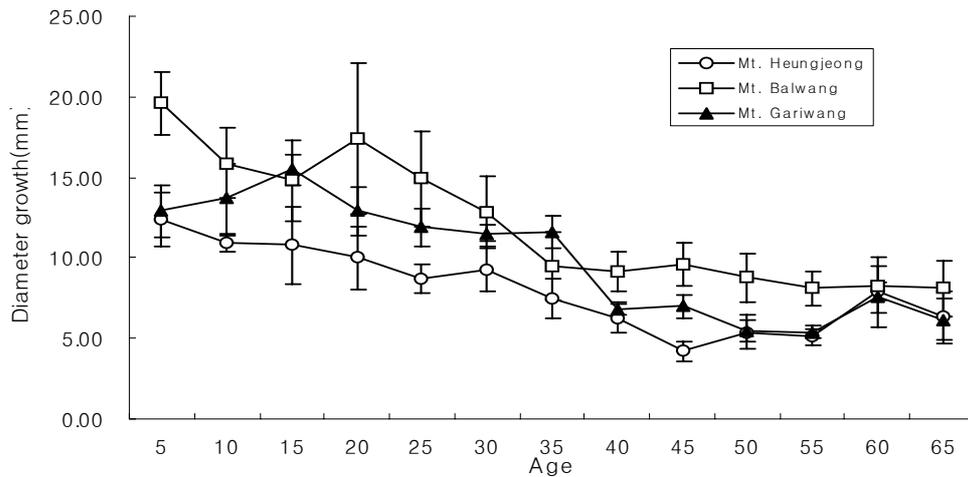


Fig. 4.2.3. Annual mean DBH increment of 65years old *K. septemlobus* growing on each area. (means±se, n=5).

음나무의 평균 연륜 성장량은 1.60~2.41mm/year 이었으나, 초기 20년간의 성장량은 평균 성장량 보다 컸으나, 그 후는 계속적으로 감소하는 경향을 나타냈다(Fig. 4.2.3). 지역에 따라서는 발왕산이 2.41mm/year로 가장 높고, 가리왕산 1.98mm/year, 흥정산 1.60mm/year 순으로 성장량을 나타냈다. 이런 점으로 보아 발왕산 지역이 다른 2개 지역에 비하여 좋은 성장을 나타냄을 알 수 있었다.

2. 식생구조 분석

음나무 자생지의 총 43개 조사구별 vegetational data matrix의 정량적 측정치를 TWINSpan으로 분석한 결과는 Fig. 4.2.4 와 같다. 주요 수종의 평균 상대우점치에 따라 A그룹 발왕산지역, B그룹 흥정산지역 그리고 C그룹 가리왕산 지역으로 나누어졌으며, 다시 A그룹에는 4개의 소그룹으로, B그룹에서는 가리왕산 지역의 19번 plot 를 포함한 5개의 소그룹으로 분리되었으며, C그룹에서는 5개의 소그룹으로 구분되었다. 이와 같은 결과는 이들 조사지역의 지리적 거리와 유사한 생육환경과 연관되어 그룹되는 경향으로 동일집단내의 지위가 지역간의 지위보다 더 동질적인 것으로 생각된다.

일반적으로 TWINSpan에 의해 군집이 분리될 때 토양습도와 해발고(이 등, 1989 ; 이 등, 1990a), 사면(이 등, 1990b), 산불(Allen 등, 1988), 해발고와 사면

(Webster,1961 ; Katagiri&Tsutsumi, 1978 ; 박 등, 1996 ; 이 등, 1996) 등의 환경인자가 많은 영향을 끼치는 것으로 보고된 결과로 볼 때 본 연구에서 지역간 TWINSPAN에 의한 군집분리에 있어서도 환경인자가 많은 영향을 미치는 것으로 생각된다. 또한 TWINSPAN에 의한 군집분리 내용을 토대로 주요 출현수종에 대한 수관층위별 상대우점치를 분석한 결과는 Table 4.2.3과 같이 3개 조사지역에서 출현한 목본식물은 교목층 20종, 아교목층 52종 그리고 관목층 56종으로 총 75종이 출현하였다.

발왕산 지역(군집A)은 음나무-신갈나무-고로쇠 군집으로 총 55종이 출현하였다. 교목층에서 음나무의 상대우점치는 58.83%으로 우점 하였으며, 신갈나무 21.34%, 느릅나무 3.56%, 고로쇠나무 2.33%순으로 나타났으며, 아교목층에서는 고로쇠나무 15.00%, 피나무 10.12%, 신갈나무 9.05%, 음나무 8.40%의 순으로 출현했고, 관목층에는 생강나무 15.21%, 작살나무 12.04%, 물참대 9.55%, 고로쇠나무 7.53%, 음나무 5.28% 순으로 나타났으며, 이 지역의 관목층에서 음나무 치수가 다른 지역에 비해 다수 출현하였다.

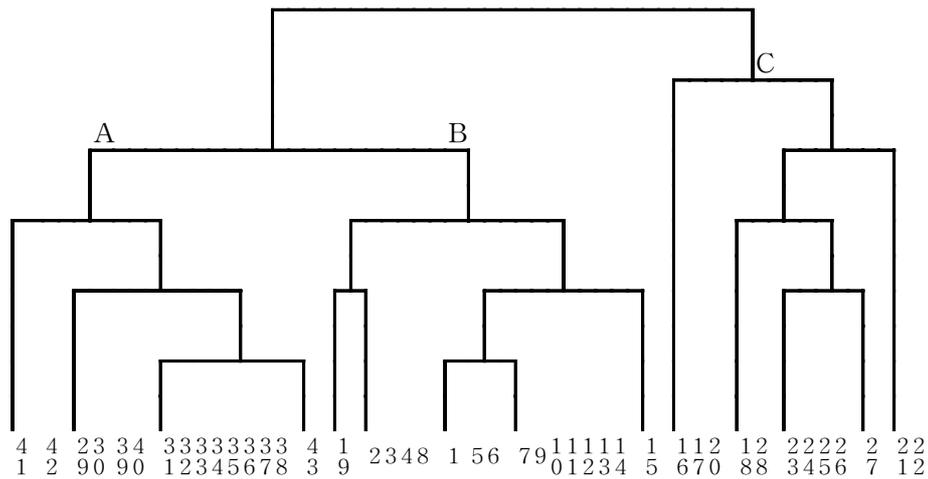


Fig. 4.2.4. The dendrogram of TWINSPAN stand classification of forty-three plots in *Kalopanax septemlobust* communities of Mt. Heungjeon, Mt. Balwang, and Mt. Gariwang.

홍정산 지역(군집B)은 외형적 상관으로 볼 때 음나무-신갈나무-피나무 군집으로 조사지역에 출현하는 종수는 총 44종이었다. 교목층에서 음나무의 상대우점치(I.V)는 37.13%, 신갈나무 33.17%로 우점하고 있었으며, 느릅나무 7.67%, 피나무 5.13%순으로

나타났으며, 아교목층에서는 피나무 20.24%, 음나무 17.64%, 신갈나무 14.01%순으로 출현했다. 관목층에서는 당단풍 17.27%, 피나무 13.61%, 생강나무 12.90% 순으로 나타났으나 음나무는 0.08%로 출현 빈도가 매우 낮았다.

가리왕산 지역(군집C)은 음나무-거제수나무-신갈 군집으로 총 42종이 출현하였으며, 아교목층에서 음나무의 상대우점치는 49.19%, 거제수나무 20.83%, 신갈나무 18.22%순으로 나타났으며, 아교목층에서는 신갈나무 15.88%, 음나무 13.95%, 고로쇠 11.44%, 거제수나무 11.30% 등이 출현했고, 관목층에는 싸리나무 8.08%, 국수나무 7.84%, 신갈나무 7.11%, 당단풍 6.66%으로 나타났으나 음나무는 관목층에서 나타나지 않았다.

조사지역 전체를 통하여 보면 음나무, 신갈나무, 피나무, 고로쇠나무, 느릅나무, 층층나무 등은 상대우점치가 높게 나타났으며, 전지역에서 층위별 공통적으로 출현하는 종이였다.

Table 4.2.3. Impotence value(IV) and mean impotence value(MIV) of woody species for each group.

Tree species	Mt. Hungjung				Mt. Kariwang				Mt. Balwang				common name
	TL*	SL	HL	MIV	TL	SL	HL	MIV	TL	SL	HL	MIV	
<i>Pinus densiflora</i>	1.35	-	-	0.68	-	-	-	-	1.96	0.61	-	1.18	소나무
<i>Abies holophylla</i>	-	2.49	-	0.83	-	-	-	-	0.70	2.60	1.58	1.48	전나무
<i>Populus davidiana</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.89	-	0.63	사시나무
<i>Corylus heterophylla</i> var. <i>thunbergii</i>	-	-	3.80	0.63	-	0.39	0.78	0.26	-	1.28	2.32	0.82	개암나무
<i>Salix hallaisanensis</i>	-	-	-	-	-	-	0.39	0.07	-	-	-	-	떡버들
<i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japonica</i>	7.67	2.23	0.85	4.76	1.14	-	-	0.57	3.56	6.83	5.37	5.28	느릅나무
<i>Fraxinus sieboldiana</i>	-	0.13	0.23	0.08	-	1.76	-	0.59	-	-	-	-	쇠물푸레나무
<i>Platycarya strobilacea</i>	1.28	-	-	0.64	-	-	-	-	-	-	-	-	굴피나무
<i>Juglans mandshurica</i>	3.60	4.47	-	3.29	-	1.30	-	0.43	0.87	0.99	-	0.77	가래나무
<i>Betula costata</i>	-	1.05	-	0.35	20.83	11.30	1.23	14.32	-	0.30	-	0.10	거제수나무
<i>B. ermani</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	0.64	2.27	-	1.08	사스레나무
<i>B. schmidtii</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.29	-	0.10	박달나무

Tree species	Mt. Hungjung				Mt. Kariwang				Mt. Balwang				common name
	TL*	SL	HL	MIV	TL	SL	HL	MIV	TL	SL	HL	MIV	
<i>B. davurica</i>	1.10	0.64	-	0.76	-	-	-	-	2.22	2.22	-	1.85	물박달나무
<i>Alnus japonica</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.64	-	0.21	오리나무
<i>Carpinus cordata</i>	-	0.94	0.62	0.42	-	5.23	3.45	2.32	-	2.27	1.70	1.04	까치박달나무
<i>C. laxiflora</i>	-	-	-	-	-	-	1.17	0.20	-	0.09	-	0.03	서어나무
<i>Quercus variabilis</i>	-	-	-	-	1.34	-	-	0.67	-	-	-	-	굴참나무
<i>Q. mongolica</i>	33.17	14.01	1.29	21.47	18.22	15.88	7.11	15.59	21.34	9.05	0.72	13.81	신갈나무
<i>Ulmus laciniata</i>	-	0.63	4.67	0.99	1.25	3.18	-	1.69	-	-	-	-	난티나무
<i>Morus bombycis</i>	-	0.63	0.16	0.24	-	-	-	-	-	1.97	5.37	1.56	산뽕나무
<i>Berberis koreana</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.10	0.34	0.09	매자나무
<i>Magnolia sieboldii</i>	-	4.37	10.26	3.17	-	1.98	4.07	1.34	0.85	2.53	3.71	1.89	함박꽃나무
<i>Lindera obtusiloba</i>	-	0.11	12.90	2.19	-	1.46	5.32	1.37	1.64	3.94	15.21	4.67	생강나무
<i>Deutzia parviflora</i>	-	-	0.43	0.07	-	-	-	-	-	-	0.31	0.05	말발도리나무
<i>Sorbaria sorbifolia`stellipila</i>	-	-	0.31	0.05	-	-	-	-	-	-	-	-	개취땅나무

Tree species	Mt. Hungjung				Mt. Kariwang				Mt. Balwang				common name
	TL*	SL	HL	MIV	TL	SL	HL	MIV	TL	SL	HL	MIV	
<i>Stephanandra incisa</i>	-	-	7.65	1.28	-	-	7.84	1.31	-	-	-	-	국수나무
<i>Deutzia glabrata</i>	-	-	-	-	-	-	5.95	0.99	-	2.23	9.55	2.34	물참대
<i>Pyrus pyrifolia</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.10	-	0.03	돌배나무
<i>Amelanchier asiatica</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	0.42	0.11	0.57	0.34	채진목
<i>Pourthiaea villosa</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.10	2.53	0.46	윤노리나무
<i>Prunus padus</i>	-	-	-	-	-	0.78	1.02	0.43	-	-	-	-	귀룽나무
<i>P. sargentii</i>	-	-	-	-	-	0.49	-	0.16	-	0.64	-	0.21	산벚나무
<i>Lespedeza maximowiczii</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.10	-	0.03	조록싸리
<i>L. bicolor</i>	-	-	2.02	0.34	-	-	8.08	1.35	-	-	4.59	0.77	싸리
<i>Amorpha fruticosa</i>	-	-	-	-	-	-	4.04	0.67	-	-	-	-	죽제비싸리
<i>Zanthoxylum schinifolium</i>	-	-	-	-	-	0.38	1.12	0.31	-	-	-	-	산초나무
<i>Maackia amurensis</i>	0.69	2.10	0.16	1.07	-	-	-	-	-	4.75	0.80	1.72	다릅나무
<i>Rhus chinensis</i>	-	-	0.08	0.01	-	1.24	2.63	0.85	-	-	-	-	붉나무
<i>R. trichocarpa</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.11	-	0.04	개웃나무

Tree species	Mt. Hungjung				Mt. Kariwang				Mt. Balwang				common name
	TL*	SL	HL	MIV	TL	SL	HL	MIV	TL	SL	HL	MIV	
<i>Phellodendron amurense</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.69	-	0.23	황벽나무
<i>Euonymus sachalinensis</i>	-	-	-	-	-	0.85	-	0.28	-	0.43	1.47	0.39	회나무
<i>E. macroptera</i>	-	1.01	2.69	0.79	-	1.24	2.34	0.80	-	-	-	-	나래회나무
<i>Celastrus orbiculatus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.34	0.06	노박덩굴
<i>Tripterygium regelii</i>	-	-	2.14	0.36	-	-	0.48	0.08	-	-	0.69	0.12	미역줄나무
<i>Staphylea bumalda</i>	-	-	0.43	0.07	-	-	-	-	-	0.84	1.25	0.49	고추나무
<i>Acer ginnala</i>	-	-	-	-	-	0.37	-	0.12	-	-	-	-	신나무
<i>A. mono</i>	2.07	2.20	1.24	1.98	2.78	11.44	4.28	5.92	2.33	15.00	7.53	7.42	고로쇠나무
<i>A. ukurunduense</i>	-	0.24	-	0.08	-	-	-	-	-	-	-	-	부계꽃나무
<i>A. barbinerve</i>	-	-	-	-	-	1.79	1.13	0.79	-	-	-	-	청시닥나무
<i>A. pseudo-sieboldianum</i>	-	8.02	17.27	5.55	1.33	7.96	6.66	4.43	-	3.37	3.98	1.79	당단풍
<i>A. triflorum</i>	-	0.52	0.38	0.24	-	-	-	-	0.41	1.66	1.06	0.94	복자기
<i>Tilia amurensis</i>	5.13	20.24	13.61	11.58	-	1.96	2.14	1.01	1.12	10.12	5.28	4.82	피나무
<i>Alangium platanifolium</i> var. <i>macrophyllum</i>	-	-	1.09	0.18	-	0.49	4.38	0.89	-	0.18	2.01	0.40	박취나무

Tree species	Mt. Hungjung				Mt. Kariwang				Mt. Balwang				common name
	TL*	SL	HL	MIV	TL	SL	HL	MIV	TL	SL	HL	MIV	
<i>Kalopanax septemlobus</i>	37.13	17.64	0.08	24.55	49.19	13.95	-	29.25	58.83	8.40	0.38	32.28	음나무
<i>Aralia elata</i>	-	-	3.37	0.56	-	0.39	4.05	0.81	-	0.17	-	0.06	두릅나무
<i>Cornus kousa</i>	-	0.26	0.29	0.14	-	0.49	-	0.16	-	-	-	-	산딸나무
<i>C. controversa</i>	4.49	8.44	1.42	5.30	1.34	10.57	4.83	5.00	0.47	3.84	0.92	1.67	층층나무
<i>Rhododendron mucronulatum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.31	0.05	진달래
<i>R. yedoense</i> var. <i>poukhanense</i>	-	-	3.82	0.64	-	-	-	-	-	0.19	-	0.06	산철쭉
<i>R. schlippenbachii</i>	-	-	0.29	0.05	-	-	-	-	-	-	-	-	철쭉나무
<i>Symplocos chinensis</i> var. <i>pilosa</i>	-	-	1.71	0.29	-	0.40	4.32	0.85	-	0.55	1.52	0.44	노린재나무
<i>Styrax obassia</i>	-	0.76	0.46	0.33	-	1.40	-	0.47	-	0.58	-	0.19	쪽동백
<i>Fraxinus mandshurica</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	1.98	1.95	1.03	1.81	들메나무
<i>F. rhynchophylla</i>	2.18	6.82	0.42	3.43	2.60	1.56	-	1.82	0.70	3.70	2.28	1.96	물푸레나무
<i>Ligustrum obtusifolium</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.15	0.03	쥐똥나무
<i>Syringa reticulata</i> var. <i>mandshurica</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.10	-	0.03	개회나무
<i>Callicarpa japonica</i>	-	-	0.19	0.03	-	-	1.21	0.20	-	0.38	12.04	2.13	작살나무

Tree species	Mt. Hungjung				Mt. Kariwang				Mt. Balwang				common name
	TL*	SL	HL	MIV	TL	SL	HL	MIV	TL	SL	HL	MIV	
<i>Sambucus williamsii</i> var. <i>coreana</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.19	1.82	0.37	딱총나무
<i>Viburnum erosum</i>	-	-	0.23	0.04	-	-	5.15	0.86	-	-	-	-	덜꿩나무
<i>V. dilatatum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.57	0.10	가막살나무
<i>Abelia mosanensis</i>	-	-	-	-	-	-	0.33	0.06	-	-	1.03	0.17	땡강나무
<i>Weigela subsessilis</i>	-	-	0.31	0.05	-	-	3.24	0.54	-	0.37	2.27	0.50	병꽃나무
<i>Lonicera maackii</i>	-	-	0.31	0.05	-	-	-	-	-	0.18	2.89	0.54	괴불나무
<i>Sasa borealis</i>	-	-	2.91	0.49	-	-	-	-	-	-	-	-	조릿대
<i>Euonymus alatus</i> for. <i>ciliato-dentatus</i>	-	-	-	-	-	-	1.34	0.22	-	-	-	-	회잎나무

* ; TL: tree layer, SL : subtree layer, HL : herb layer, MIV : mean importance value

3. 음나무의 층위별 분포형태

음나무가 자생하는 3개 집단에서 출현빈도와 중요치가 비교적 높은 6수종에 대하여 Morista's index를 조사한 결과는 Table 4.2.4와 같다. 음나무의 경우, Morista's index가 교목층, 아교목층 및 관목층이 각각 0.9629, 2.9570, 20.5419로 나타나 교목층은 임의 분포하는 경향을 보였으나 아교목층과 관목층은 집중분포하는 것으로 나타났다. 특히 관목층은 전체 43개 조사구중 4개 조사구에서만 편중되어 집단으로 생육하고 있었는데 이러한 분포형태는 이 등(1996)이 강원도 중왕산지역의 음나무 치수 혹은 유묘는 집단적으로 분포하나 성목의 경우는 산생하여 분포하고 있다고 보고한 내용(이 등, 1996)과도 일치하고 있다. 그러나 대부분의 조사구에서 치수의 충분한 확보가 곤란하여 조사지역내 음나무림의 천연하종갱신은 어려울 것으로 생각된다. 이러한 결과 음나무는 특정 환경구배에 따라 집중되며, 임의로 또는 집중 분포하고 있어 내성 범위가 좁은 수종으로 판단된다. 또한 관목층의 경우 상층임관을 조성하는 성목들이 어릴 때는 나무 밑에서도 생육하지만 점차 커지면서 많은 햇빛을 요구하는 음나무에게는 종자의 발아 및 유묘의 생장에 장애조건으로 작용하기 때문에 타 수종과의 경쟁에서 밀려나 특정지역에 집중 분포하는 것으로 생각된다. 또한 음나무임분내의 신갈나무, 피나무, 느릅나무, 고로쇠나무, 층층나무 등의 Morista's index는 음나무의 관목층 20.5419보다 낮은 0.9463~8.8595 범위를 보였지만 음나무와 비교적 유사한 수관 층위별 분포형을 나타냈다.

Table 4.2.4. Moristas's Index showing distribution patterns for important species.

Species	Crown stories			Total
	Tree	Sub-tree	Shurb	
<i>Kalopanax septemlobus</i>	0.9629	2.9570	20.5419	24.4618
<i>Quercus mongolica</i>	0.9463	2.2212	8.8595	12.0270
<i>Tilia amurensis</i>	1.3068	1.1991	2.1200	4.6259
<i>Acer mono</i>	2.0526	2.0994	2.7950	6.9470
<i>Ulmus davidiana var.japonica</i>	1.3725	1.2632	7.1582	9.7939
<i>Cornus controversa</i>	2.2500	1.9838	6.7500	10.9838

4. 종다양성 분석

조사지역별, 층위별 출현종수와 Shannon의 종다양도, 최대종다양도, 균재도 및 우점도 등을 조사한 결과는 Table 4.2.5와 같다. 음나무가 분포하는 임분내에서의 종다양도는 발왕산지역 1.3992로 가장 높았고 가리왕산지역 1.3923, 흥정산지역 1.3124로 나타나 전체적으로 1.3124~1.3992 범위를 보여 대체적으로 3개 지역간에 큰 차이는 보이지 않았다. 이와 같은 종다양도의 범위는 강원지역 신갈나무림의 종다양도 0.7340~0.9368(장, 1996), 남해안지역의 해송림의 종다양도지수는 0.673~0.994(이, 1988), 황칠나무임분 0.8593~1.2073(김, 2000) 보다는 높았고, 비교적 양호한 입지조건에 분포하는 중부지방의 가래나무림(김 등, 1992) 0.9976~1.8056보다는 다소 낮은 값을 나타내었다.

출현종수에 의해 산출되는 최대종다양도(H'_{max})는 58수종이 출현한 발왕산지역 1.7634로 가장 높았으며, 흥정산지역 1.6532, 가리왕산지역 1.6335로 두 지역간에는 큰차이를 보이지 않았다. 또한 균재도는 상대적인 종의 다양도 즉, 1에 가까울수록 종별 개체수가 균일한 상태를 나타내는데 0.7935~0.8524의 범위로 임분이 여러 종에 의해 서로 경쟁이 심하게 이루어진 후 점차 균일한 상태로 접어들고 있는 것으로 생각된다. Whittaker(1956)는 우점도가 0.9 이상일 때는 1종에 의해, 0.3~0.7일 때는 2~3종에 의해, 그리고 0.3 이하일 때는 다수의 종이 우점종을 이루고 있다고 하였는데, 음나무림의 경우는 우점도의 범위가 0.1476~0.2065으로 몇몇 종에 의한 단순림을 이루지 않고 다수의 종에 의해 혼효되어 자생하고 있음을 알 수 있었다.

Table 4.2.5. Value of species diversity of woody plants in the studied communities.

Location	No. of Plots	No. of species	H' (shannon)	Simpson'	J' (evenness)	D' (dominance)	H' max
Mt.Hungjung	15	45	1.3124	14.3531	0.7938	0.2062	1.6532
Mt. Gariwang	13	43	1.3923	19.6375	0.8524	0.1476	1.6335
Mt. Balwang	15	58	1.3992	16.6540	0.7935	0.2065	1.7634

5. 유사도분석

3개 지역간의 유사도분석을 실시한 결과 Table 4.2.6과 같이 흥정산지역과 가리왕

산 지역 64.31, 흥정산지역과 발왕산지역 64.31로 나타났으며, 가리왕산지역과 발왕산 지역 64.54로 나타나 전체적으로 64.31~64.54 범위를 보였다. Buell 등(1966)은 유사도지수는 집단간에 20% 미만의 값일 때는 서로 이질적인 집단이고, 80% 이상일 때는 서로 동질적인 집단이라고 하였다. 이와같은 결과로볼 때 3개지역간 음나무집단에서 유사도 분석결과는 이들 군집은 완전한 동질적인 집단은 아니지만 비슷한 군집의 상태와 지위를 가진 식생의 연속성이 있는 것으로 판단되었다.

Table 4.2.6. Similarity indices between *Kalopanax septemlobus* communities.

Sites	Hungjung	Kariwang	Balwang
Mt. Heungjeong	100		
Mt. Gariwang	64.31	100	
Mt. Balwang	64.31	64.54	100

6. 종간 상관관계

음나무 자생지에서 출현 종간에 상관관계를 파악하기 위하여 전체 조사구 43개 중에서 5개조사구 이상 출현하는 30개 수종의 상대우점치를 이용하여 수종간 상관관계를 분석한 결과는 Table 4.2.7과 같다.

수종간 상관관계에 있어서 전나무는 사시나무, 물박달나무, 다릅나무와, 사시나무는 사스레나무와 사스레나무는 산뽕나무와, 느릅나무는 함박꽃, 개웃나무, 쪽동백나무 간에는 정의 상관 관계가 인정되었으며, 신갈나무는 피나무와 5%의 정의 상관관계가, 층층나무와 1%수준의 부의 상관, 복자기나무, 고로쇠나무와는 5%수준의 부의 상관관계를 나타내었다. 음나무의 경우는 사스레, 물참대, 까치박달나무, 들메나무와 낮은 정도의 양의 상관관계가 인정 되었으며, 노린재나무 1%수준의 부의 상관관계가, 쪽동백나무, 고로쇠나무, 나래회, 느릅나무에서 5%수준의 부의 상관 관계가 인정되었다.

Agnew(1961)는 산림은 다양한 수종과 환경의 상호작용에 의하여 유지되므로 단순한 수량적 측정에 의한 비교가 어려운 것은 수종에 따라서 유사한 생육지를 선호하거나 특정 생육지를 기피하는 경우 두수종간의 친화력, 반발력 또는 아무런 상관관계가 없는 경우도 있다. 정의 상관을 보이는 것은 생육공간을 공동으로 소유하는 수종군을 의미하며, 부의상관은 서로 다른 서식처를 가진 수종군을 의미한다. 따라서

음나무는 사스레, 물참대, 까치박달나무 그리고 들메나무와는 낮은 정도의 정의 상관 관계가 인정되어 이들 수종과 동일한 생태적 지위 갖는 것으로 생각되며, 노린재나무는 1%수준, 쪽동백나무, 고로쇠나무, 나래회나무, 느릅나무에서 5%수준의 부의 상관 관계가 인정되어 이들 수종과는 생태적 지위가 다른 것으로 생각된다.

Table 4.2.7. Correlation between all pair-wise combination of major woody species in kalopanax septemlobus communities of Mt. Heungjung, Mt. Gariwang and Mt. Balwang in Gangwon-do.

	pd	Ah	Pda	Ud	Jm	Bc	Be	Bd	Cco	Qm	Ui	Mb	Ms	Lo	Fr	Lb	Ma	Rj	Em	Ap	Ab	Aps	At	Ta	Kp	Cc	Rp	Sc	So	Fm		
Ah	-11																															
Pda	-.06	.47**																														
Ud	.27*	.00	-.04																													
Jm	-.11	-.12	-.08	.16																												
Bc	-.14	-.18	-.10	-.27	-.11																											
Be	-.03	-.11	-.06	-.12	.12	-.14																										
Bd	-.04	.40**	.78**	-.04	-.11	-.10	-.05																									
Cco	-.13	-.13	-.09	.28*	.10	.31*	.25	-.14																								
Qm	.06	.11	-.20	.07	-.04	-.22	-.02	-.33*	-.25																							
Ui	-.12	-.11	-.09	-.04	-.09	-.01	-.13	-.05	-.08	.09																						
Mb	.26*	.03	.19	.04	-.14	-.21	.50**	.16	-.21	.13	-.13																					
Ms	-.15	.01	-.08	.09	.01	-.35*	.01	.04	-.34*	.09	.38**	-.08																				
Lo	.12	-.16	.07	.26*	-.02	-.16	-.09	.17	-.27*	-.08	-.17	.19	-.12																			
Fr	.30*	-.16	.01	.06	-.15	-.03	.12	.02	-.03	-.16	-.05	-.51*	-.23	.61**																		
Lb	-.14	-.10	.20	-.06	-.16	-.07	-.13	.11	.08	-.16	-.09	.02	-.13	.13	-.09																	
Ma	-.15	.30*	.13	.13	-.12	-.29*	.02	-.02	-.34*	.08	-.20	.16	.22	.24	-.02	.23																
Rj	-.06	-.08	-.04	-.11	.02	.07	-.17	-.06	.08	.09	.72**	-.10	-.05	-.18	.07	-.11	-.13															
Em	-.13	.06	-.09	.07	-.14	-.04	-.14	-.06	.07	.23	.19	-.19	.08	-.14	-.24	.11	-.08	-.02														
Ap	.09	.01	-.04	-.06	-.15	-.06	.01	-.05	.03	-.27*	-.04	.28*	.23	-.06	.01	.11	.19	-.08	-.13													
Ab	-.06	-.08	-.04	.18	-.08	.07	-.06	-.02	-.04	.02	.23	-.09	.33*	-.09	.02	-.13	-.13	-.04	.06	-.09												
Aps	-.20	-.22	-.18	-.15	.29*	-.15	-.10	-.17	.22	.17	-.05	-.33*	-.01	-.25	-.39*	.25	-.24	.08	.41**	-.04	-.12											
At	-.03	-.10	-.05	-.12	.12	-.11	.20	.02	.46*	-.26*	-.07	-.03	-.05	-.19	.12	-.15	-.13	-.06	-.09	.11	-.05	-.05										
Ta	.08	.14	-.08	.13	-.04	-.39*	-.12	-.07	-.42*	.33*	-.05	-.13	.27*	.16	-.19	-.25	.09	-.21	.09	-.17	-.16	-.02	-.21									
Ks	-.15	-.02	.04	-.31*	-.19	.03	.21	-.03	.14	-.23	-.17	.08	-.31	.02	.16	-.14	.06	-.02	-.28*	-.30*	-.22	.29	.09	-.01								
Cc	-.10	-.21	-.16	-.09	.19	.21	-.15	-.01	.07	-.36*	-.17	-.12	-.09	-.18	-.12	.16	-.06	-.06	.16	.13	-.10	.25	-.03	-.17	-.01							
Rp	-.06	-.05	-.04	-.12	.14	-.11	-.17	-.06	-.13	.10	-.09	-.10	-.09	-.04	-.13	-.14	-.09	-.05	-.10	.14	-.05	.10	-.06	.36**	.01	.10						
Sc	.16	-.20	.02	-.19	-.12	.20	-.15	-.05	.10	.14	.04	-.13	-.21	.06	-.08	.39**	-.19	.07	-.01	.03	-.07	.32*	-.16	-.08	-.41*	-.12	.30*					
So	-.10	.04	.13	.03	-.04	-.06	-.10	.09	-.18	-.03	.52**	-.06	.34*	.02	.12	.18	-.11	-.07	.35*	-.10	.32*	-.05	-.08	-.00	-.27	-.09	-.05	.15				
Fm	-.00	-.08	-.04	-.12	.09	-.11	.14	-.06	.42*	-.21	-.09	-.02	-.15	-.18	-.14	-.14	-.13	-.05	-.10	.08	-.05	-.06	.97**	-.19	.14	-.10	-.05	-.12	-.07			
Bd	.10	-.18	-.01	.14	-.07	-.23	-.09	.23	-.34*	-.15	.10	.05	.31*	.05	-.06	-.27*	.05	-.15	-.04	-.20	.35**	.04	-.08	.07	-.16	.24	.26*	.15	.30*	-.16		

*.p<0.05,**.p<0.01 pd : *pinus densiflora*, Ah : *Abies holophylla*, Pda : *populus davidiana*, Ud : *ulmus davidisna* var. *japonica*, Jm : *juglans mandshurica*, Bc : *Betula costata*, Be : *Betula ermani*, Bd : *Betula davurica*, Cco : *Capinus cordata*, Qm : *Quercus mongolica*, Ui : *Ulmus trichocarpa*, Mb : *Morus bombycis*, Ms : *Magnolia sieboldii*, Lo : *Lindera obtusiloba*, Dg : *Deutzia glabrata*, Lb : *Lespedeza bicolor*, Ma : *Maackia amurensis*, Rj : *Rhus javanica*, Em : *Euonymus maeropterus*, Ap : *Acer pictum*, Ab : *Acer barbinerve*, Aps : *Acer pseudosieboldianum*, At : *Acer triflorum*, Ta : *Tilia amurensis*, Ks : *Kalopanax septemlobus*, Cc : *Cornus controversa*, Rp : *Rhododendron poukhanese*, Sc : *Symplocos chinensis* Druce var. *leucocarpa*, So : *Styrax obassia*, Fm : *Fraxinus mandshurica*, Fr : *Fraxinus rhynchophylla*

7. 개체군 생육동태

일반적으로 산림의 변화는 현재 나타나고 있는 식생자료를 이용하거나 계급의 크기를 이용한 정적분석(Static analysis)법을 이용하며(Austin, 1977), 시간의 경과에 따라서 조사지역의 음나무 개체군의 생육동태를 예측하기 위하여 흉고직경의 크기에 의한 분포상태를 조사한 결과는 Fig. 4.2.5 과 같다.

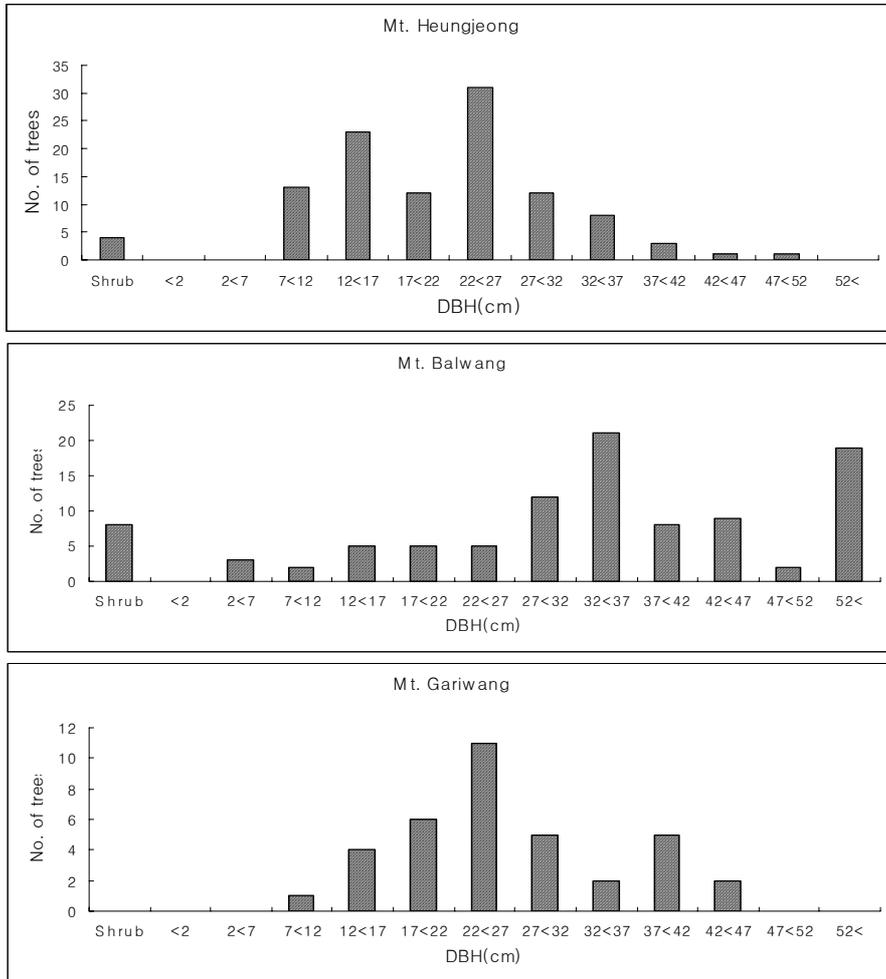


Fig. 4.2.5. Frequency distribution by DBH of *Kalopanax septemlobust* trees investigated in each studied area.

흉고직경 크기에 의한 분포유형은 앞으로 해당 군락의 지속성 유지 가능성과 식생의 천이에 중요한 정보를 제공 할 수 있다. 즉, 직경급의 모양이 역 J자형은 동령

림에서 경쟁이 일어나고 이령림의 경우에는 극상림의 경우로서 지속적으로 유지 될 수 있는 집단을 의미한다. 또한 정규분포형과 역 J자형이 공존할 경우, 역 J자형의 개체가 작을 경우 정규분포형 집단은 후자에 의하여 교체되어 천이가 진행 되는 것으로 보고되고 있다(Ford, 1975 ; Mohler 등, 1978 ; Barbour 등, 1980 ; 이 등, 1993 ; 배와 홍, 1993). 조사지의 음나무 직경분포의 크기는 흥정산 지역의 경우 22~27cm 범위가 31개체로 가장 많이 나타났고, 12~17cm범위에서도 23개체, 치수목 4개체가 출현하였으며, 가리왕산 지역은 22~27cm범위에서 11개체로 가장 많은 흉고직경급을 나타났으며 12~22cm범위 10개체, 27cm 이상 14개체가 출현하였으나 12cm이하 1본과 치수에서는 나타나지 않았다. 발왕산 지역은 32~37cm범위에서 21개체로 가장 많은 출현 빈도를 보였고 12~32cm범위에서 27개체, 37cm 이상 38개체가 출현하였으며, 12cm이하 5개체, 치수 8개체가 출현하였다. 이와 같은 결과를 종합하면 흥정산 지역의 경우는 유묘나 치수와 같은 어린 개체의 출현은 적으나 7~22cm 개체의 밀도가 높고 높은 직경급의 밀도가 낮은 정규분포를 보여 앞으로 지속적인 유지가 가능할 것으로 생각되며, 발왕산의 경우에도 소경목에서 대경목에 이르기까지 골고루 출현하여 음나무림의 지속적인 유지가 가능할 것으로 생각되나 가리왕산의 경우는 치수나 어린 개체가 출현이 되지 않고 중경급과 높은 직경급의 개체의 밀도도 높지 않아 앞으로 이 집단에서는 음나무 집단의 지속적인 유지가 어려울 것으로 생각된다.

제5장 집약 재배 기술 개발

제1절 종자의 저장 및 발아촉진법

1. 재료 및 방법

가. 공시재료

본 연구의 공시재료인 음나무 종자는 경기도 화성군 팔탄면에 자생하고 있는 음나무(50년생) 집단에서 열매가 완전히 성숙하여 검정색으로 변한 2000년 10월 15일에 채취하였다. 채취한 열매는 채취 즉시 건조되지 않도록 비닐봉지에 넣고 상온에서 과육을 썬 후 수선하여 충실한 종자만을 발아시험에 사용하였다. 발아시험에 사용된 모든 종자는 기본적으로 치상전에 Sodium hypochlorite 2%용액에 10분간 침종 소독한 후 멸균수로 3회 세척하였고, 치상은 Petri-dish에 여과지(Whatmann No. 2) 2매를 깔고 멸균수 8ml를 넣어 적습상태가 유지된 조건에서 각각의 처리당 100립씩의 종자를 3반복으로 하였으며, 조사 항목들에 대하여 기간별로 발아율과 발아 소요일수를 산출하였다.

나. 저장방법에 따른 개감특성

음나무 종자의 저장방법에 따른 개감특성 조사는 채종 후 상온에서 과육을 썬 후 수선하여 선별된 충실한 종자들을 상온건조저장, 냉장건조저장, 상온습사저장, 냉장습사저장 및 변온습사저장과 노천매장 등의 6가지 저장방법으로 처리한 후 4주째부터 2주 간격으로 조사를 실시하였다.

다. GA₃ 농도별 처리가 발아에 미치는 영향

GA₃ 농도별 처리가 음나무 종자의 발아에 미치는 영향을 조사하기 위하여 상기 방법에 의하여 선정된 종자를 6가지 저장방법별로 10주간 처리한 후 50, 100, 500, 1,000, 및 1,500mg/l 용액에 1시간 동안 침적시킨 종자와 무처리로 구분한 종자를 소독하고 25±2℃의 항온기에서 발아시험을 실시하여 발아율을 조사하였다.

라. 종자의 최적 발아온도

음나무 종자의 적정 발아 온도를 구명하고자 10주간 4℃에서 냉장습사 저장된 종자를 소독한 후 5, 10, 15, 20 및 25℃로 설정한 항온기에 치상시켜 발아율을 조사하였다.

마. 종자 채취시기가 발아에 미치는 영향

종자 채취시기별 발아특성을 조사하기 위하여 열매의 생장이 정지되는 것으로 판단되는 2000년 9월 20일부터 10일 간격으로(9월 30일, 10월 10일, 10월 20일, 10월 30일) 채취목의 개체간 변이를 고려하여 채취시기마다 여러 나무에서 부위별로 종자를 무작위로 채취하여 혼합하였다. 정선된 종자를 4℃에서 10주간 냉장습사저장시킨 후 소독하고 25±2℃의 항온기에 치상시켜 발아율을 조사하였다.

2. 結果 및 考察

가. 저장방법에 따른 개갑율

음나무 종자의 저장방법에 따른 개갑율은 Table 5.1.1과 같이 처리 후 4주까지는 모든 처리구에서 개갑현상이 관찰되지 않았으나, 처리 후 6주째에는 변온습사저장 8%, 냉장습사저장 6%, 노천매장 5%, 상온습사저장 3%의 개갑율을 보였다. 그러나, 상온건조저장과 냉장건조저장 처리구에서는 처리 후 12주째까지도 개갑현상이 나타나지 않았다. 처리 12주째에는 변온습사저장 82%, 냉장습사저장 80%, 노천매장 76%, 상온습사저장 42%의 개갑율을 보였으며, 변온습사저장 처리의 경우는 12주째부터 종자에서 유근이 발생하는 현상이 관찰되었다.

이와 같은 결과로 볼 때 음나무 종자는 채취 후 건조해질 경우 종자의 휴면이 타파되지 않는 것으로 판단되며, 그에 따라 상온건조저장과 냉장건조저장의 경우 개갑현상이 나타나지 않는 것으로 사료된다. 또한, 종자의 저장기간은 유근이 발생하기 이전인 10~12주가 가장 적합하다고 할 수 있는데 이것은 음나무 종자의 처리간 저장물질의 변화에 있어서 종자채취 직후에는 배유의 함수율이 높고 배가 완전한 형태를 갖추고 있지 않았으나, 1개월 저장하였을 때 하위자방의 유근 부위에서 배가 발달하기 시작하여 저장 3개월 후에는 배가 크게 성장하고 여기에서 유근과 자엽이 분화되었다고 보고한 黃勝澤 等(1997)의 연구결과와 유사한 경향을 나타낸 것이다.

Table 5.1.1. Effect of storage methods and periods on the split achene pericarp rate(%) for *K. septemlobus*.

Storage method	Periods of storage(Weeks)				
	4	6	8	10	12
Dry storage(room temp.)	0 a*	0 d	0 d	0 d	0 d
Dry cold storage(4°C)	0 a	0 d	0 d	0 d	0 d
Moist storage(room temp.)	0 a	3 c	16 c	28 c	42 c
Moist cold storage(4°C)	0 a	6 ab	48 b	70 b	80 ab
Moist storage(4°C ~ 25°C)	0 a	8 a	56 a	76 a	82 a
Cold stratification	0 a	5 b	49 b	68 b	76 b

* : Different letters indicate significant difference at the 5% level by Duncan's Multiple Range Test.

나. GA₃ 농도별 처리가 발아에 미치는 영향

앞서 밝힌 바와 같이 저온처리와 함께 GA₃ 및 Kinetin을 식물종자에 처리하였을 때 발아촉진 효과가 있다는 것은 여러 식물들을 대상으로 한 연구결과에서 보고된 바 있다. 본 연구에서는 GA₃ 농도별 처리가 음나무 종자의 발아에 미치는 영향을 조사하기 위하여 10주간 상온건조저장, 냉장건조저장, 상온습사저장, 냉장습사저장, 변온습사저장 및 노천매장 처리한 종자를 GA₃ 50, 100, 500, 1,000, 및 1,500mg/ℓ 용액에 1시간 동안 침적시킨 종자와 무처리로 구분한 종자를 소독한 후 25±2°C 항온기에 치상시켜 발아율을 조사하였다(Table 5.1.2).

Table 5.1.2. Effect of storage methods and GA₃ concentrations on the germination rate(%) for *K. septemlobus*.

Storage method	GA ₃ concentration(mg/ℓ)					
	0	50	100	500	1,000	1,500
Dry storage(room temp.)	0 c*	0 d	0 c	0 d	0 d	0 d
Dry cold storage(4°C)	0 c	0 d	0 c	0 d	0 d	0 d
Moist storage(room temp.)	42 b	38 c	40 b	42 c	41 c	44 c
Moist cold storage(4°C)	64 a	68 b	70 a	75 a	78 ab	74 b
Moist storage(4°C ~ 25°C)	66 a	74 a	70 a	76 a	80 a	78 a
Cold stratification	62 a	64 b	70 a	68 b	76 b	74 b

* : Different letters indicate significant difference at the 5% level by Duncan's Multiple Range Test.

그 결과, 변온습사저장 후 GA_3 1,000mg/ℓ 처리구에서 발아율 80%로 가장 높은 발아율을 나타내었으며, 냉장습사저장 78%, 노천매장 76%, 상온습사저장 41%의 발아율을 보였으나 상온건조저장과 냉장건조저장 처리구에서는 개갑특성 조사에서와 동일하게 발아현상을 관찰할 수 없었다. 전체적으로 상온건조저장과 냉장건조저장 처리구를 제외한 처리구별로는 GA_3 농도에 따른 발아율은 큰 차이를 나타내지 않았는데, 이와 같은 결과는 종자를 저온처리 하더라도 건조상태에서 저온저장 하게 되면 종자가 더욱 경실화 되어 발아가 곤란해진다는 김병우와 손기철(1990)의 연구결과와 유사한 경향을 나타낸 것이다.

이와 같이 변온습사저장된 음나무 종자들의 개갑율과 발아율이 높게 나타난 것은 佐藤創과 水井憲雄(1997)이 고온과 저온처리를 통해 음나무 종자의 발아촉진 시험을 실시한 결과 1개월간 5℃에 저장하고 25℃ 항온기에서 4개월간 처리하였을 때 발아율이 가장 높았으며, 25℃ 처리기간이 길어질수록 발아율도 증가한다는 연구결과 및 Vanstone과 Lacorix(1975)가 배의 미성숙과 휴면성을 지닌 *Fraxinus nigra* 종자의 중복 휴면을 타파하기 위해서 고온처리(21℃에서 18주)를 통해 배의 성숙을 유도하고 동시에 저온처리(4℃에서 18주)를 통해 배의 휴면타파를 유도하여야 한다고 보고한 연구결과와도 유사한 경향을 나타낸 것이다. 따라서, 이와 같은 연구결과를 종합하여 볼 때 음나무 종자의 발아에 있어서는 GA_3 농도별 처리효과 보다는 저장방법과 온도조건에 의한 영향이 보다 크게 작용하는 것으로 판단된다.

다. 종자의 최적 발아온도 구명

음나무 종자의 발아온도 수준에 따른 발아율을 조사하기 위하여 냉장습사저장 10주 처리된 종자를 치상하고 5~25℃까지 5℃간격으로 처리한 후 1주 간격으로 발아특성을 조사한 결과는 Fig. 5.1.1과 같다.

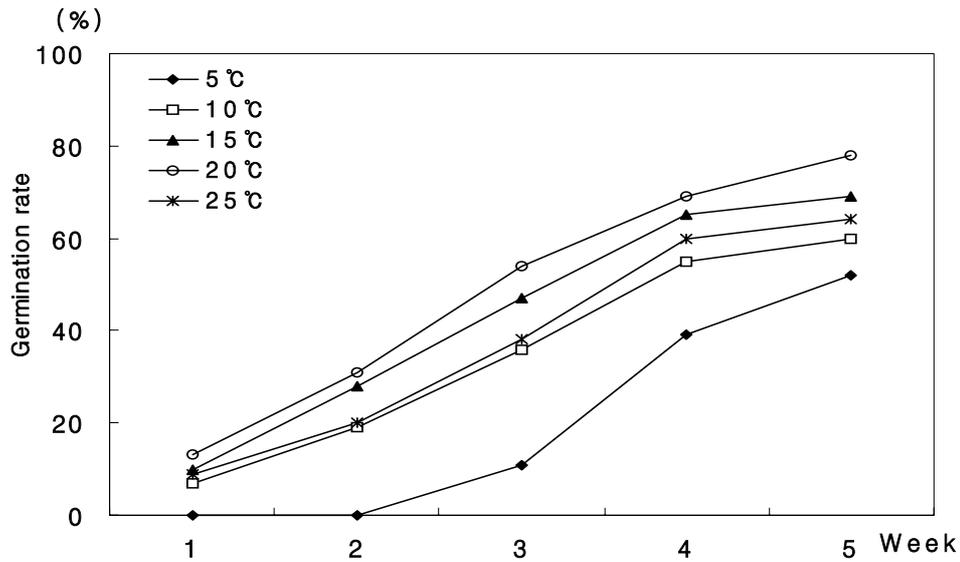


Fig. 5.1.1. Effect of temperature on the germination for *K. septemlobus* seeds.

기간별 발아율을 살펴보면, 치상 1주일째에는 5°C의 경우 발아되지 않았으나 20°C 13%, 15°C 10%, 25°C 9% 및 10°C가 7%의 발아율을 보였으며, 치상 5주째를 기준으로 할 때 20°C 처리구가 발아율 78%로 가장 높았고, 15°C에서 69%, 25°C에서 64%, 10°C에서 60% 및 5°C에서 52%의 발아율을 보였다. 또한, 발아율에 대한 경시적 변화는 처리 온도와 관계없이 3~4주 사이에 가장 높았으며, 처리 온도별로는 5°C 처리구가 2주째까지 발아되지 않아 가장 불량한 발아율을 나타낸 반면, 온도가 증가할수록 높아져 20°C 처리구에서 가장 높은 발아율을 보였다.

이와 같은 결과는 Tanaka *et al*(1986)이 *Picea engelmanni*와 *Pinus contorta* 종자에 대하여 저온처리 기간이 길수록 발아율이 증가하며, 발아속도도 빨라진다는 보고와 유사한 경향을 나타낸 것으로 음나무 종자의 파종 적정온도는 일반 임목 종자와는 달리 20°C 정도의 다소 낮은 온도로 정의할 수 있으며, 이 온도범위에서 가장 높은 발아율을 나타냄을 알 수 있다.

라. 종자채취 시기가 발아에 미치는 영향

종자채취 시기별 발아특성을 조사하기 위하여 2000년 9월 20일부터 10일 간격으

로 종자를 채취한 후 정선하고 4℃에서 냉장습사저장 10주 처리 후 25±2℃ 항온기에서 발아시험을 실시한 결과는 Fig. 5.1.2와 같다.

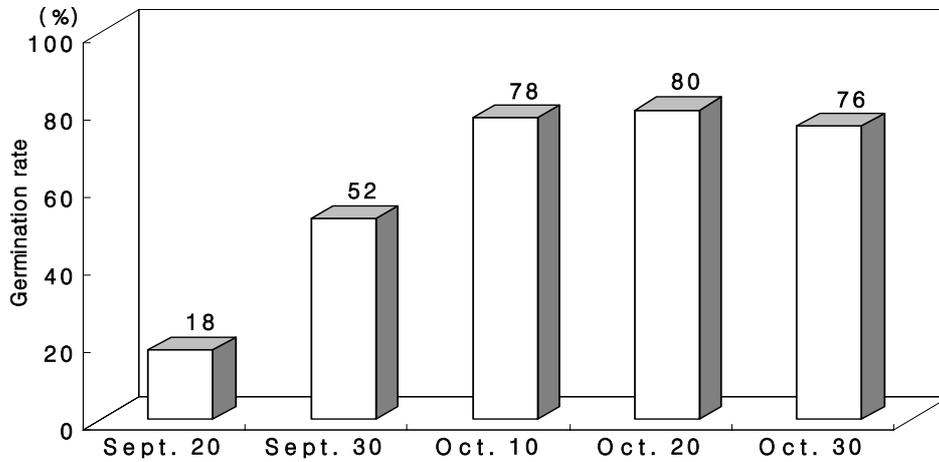


Fig. 5.1.2. Effect of seed collection time on the germination for *K. septemlobus*.

종자채취 시기별 발아율은 종실의 생리적 성숙단계로 추정되는 10월 20일 처리구에서 80%의 발아율을 보여 가장 높은 결과를 나타내었으며, 10월 10일 78%, 10월 30일 76%, 9월 30일 52%, 9월 20일 18%의 발아율을 보였다. 따라서, 음나무 종자는 9월 20일 이전부터 성숙이 시작되어 10월 20일까지는 일정 수준 이상으로 종자성숙이 완료되는 것으로 판단되므로 종자 채취의 최적시기는 10월 20일 이전일 것으로 사료된다.

이상의 연구 결과들을 종합하여 볼 때, 음나무 종자의 발아율을 높혀 당년 발아를 촉진하기 위해서는 채취 후 과육을 제거하고 건조되지 않도록 습사 보관 또는 저장하는 것이 가장 중요하며 종자의 저장기간은 유근이 발생하기 이전인 10~12주, 채취시기는 10월 20일 이전으로 하는 것이 좋을 것으로 판단된다. 또한, 과중 적정온도는 일반 임목 종자와는 달리 20℃ 정도의 다소 낮은 온도로 정의할 수 있으므로 음나무의 재배와 육성 및 증식에 있어서는 상기와 같은 사항들을 고려하여 적절한 종자의 저장 방법 및 온도조건 처리를 결정하여야 할 것이다.

제2절 무기양료와 생장

1. 재료 및 방법

가. 공시재료

본 시험은 경기도 화성군 팔탄면에서 자생하고 있는 음나무 성목에서 채취한 종자를 그 다음해 국립산림과학원 유전자원부(경기도 수원시 권선구 오목천동)에서 묘포장에 파종, 이식하여 3년간 육성한 묘목을 대상으로 하였다. 양성된 묘목의 묘고(H)와 근원직경(D₀)을 조사하여, D₀²·H의 값이 가장 높은 3개체와 평균치에 가까운 3개체, 그리고 가장 낮은 값을 나타내는 3개체를 선발하였다(Table 5.2.1).

Table 5.2.1. Description of the sampled seedlings of *K. pictus* (mean±SE).

Growth performance	Height(cm)	Basal diameter(mm)	Dry weight of terrestrial part(g)
Good	87.3±3.76 ^{a*}	19.1±0.37 ^a	81.9±5.98 ^a
Medium	44.3±2.96 ^b	13.4±0.61 ^b	32.5±3.76 ^b
Poor	17.0±1.15 ^c	10.1±1.05 ^c	10.6±1.50 ^c

* ; Different letters within columns indicate significant differences between growth performance at the 5% level by Duncan's multiple range test.

선발한 각 묘목을 손상이 없도록 세근까지 굴취한 다음, 이물질이 없도록 차가운 물로 세척하였다. 세척한 시료는 기관별로 절단하여 105℃로 설정된 송풍식 건조기에서 30분간 건조시킨 후, 80℃에서 중량 변동이 없을 때까지 건조시켰다. 건조된 시료의 무게를 측정하여 누적 생장량 자료로 사용하였다.

나. 무기원소 함량분석

주간(主幹)의 정단부(頂端部)에서 3개의 잎을 선별하여 Mixer Mill (MM-2000, Retsch Inc.)로 분말상태가 되도록 분쇄하였다. 이때 금속원소가 시료에 혼입되지 않도록 Agate로 제조된 cell을 사용하였다. 분말상태의 시료를 80℃에서 건조시킨 다음, 0.1~0.5g의 분말시료를 채취하여 불화수소(HF) 1ml, 질산(HNO₃) 20ml, 염산(HCl) 1ml를 Microwave Sample Preparation System (MDS-2000, CEM Co.)의

vessel에 넣은 다음, 시료 전처리 수순에 따라서 가온/가압하여 분해하였다. 분해한 용액을 No. 5C 여과지로 여과하여 polypropylene으로 제조된 100ml 메스플라스크에 넣은 다음, 표시선까지 탈이온수를 채워서 무기원소 분석에 공시하였다.

무기원소 함량분석은 식물체를 구성하는 원소중에서 다량원소로 구분되고 있는 N, P, K, Ca, Mg과 미량원소로 구분되고 있는 Mn, Fe, Cu, Zn, Na을 대상으로 정량분석하였다. 질소를 제외한 무기원소 함량분석에는 Inductively Coupled Plasma Emission Spectrometer (ICPS-1000IV, Shimadzu Inc.)를 사용하였다.

질소함량분석은 분말시료 0.5g을 취하여 분해촉진제(K_2SO_4 7g + Se 7mg)와 H_2SO_4 12ml을 넣고 질소분해기(Tecator 2000 Digestion System, Tecator Sweden)로 400°C에서 2시간 분해한 후, 질소자동분석기(Kjeltec 1035 Analyzer, Tecator Sweden)를 사용하여 정량분석하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 무기영양소별 성장특성

1) 다량원소

음나무 묘목의 성장수준에 따른 엽내 다량 무기성분을 정량 분석한 결과를 Fig. 5.2.1과 Fig. 5.2.2에 나타냈다. N 함량이 가장 높은 무기성분이었으며, 다음으로 $K > Ca > P > Mg$ 순이었다. N과 K는 묘목의 성장수준에 따라 모두 뚜렷한($P < 0.05$)한 함량차이를 보였으며, P와 Ca는 양호한 성장과 저조한 성장을 나타내는 개체에서만 유의($P < 0.05$)한 차이를 나타낸 반면 Mg는 성장에 따른 차이를 전혀 보이지 않았다.

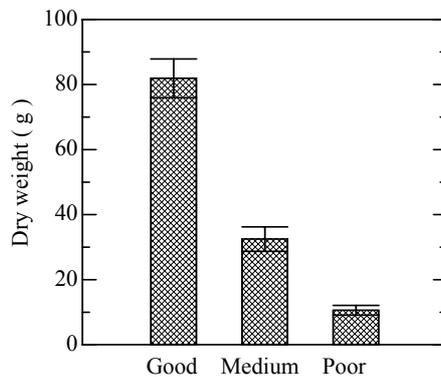


Fig. 5.2.1. 각 시험구의 성장량

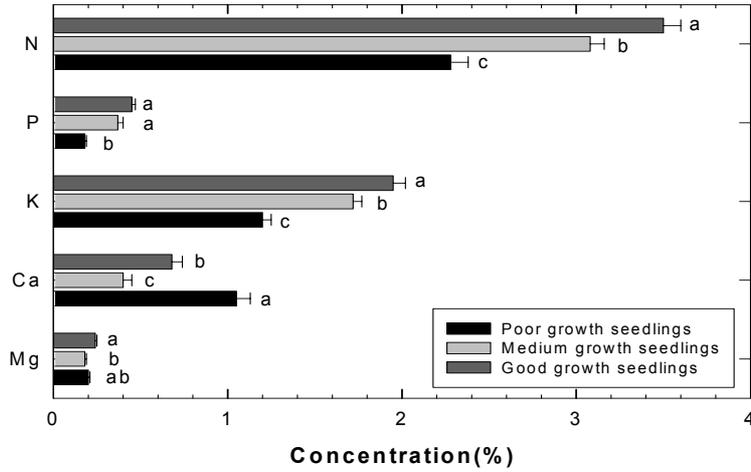


Fig. 5.2.2. Mean concentration of macro nutrients (\pm SE) in leaves (dry matter) of *K. pictus* seedlings according to growth performance.

2) 미량원소

음나무 묘목의 성장수준에 따른 엽내 미량 무기성분을 정량 분석한 결과는 Fig. 5.2.3과 같다.

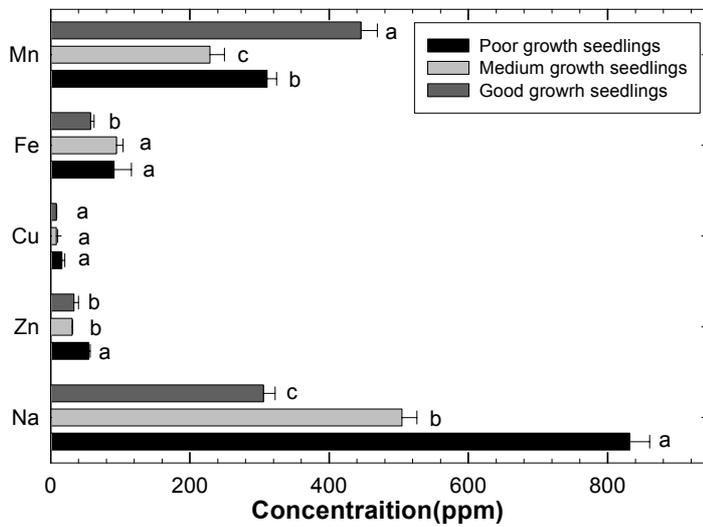


Fig. 5.2.3. Mean concentration of micro nutrients (\pm SE) in leaves (dry matter) of *K. pictus* seedlings according to growth performance

미량원소 중에서 Na 함량이 가장 높게 나타났으며, 다음으로 Mn>Fe>Zn>Cu 순이었다. Na는 생장차이에 따라 모두 유의($P<0.05$)한 함량변이를 나타내었으며, Mn, Fe, Zn 등은 양호한 생장과 저조한 생장을 나타내는 개체에서만 유의($P<0.05$)한 함량차이를 나타낸 반면, Cu 함량은 생장에 따른 차이를 보이지 않았다.

나. 무기영양소함량과 생장특성

1) 상관분석

음나무 묘목의 생장특성과 엽내 무기성분 함량간의 상관관계를 구한 결과를 Table 5.2.2에 나타냈다. 무기성분 중에서 N, P, K 등은 묘목의 생장과 고도의 정의 상관관계이었으며, Mg와 Mn은 낮은 정의 상관을 보인 반면, Na와는 고도의 부의 상관관계를 나타냈다. 또한 Ca, Fe, Cu, Zn 등은 묘목의 생장과 상관관계가 인정되지 않았다. 이상의 결과로 보아 음나무 묘목의 생장에 유효한 다량 무기성분은 N, P, K, Mg 등이었으며, 미량 무기성분은 Mn, Na 등으로 다량 무기성분이 미량 무기성분에 비해 생장에 높게 작용함을 알 수 있었다. 일반적으로 수목의 생장은 N, P, K, Ca, Mg 등과 같은 다량무기원소 함량과 밀접하게 관계하는데, Leyton(1956)은 일본잎갈나무 잎의 N, P 함량이, Leyton과 Armson(1955)은 Scotch pine 잎의 N, P 함량이 수고생장과 높은 상관관계를 나타낸 것으로 보고하였다. 또한 O'rourke(1952)는 tung tree 잎의 N, P, K 함량이 높을수록 근원직경 생장이 증가하였으며, Schomaker(1964)는 yellow-poplar 잎의 N, P 함량이 수고 및 흉고직경 생장간 고도의 정의 상관을 보인 반면 Mg, Al, B 함량과는 상관관계가 없는 것으로 보고한 바 있다.

Table 2. Correlation between growth characteristics and mineral nutrients in *K. pictus*

Characteristics	Correlation coefficients for each nutrient									
	<i>Macro-nutrients</i>					<i>Micro-nutrients</i>				
	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn	Na
Height	0.872**	0.860**	0.892**	-0.400	0.812**	0.722*	-0.182	-0.461	-0.600	-0.919**
D. R. C.	0.931**	0.893**	0.922*	-0.452	0.749*	0.657*	-0.130	-0.524	-0.607	-0.954**
Dry weight	0.919**	0.876**	0.867**	-0.471	0.680*	0.680*	-0.113	-0.386	-0.613	-0.916**

** ; Significant at the 1% level, * ; Significant at the 5% level, D. R. C.; Diameter at root collar

2) 회귀분석

① 다량원소

음나무 묘목의 건중량에 따른 엽내 다량 무기성분의 함량변화는 Fig. 5.2.3과 같이 나타났다. 건중량이 증가할수록 N, K, P, Mg 등의 함량은 증가하는 정의 관계인 반면, Ca 함량과는 부의 관계를 보여 주었다. 또한 N 함량은 건중량에 따라 가장 크게 증가하는 성분이었으며, 다음으로 $K > P > Mg > Ca$ 등의 순이었다. 이와 같은 결과로 보아 N은 K, P, Mg, Ca 등에 비하여 생장에 영향을 크게 미치는 무기성분으로서 肥效가 가장 높음을 시사하고 있다.

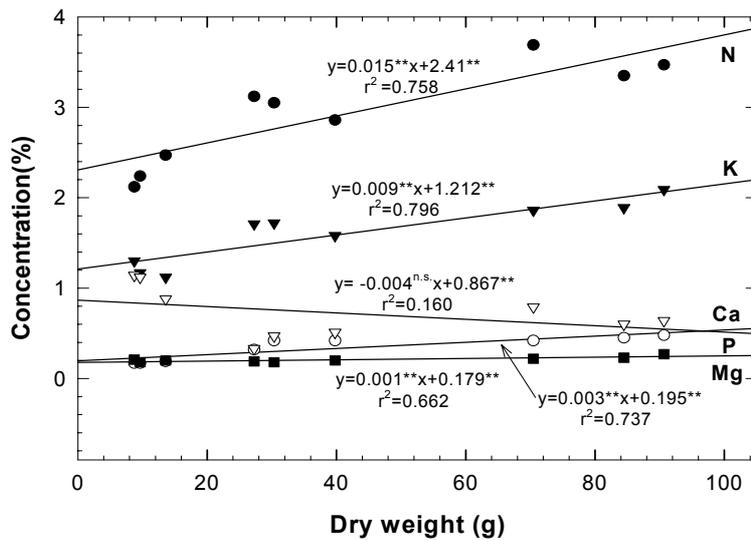


Fig. 5.2.3. Relationship between the growth of *K. pictus* seedlings and the concentrations of macro nutrients.

다량원소별 회귀직선의 결정계수(r^2)는 N 0.758, K 0.796, P 0.737, Mg 0.662, Ca 0.160으로(Fig. 5.2.3), 추정된 회귀직선이 생장과 다량원소함량과의 관계를 각각 75.8%, 79.6%, 73.7%, 66.2%, 16.0% 정도로 설명할 수 있음을 알 수 있었다. 따라서, 추정된 회귀계수의 유의성과 회귀직선의 결정계수(r^2)에 따른 음나무 묘목의 생장은 N, K, P, Mg 등의 함량과 뚜렷한 관계를 보인 반면 Ca와는 일정한 관계가 없는 것으로 나타났다.

② 미량원소

음나무 묘목의 건중량에 따른 엽내 미량 무기성분의 함량변화는 Fig. 5.2.4와 같이 나타났다. Mn 함량은 건중량에 따라 증가하는 정의 관계인 반면, 대부분의 무기성분은 감

소하는 부의 관계를 나타냈다. 또한 건중량과 가장 높게 관계하는 성분은 Na 이었으며, 다음으로 Mn>Fe>Zn>Cu 등의 순이었다. 특히 Na는 건중량과 높은 부의 관계를 나타냄으로서 음나무묘목의 생장을 저해하는 무기성분인 것으로 생각된다.

미량원소별 회귀직선의 결정계수(r^2)는 Na 0.844, Mn 0.522, Zn 0.354, Cu 0.209, Fe 0.030으로(Fig. 5.2.4), 추정된 회귀직선이 생장과 다량원소함량과의 관계를 각각 84.4%, 52.2%, 35.4%, 20.9%, 3.0% 정도로 설명할 수 있음을 알 수 있었다. 따라서 추정된 회귀계수의 유의성과 회귀직선의 결정계수(r^2)에 따른 음나무 묘목의 생장은 Na, Mn 등과 밀접한 관계를 보인 반면 Zn, Cu, Fe 등의 성분과는 일정한 관계가 없는 것으로 나타났다.

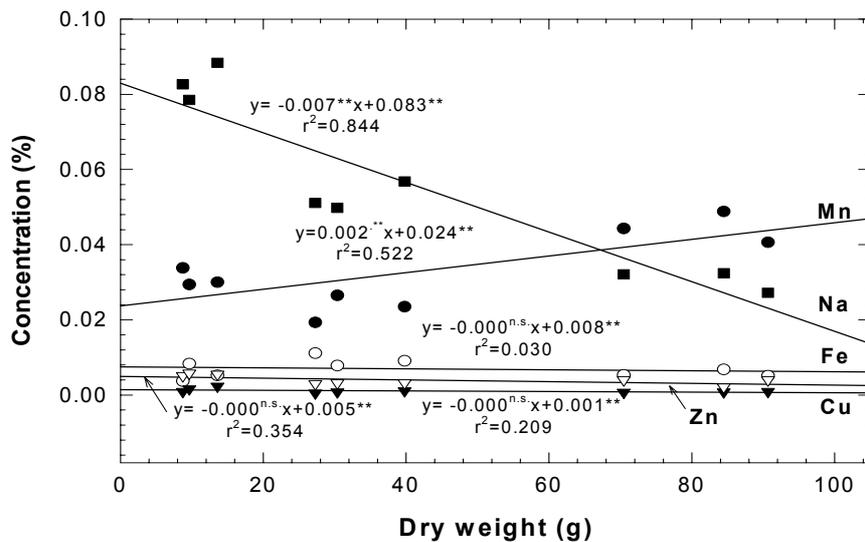


Fig. 5.2.4. Relationship between the growth of *K. pictus* seedlings and the concentrations of micro nutrients.

4. 결론

최근 음나무에서 다양한 식·약용가치가 밝혀짐에 따라 그 수요가 급증하고 있지만 대부분 자생지에서 야생채취하고 있는 실정이다. 이에 따라 이 수종을 농산촌의 신소득 작목으로 재배하기 위한 적정 시비기준을 마련하고자 생장특성과 음나무 유묘의 엽내 무기영양소를 비교 분석하였다.

N, K, Na 등은 생장차이에 따라 뚜렷한($P < 0.05$) 함량차이를 보인 반면 P, Ca, Mn, Fe, Zn 등은 양호한 생장과 저조한 생장을 나타내는 개체에서만 유의($P < 0.05$)한 차이를

나타냈으며, Mg와 Cu는 생장에 따른 차이를 전혀 보이지 않았다. 또한 N, P, K 등은 묘목의 생장과 고도의 정의 상관관계이었으며, Mg와 Mn은 낮은 정의 상관을 보인 반면, Na와는 높은 부의 상관관계를 나타냈다. 한편 Ca, Fe, Cu, Zn 은 묘목의 생장과 상관관계가 인정되지 않았다.

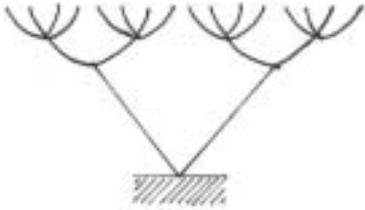
따라서 N, P, K, Mg, Mn, Na 등은 음나무 생장에 유의한($P < 0.01$) 영향을 미치는 무기영양소인 것으로 나타났으며, 특히 N은 肥效가 가장 높은 성분으로 추정되는 반면, Na는 음나무 유묘의 생장을 저해하는 성분인 것으로 생각된다. 그러나 식물의 양분흡수는 토양 pH(大友 等, 1993), 무기성분간의 길항작용(安尾, 1952), 중금속성분(Kozlowski와 Pallardy, 1997) 등의 복합적인 요인이 양분흡수 저해 작용을 하는 것으로 알려져 있는 바, 음나무의 정확한 양분요구도를 파악하기 위해서는 엽분석 결과 생장에 유효하게 작용할 것으로 판단되는 무기영양원소들에 대한 시비시험이 요망된다.

제3절 수형과 순 생산성

1. 재료 및 방법

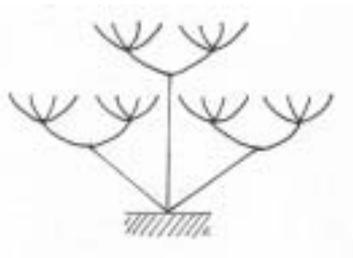
수형조절 시험은 강원도 강릉시 왕산면 목계리 음나무 조림지에서 수행하였다. 음나무의 수령은 6년생으로 그림1과 같이 1줄기형에서 5줄기형까지 그리고 개심자연형 등 6가지 수형으로 유도하였다. 2줄기형은 지제부에서 수간 2개를 배치한 수형이고, 3줄기형은 3개를, 5줄기형은 5개를 배치한 수형이며, 개심자연형은 주간 3개의 주지를 층별 3방위로 배치하고 이어 곁가지를 발생시켜 수형의 전체적 형태를 반달형으로 유도하는 수형이다. 수형유도 방법은 삼목묘를 포지에 정식하여 지상부 30cm 정도에서 줄기를 자르면 새로운 가지가 1~3개정도 발생한다. 새로 나온 가지를 다음해에 15cm 정도의 높이에서 자르면 4~6개의 가지가 발생하여 수형이 유도된다. 수형이 유도된 나무는 매년 수확을 한 다음에 같은 방법으로 가지치기를 해주면 6년 후에는 약 20~30개의 충실한 가지가 발생되어 수확량을 높일 수 있다. 수형별로 가지 발생수, 새순 발생수 등과 등급(1등에서 5등급으로 구분)을 3년간 조사하여 양질의 음나무 순을 가장 많이 수확할 수 있는 수형을 결정하였다.

○ 2줄기형



지제부에서 수간 2개를 배치한 수형

○ 3줄기형



지제부에서 수간 3개를 배치한 수형

○ 4줄기 및 5줄기형

상기와 같은 방식으로 지체부상의 수간을 4개 또는 5개로 배치한 수형

○. 개심자연형



주간에 3개의 주지를 층별 3방위로 배치하고 이어 곁가지
를 발생시켜 수형의 전체적 형태를 반달형으로 유도하는 형
태

그림 1. 음나무 수형유도 방법

2. 결과 및 고찰

수형조절 시험지(photo. 5.3.1)에서 수형조절 처리된 수형은 1줄기형에서 6줄기형
및 개심형을 포함한 7종이었으며 이들과 함께 수형조절하지 않은 비교수형을 포함한
8종의 처리별 순 발생 특성을 조사하였다.

먼저 수형별 가지 수와 새순 수에 있어서는 수형의 줄기 수 증가와 함께 가지
수와 새순 수도 증가하였다(fig. 5.3.1, fig. 5.3.2). 그러나 새순 길이에 있어서는 그림
5와 같이 3줄기형, 5줄기형 및 개심형이 모두 17cm 이상이었고, 또한 굵기에 있어서는
20mm이상으로 측정되어(fig. 5.3.4), 이들 3줄기, 5줄기형 및 개심형이 양호한 수
형들이었다. 새순의 발생기간에 있어서는 수형조절된 수형간 차이가 크지 않았으며
수형조절하지 않은 비교목은 발생기간이 늦게 나타나(fig.5.3.5) 수형조절처리가 순
발생시기를 빠르게 하는데 영향하는지에 대한 지속적인 연구가 필요한 것으로 사료
된다. 수형조절 처리별 선호도를 조사하였다. 음나무 새순은 일명 개두릅이라고도 하
는데 새순의 크기, 색상, 신선도, 질감 및 예상 식미감 등 새순의 품질에 대하여 달
관적 관능(육안식별)으로 선호도를 관정하였으며, 5인의 재배농민으로 이루어진 조사
단에 의해 각 수형조절 처리별 1(저급)에서 5(고급)단계로 분류하였다(photo 5.3.2).
그 결과 3줄기형, 5줄기형 및 개심형의 선호도가 평균 3.5 이상으로 양호하게 나타났



Photo. 5.3.1. 음나무 수형유도 처리

다(fig. 5.3.6)



Photo. 5.3.2. 음나무 순 특성

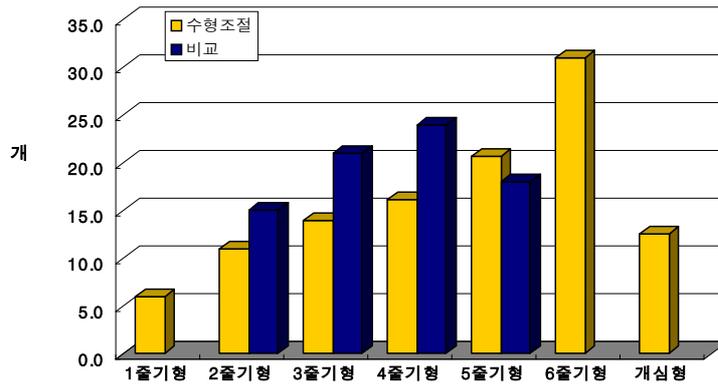


Fig. 5.3.1. 수형조절처리별 가지수

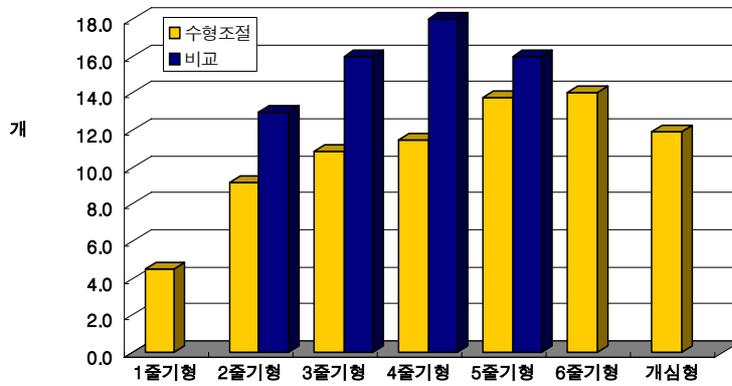


Fig. 5.3.1. 수형조절처리별 순 발생수

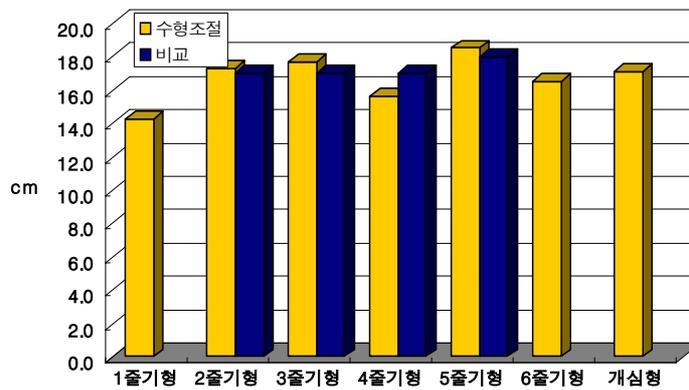


Fig. 5.3.2. 수형조절처리별 순 길이

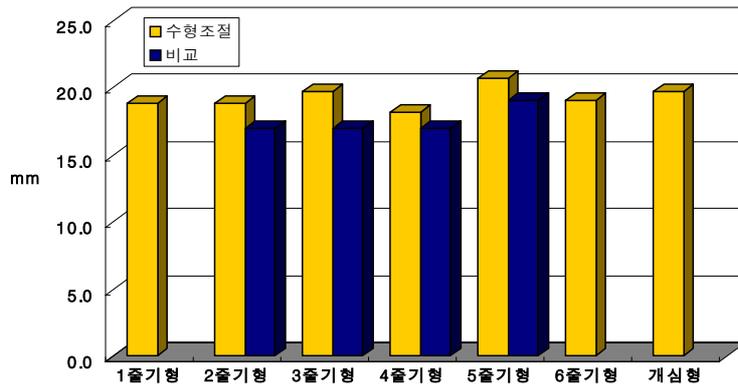


Fig. 5.3.3. 수형조절처리별 순 굵기

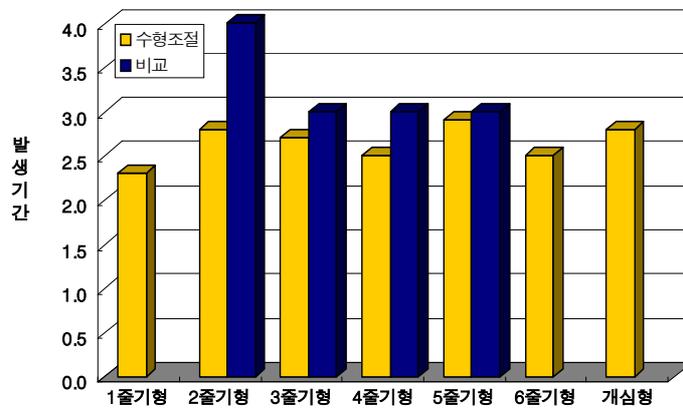


Fig. 5.3.4. 수형조절처리별 순 발생기간

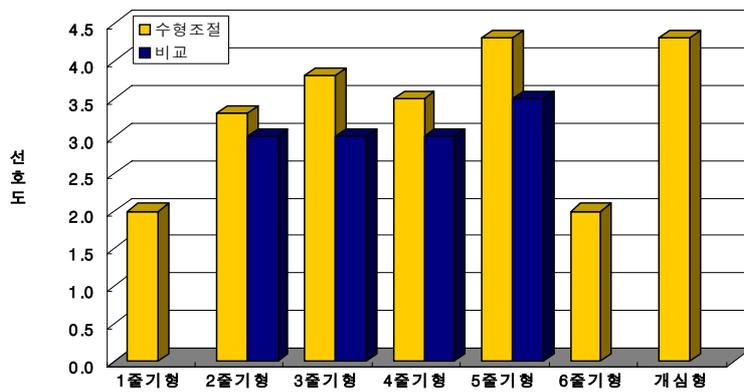


Fig. 5.3.5. 수형조절처리별 순 선호도

이와 같은 수형조절 처리별 순 특성을 종합할 때 크기, 수확량 및 선호도 등에서 나타난 바와 같이 3줄기형, 5줄기형 및 개심형이 양질의 음나무 순을 대량으로 생산할 수 있어 음나무 재배에 유망시 되는 수형으로 판단된다.

제6장 임간 재배 기술 개발

제1절 산림내 광환경

1. 재료 및 방법

가. 조사지

삼림 군락내 광환경 조사를 산림청 국립수목원(경기도 포천군 소흘읍 직동리 51-7) 구내의 전나무(*Abies holophylla*) 군락에서 수행하였다(photo. 6.1.1). 전나무 군락은 수령이 약 70년, 평균 수고가 약 22m이며, 중층목이 없고 임관이 균일한 임분이다. 전나무 군락 외부의 광환경 조사는 군락에서 직선 거리로 약 60m 떨어진 국립수목원 산림박물관의 지상 12m의 옥상에서 측정하였는데, 이 장소는 인공 또는 자연 구조물에 의하여 그림자가 생성되지 않고 측정지점 주위의 상부에 차폐물이 없어서 반사광과 산란광의 혼입이 적은 장소이다.



Photo. 6.1.1. 광환경 조사를 수행한 시험지

나. 광질측정

산림 군락의 빛을 구성하고 있는 광반, 산란광, 임관 상부의 직달광(노천광)을

파장별 에너지 분포를 맑은 날에 측정하였다. 그리고 삼림군락에 의하여 산란된 광과 인공차폐물에 의하여 산란된 광의 차이를 조사하기 위하여, 건물에 의하여 산란된 광(그림자)의 파장별 에너지 분포를 측정하였다. 맑은 날과 흐린 날의 비교를 위해서 삼림 군락내부의 산란광과 노천광의 파장별 에너지 분포를 측정하였다.

이들 측정에는 표준광원(LI-1800-02, Li Cor Inc.)으로 교정한 2조의 휴대용 파장별 에너지분석장치(LI-1800, Li Cor Inc.)를 사용하였다. 측정 파장역은 300~1,100nm이며, 파장 간격은 1nm이며, 반복은 5회이다. 측정시간은 태양 고도에 의한 파장조성 변화가 작은(장세진 등, 2000) 11시 30분에서 12시 30분 사이에 수행하였다.

다. 광도측정

광도 측정에 사용한 센서는 식물 군락의 광환경 조사에 일반적으로 이용되고 있는 조도센서(ICS-17/101, Koito Inc.), PAR광량자센서(LI-190SB, Li Cor Inc.), 일사량센서(LI-200SB, Li Cor Inc.)로 3종이다. 조도센서는 인간의 시감각과 유사한 감응 특성을 나타내는 센서로 490~630nm에서 20%이상의 상대감응도를 나타내며, 550nm에서 가장 높은 감응을 나타낸다(相賀와 村上, 1995; 青木, 1995; 小糸工業, 1999). PAR광량자센서는 식물의 광합성 작용 spectrum(McCree, 1971, 1972a, 1972b; 矢吹와 高, 1973; Inada 1976; 稻田 등, 1980)이 적용된 센서로 400~700nm에서 감응하며, 적색광역(600~700nm)에서 높은 감응을 나타낸다(Li Cor Inc., 1986). 일사센서는 400nm부터 가시광선 보다 장파장인 1,100nm까지의 광방사(optical radiation)에 감응하며, 950nm에서 가장 높은 감응을 나타낸다(Li Cor Inc., 1986).

이들 3종의 센서는 사용하기 전에 표준광원(LI-1800-02, Li Cor Inc.)을 이용하여 정상적 출력을 검증하였다. 검증된 3종의 센서를 수준기가 부착된 7.5×7.5cm의 알루미늄판(LI-2003S, Li Cor Inc.)에 모두 고정시킨 다음, 군락 내·외의 지상 60cm 지점에 수평이 되도록 설치하였다. 광센서로부터 출력되는 전기적 신호(0~±25mv)를 수집·저장하기 위하여, 13bit의 고분해능 A/D 변환기를 사용하고 있는 data logger(CR10X, Campbell Sci. Inc.)를 사용하였다. data logger는 사용하기 전에 시간을 同調시켜서 모든 data logger의 data수집시간이 동일하도록 하였다. data logger가 수집한 data는 광 센서에서 출력된 신호의 순간치이며 수집간격은 2분이다. data logger에 의하여 수집한 data는 각 센서의 calibration값을 적용하여 각각의 절대값

(klux, $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)으로 환산하였다.

전나무 군락 내·외부의 광도는 2000년 3월 16일에서 3월 24일 사이에 측정하였으며, 소나무 군락 내·외부의 광도는 2000년 3월 30일에서 4월 1일 사이에 측정하였다.

3. 결과

1. 군락내부 光質特性

맑은날(clear day)의 노천광(sun light)과 산림군락내부의 산란광(diffused light) 및 광반(sunfleck), 그리고 건물 그림자(shadow of building)의 파장조성(광질)과 흐린날(overcast day)의 직달광과 산림군락내부 산란광의 파장조성을 측정하여 fig. 6.1.1에 나타낸다. 그리고 산림의 광환경을 구성하는 요소의 파장별 변화를 검토하기 위해서 노천광에 대한 비(relative spectral irradiance; RSI)를 fig. 6.1.2에 나타낸다.

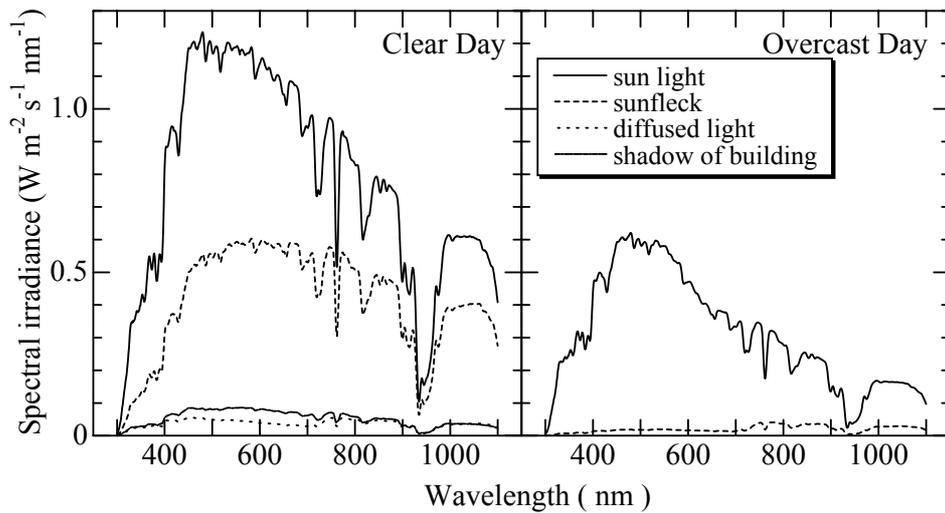


Fig. 6.1.1. 산림군락의 광환경을 구성하는 요소의 파장별 에너지 분포.

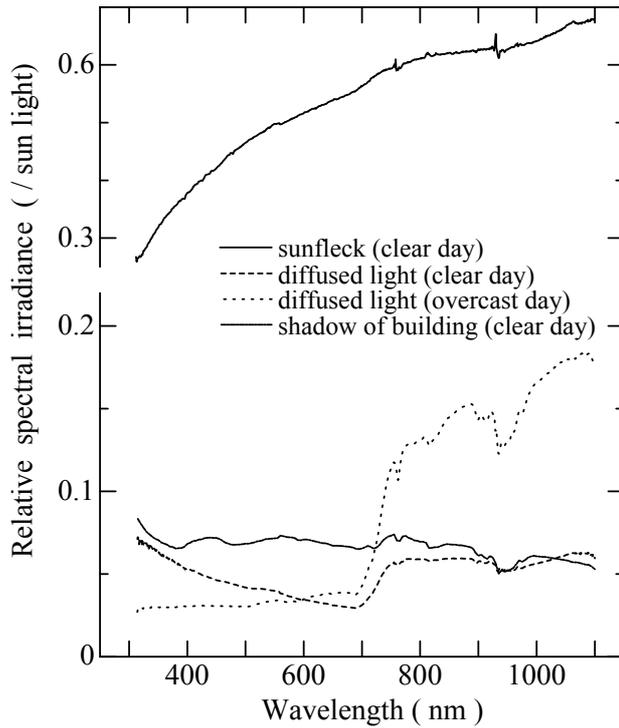


Fig. 6.1.2. 노천광(sun light)에 대한 파장별 상대 광도.

맑은 날 노천광의 파장별 에너지분포는 단파장인 자외선 영역에서 낮은 값을 나타내나, 파장이 길어지면서 급격히 상승하여 500nm부근에서 가장 높은 에너지분포를 나타냈다. 500nm보다 긴 파장대에서는 에너지가 점차 하강하는 경향을 나타냈다. 그러나 숲 틈사이로 진입하여 임상에 도달한 광반은 노천광에 비하여 모든 파장대에서 낮은 에너지를 나타내고, 500nm보다 긴 파장대에서도 노천광에 비하여 매우 완만하게 하강하는 특징을 나타냈다. 보다 면밀히 검토하기 위해서 노천광에 대한 광반의 RSI 값을 살펴보면, 광반은 자외선 영역의 가장 짧은 파장대에서 0.25정도를 가장 낮은 값을 나타내고 파장이 길어지면 RSI도 증가하였다. 가장 긴 파장대인 1,100nm에서는 0.68로 가장 높은 값을 나타냈으며, PAR에서는 0.48, 전체적으로는 0.53의 값을 나타냈다. 이러한 결과는 임관의 틈새를 통하여 임상에 도달된 직달광이 가시적으로 노천광과 유사하나, 광도가 노천광의 절반정도에 불과하고 짧은 파장의 빛이 감소되는 양적 및 질적 변화가 있었음을 나타낸다.

임관층의 잎, 가지 등에 투과, 반사된 산란광은 맑은 날과 흐린 날 모두 노천광

의 5-8%로 광반에 비하여 현저하게 낮은 값을 나타냈다. 특히 PAR에서의 RSI는 맑은 날 0.04, 흐린 날 0.03로 적외선 영역(700-1,100nm)의 맑은 날 0.06, 흐린 날 0.14에 비하여 현저하게 낮은 값을 나타냈다. 그리고 맑은 날의 RSI값을 보면 광합성에 가장 효율적인 600-700nm의 적색광이 다른 파장대에 비하여 낮은 값을 나타낸다. 반면, 건물의 그림자는 노천광의 약7%로 균락내부의 산란광과 비슷한 값을 나타내나, 파장에 따른 굴곡이 없이 모든 파장대에서 균일한 RSI를 나타낸다. 이것은 직달광이 임관층을 통과하면서 PAR영역의 빛은 잎에 의하여 선택적으로 흡수되고, 광합성에 상용되지 않는 장파장대의 빛은 반사 또는 투과되었음을 나타낸다(김판기 등, 1999).

나. 광도

파장별 감응이 서로 다른 세 가지 센서(조도센서, 광합성유효역 광량자센서, 일사량센서)로 측정된 맑은 날(좌측)과 흐린 날(우측)의 임외의 광도와 임상의 광도를 나타낸다(fig. 6.1.3).

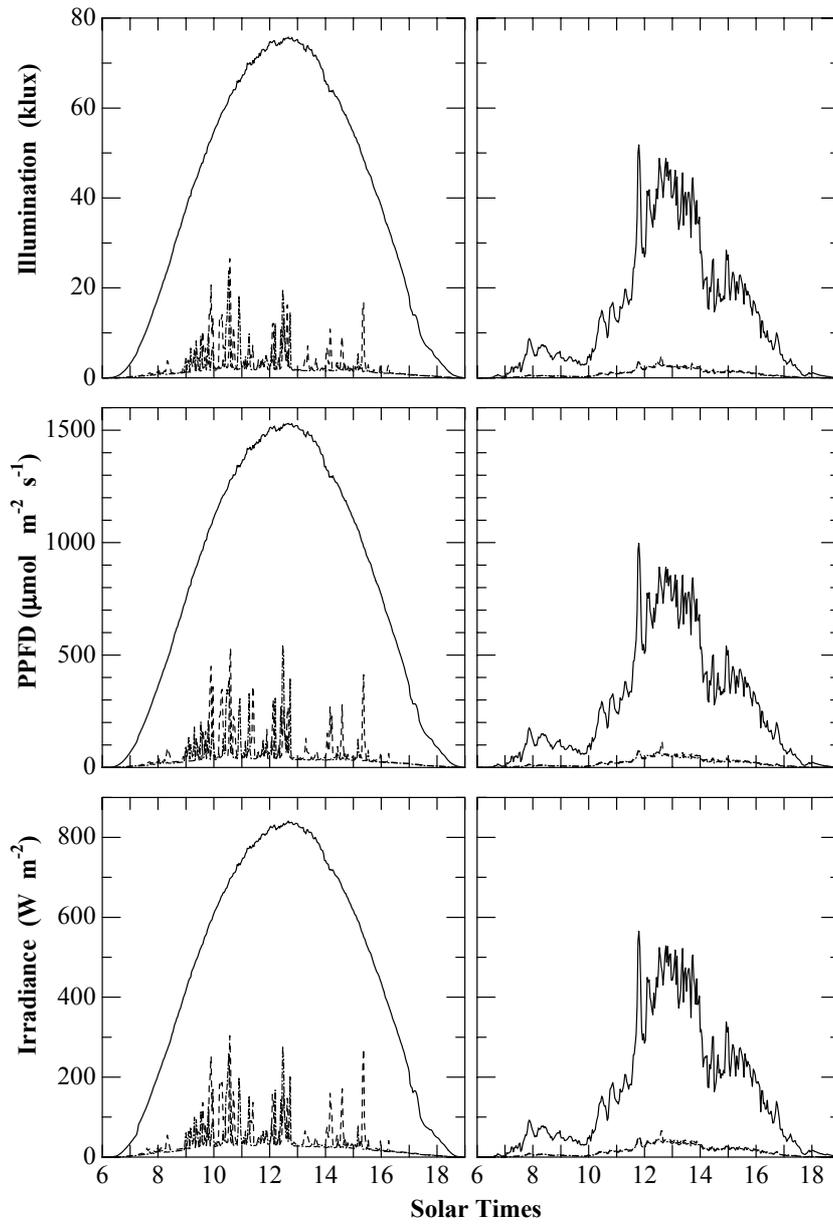


Fig. 6.1.3. 파장별 감응도가 서로 다른 센서에 의한 입내·외광의 일변화

임외의 광도는 오전 7시경부터 증가하기 시작하여 13경에 가장 높은 광도를 나타낸 다음, 서서히 저하하기 시작하여 19시경에 일몰(日沒)하였다. 그러나 흐린 날은 맑은 날에 비하여 현저하게 낮은 광도를 나타냈다. 한편 임상의 광도는 임외에 비하여 매우 낮은 값을 나타냈으며, 맑은 날은 오전에 높은 광도를 나타냈다. 반면 흐린 날은 오전이 오후에 비하여 현저하게 낮은 값을 나타내며, 전체적인 광도도 낮은 값을 나타냈다. 그러나 임외에 대한 상대광도는 흐린 날이 맑은 날에 비하여 높은 값을 나타냈다.

센서의 종류에 따른 임상의 상대광도의 차이는 1-2%로 매우 작은 차이를 나타냈다.

제2절 산림내 광환경과 종자의 발아

1. 재료및 방법

가. 실험종자

2003년 가을 실험에서 가장 문제가 되었던 것은 2003년에 음나무의 종자의 결실이 좋지 않았다는 점이다. 이는 비단 음나무뿐 아니라 다른 목본식물에서도 공통적으로 나타났는데 이는 8월의 지나치게 긴 장마와 9-10 월에 지나치게 잦았던 태풍으로 종자가 열리지 않은 경우가 많았기 때문이다. 2003년 10월 중순에 음나무 종자를 채취하기 위하여 경주의 음나무 재배단지과 개방산, 설악산, 두타산 등지의 자생지를 찾아 다녔으나 종자를 구하지 못하였다. 따라서 양재동과 종로, 인터넷은 물론, 기존의 재래식 시장까지 가능한 모든 종자 구입 경로를 모색했음에도 불구하고 2003년에 열린 국내의 종자는 한군데서밖에 구하지 못하였다. 그리고 어렵게 구한 이 종자도 결실이 좋지 않아 완숙되지 않은 경우가 많았다. 따라서 이를 대신하기 위해 중국산 종자를 구입을 하였으며 그 외에 추가적으로 가능한 모든 종자를 확보하였다.

Table 6.2.1. 공시종자

원산지	산지 및 채취년도	종자의 상태	보관상태	비고
대한민국	영서지역 (03년)	과육이 제거된 상태	양호	이하 '영서'라 칭한다
	매송 (02)	종피까지 제거	부실(건조)	이하 '매송'이라 칭한다
중 국	중국 산둥 (03)	과육이 제거된 상태	양호	이하 '중-산' 칭한다
	중국 광둥 (03)	과육있는 상태	양호	이하 '중-광'이라 칭한다

나. 후숙처리

종자의 후숙을 위해서는 수확한 종실이 건조되지 않도록 비닐봉지에 넣고 상온에

서 과육이 썩을 때까지 두었다가 과육이 완전히 부패되었을 때 과육을 망사에 넣고 문질러 완전히 제거하였다. 그 후에 물로 깨끗이 씻어내고(4℃) 72시간 동안 흐르는 물에 세척하였다. (중국산 일부를 제외하고는 과육이 상당히 제거된 상태여서 어렵지 않았다) 모래는 autoclave 를 하여 멸균한 뒤에 모래와 종자의 비율이 2:1이 되도록 혼합하여 10주간 4℃에서 수분을 유지하면서 저장하였다.

다. 지베릴린 처리구

후숙처리한 종자는 모래를 제거하고 GA₃ 1,000ppm에 40분간 침적처리 하였다(photo. 6.2.1). 이때는 씨그마 알드리치 코리아에서 구입한 90% GA₃ 와 일반적으로 농민이 사용하는 아벤티스 크롭사이언스 주식회사의 지베릴린 수용제를 사용하였다. 그후 종자를 건조하지 않게 4℃ 항온기에서 4주 처리를 하였다. (모래와 다시 섞지 않고) 방법은 부드러운 천 사이에 종자를 고루 깔고 다시 천으로 덮어서 공기가 통하는 살레에 넣고 일정하게 수분을 공급하였다.



Photo. 6.2.1. 지베릴린 처리를 수행하는 모습

라. 처리후 파종까지

그 후에 종자를 피트모스 배양상토와 펄라이트가 3:2 로 섞인 화분에 깊이 약 7mm 정도로 일정하게 심어서 발아율을 확인을 하였다. 이때 화분 하나당 50개의 종자를 일정한 간격으로 배치하였으며 수분을 적절하게 유지하였다. (밀도에 따른 영향을 보기 위하여 100개씩 심은 화분도 만들었다) 중간에 화분내 음나무 유식물의 밀도가 높아짐에 따라서 1차적으로 음나무 유식물을 제거하였다. 동년 5월 1일에 화분에 이식하였으며 발아율의 1차 측정은 5월 15일, 2차 측정은 5월 27일에 하였으며

최종적으로 6월 26일에 측정을 하였다. 그 외에도 숙성기간을 줄이거나 종자의 암소 보관, 그리고 노천매장과 지베릴린 비처리구, 황산처리와 지베릴린 처리 농도의 조정 단축 등 많은 대조구를 만들었다.

마. 광처리구

저온숙성에 들어가 있는 종자를 활성화 시키기 위하여 상온에서 2일간 보관을 한 다음 5월 17일 1차 광처리를 진행하였다. 광처리는 Good Feeling사에서 만든 LPRS controller(model : GFPR-1600C)를 사용하여 red 와 far-red 를 각각 한시간 종자에 쬐어주었으며 36 μ mol/s 의 세기로 통일하였다. 처리시 챔버의 온도는 20 $^{\circ}$ C이다. 그리고 지베릴린 처리구는 6월 29일 지베릴린 처리를 시행하였고 다시 후숙을 시킨 다음 7월 17일 숙성후 처리구에 위와 같은 조건으로 광처리를 하였다. 그리고 18일 파종하였다.

2. 결과

가. 지베릴린 처리구의 결과

<'영서'의 실험구 >

1)일반적인 실험(숙성 10주, 씨그마 지베릴린 처리, 후숙 4주)

최종 발아율 8.8 % (44/500)

2)영서 암소보관 (숙성에서 파종까지 전 과정을 암소보관)

최종 발아율 9.0 % (27/300)

3)영서 아벤티스 지베릴린

최종 발아율 3.0 % (9/300)

4)영서 지베릴린 비처리

최종 발아율 2.0 % (6/300)

5)영서 미숙성(후숙, 지베릴린 처리)

최종 발아율 1.0 % (1/100)

6)영서 황산처리 (10% 황산에서 1분간, 지베릴린 미처리)

최종 발아율 0.0 % (0/100)

7)영서 황산처리 (10% 황산에서 3분간, 지베릴린 미처리)

최종 발아율 0.0 % (0/100)

8)영서 황산처리 (10% 황산에서 1분간, 지베릴린 처리)

최종 발아율 0.0 % (0/100)

9)영서 지베릴린 처리후 모래에서 후숙

최종 발아율 16.0 % (32/200)

10)영서 종피 제거 (숙성하지 않았음)

최종 발아율 0.0 % (0/100)

11)영서 500ppm 지베릴린 처리(씨그마)

최종 발아율 8.0 % (8/100)

12)영서 지베릴린 처리후 온실보관 (4월 이후 실내보관)

최종 발아율 6.0 % (6/100)

13)영서 종피제거 (숙성과 지베릴린 처리 없었음)

최종 발아율 1.0 % (1/100)

Table 6.2.2. ‘영서’ 처리구의 실험결과

영서	종자의 개수	발아한 개체수(5/15)	발아한 개체수(5/27)	발아한 개체수 (6/26)	총 발아수	발아율	기타
1)일반 실험구	500	18	26	0	44	8.8%	
2)암소보관	300	9	18	0	27	9.0%	
3)아벤티스	300	2	7	0	9	3.0 %	
4)지베릴린 비처리	300	2	4	0	6	2.0 %	
5)미숙성	100	0	1	0	1	1.0 %	
6)황산(10%)	100	0	0	0	0	0%	
7)황산 3분	100	0	0	0	0	0%	
8)황산후 지베릴린	100	0	0	0	0	0%	
9)모래후숙	200	9	22	1	32	16.0%	
10)종피제거	100	0	0	0	0	0%	
11)500ppm	100	0	8	0	8	8%	
12)온실	100	0	3	3	6	6%	
13)종피제거-지베X	100	0	1	0	1	1%	

10주간 숙성후 씨그마 지베릴린을 처리하고 4주간 후숙을 한 뒤에 화분에 옮겨 심은 것임. 5월 27, 6월 26에 측정한 값은 기존 측정일자의 개체수를 제외하고 새로 받아들인 숫자임.

<중-산 (중국 산둥)의 실험구>

1)중-산 일반처리구

최종 발아율 83.9 % (839/1000)

2)중-산 암소보관 (숙성에서 과중까지 전 과정을 암소보관)

최종 발아율 73 % (219/300)

3)중-산 아벤티스 지베릴린

최종 발아율 54 % (162/300)

4)중-산 지베릴린 미처리

최종 발아율 11% (33/300)

5)중-산 미숙성(후숙, 지베릴린 처리)

최종 발아율 68% (6/100)

6)중-산 황산처리 (10% 황산에서 1분간, 지베릴린 미처리)

최종 발아율 1.0 % (10/100)

7)중-산 황산처리 (10% 황산에서 3분간, 지베릴린 미처리)

최종 발아율 0.0 % (0/100)

8)중-산 지베릴린 처리후 모래에서 후숙

최종 발아율 86.3 % (259/200)

9)중-산 지베릴린 1시간 30분 처리

최종 발아율 71 % (213/300)

10)중-산 종피 제거 (숙성하지 않았음)

최종 발아율 13.0 % (13/100)

11)중-산 500ppm 지베릴린 처리(씨그마)

최종 발아율 77 % (77/100)

12)중-산 아벤티스 지베릴린 암소처리

최종 발아율 57 % (171/300)

13)중-산 지베릴린 처리후 온실 보관

최종 발아율 43.0 % (43/100)

14)중-산 종피제거 (숙성과 지베릴린 처리 없었음)

최종 발아율 4.0 % (4/100)

15)중-산 야외 보관(숙성,지베릴린,후숙 없음-야외에 화분보관)

최종 발아율 32 % (32/100)

16)중-산 지베릴린 처리후 야외보관

최종 발아율 27 % (27/100)

17)중-산 노천매장 (토양에 묻음)

발아된 유식물 미 발견

*17)의 경우 실험후 남은 종자를 모두 사용(대략 150여개)

Table 6.2.3. '중-산' 처리구의 실험결과

중-산	종자의 개수	발아한 개체수(5/15)	발아한 개체수(5/27)	발아한 개체수(6/26)	총 발아수	발아율
1) 일반 실험구	1000	216	590	33	839	83.9%
2) 암소보관	300	53	162	4	219	73%
3) 아벤티스	300	36	119	7	162	54%
4) 지베릴린 비처리	300	6	22	5	33	11 %
5) 미숙성	100	16	36	16	68	68%
6) 황산(10%)	100	0	0	1	0	1%
7) 황산 3분	100	0	0	0	0	0%
8) 모래후숙	200	17	200	42	259	86.3%
9) 1시간 30분	300	33	169	11	213	71%
10) 종피제거	100	9	4	0	13	13%
11) 500ppm	100	10	62	5	77	77%
12) 아벤티스-암소	300	11	145	15	171	57%
13) 온실	100	43			43	43%
14) 종피	100	2	1	1	4	4%
15) 야외-지베X	100	30		2	32	32%
16) 야외	100	22		5	27	27%
17) 노천매장	미발견(다른 식물 사이에서 발견 못함)					

<‘매송’의 실험구>

1)매송 일반실험구

최종 발아율 0 % (0/200)

<중-광 의 실험구>

1)중-광 일반실험구(과육 제거)

최종 발아율 0 % (0/200)

2)중-광 일반실험구 (과육 비제거) -(숙성,지베,후숙 모두 거침)

최종 발아율 6 % (12/200)

3)중-광 과육 비제거, 지베릴린 비처리구

최종 발아율 4 % (4/100)

나. 광 처리구의 결과

<R(red light) 처리구>

숙성전 처리

1. 숙성전 R 처리-지베릴린 비처리-종피제거

화분 6개(300개) : 발아된 종자수 1개 발아율: 0.33%

2. 숙성전 R 처리-지베릴린 비처리-종피 비제거

화분 6개(300개) : 발아된 종자수 6개 발아율: 2.0%

3. 숙성전 R 처리-지베릴린 처리-종피 비제거

화분 6개(300개) : 발아된 종자수 56개 발아율: 18.6%

숙성후 처리구

4. 숙성후 R 처리-지베릴린 비처리-종피제거

화분 10개(500개) : 발아된 종자수 6개 발아율: 1.2%

5. 숙성후 R 처리-지베릴린 처리-종피제거

화분 10개(500개) : 발아된 종자수 0개 발아율: 0.0%

6. 숙성후 R 처리-지베릴린 비처리-종피 비제거

화분 10개(500개) : 발아된 종자수 38개 발아율: 7.6%

7. 숙성후 R 처리-지베릴린 처리-종피 비제거

화분 10개(500개) : 발아된 종자수 89개 발아율: 17.8%

<FR(far-red light) 처리>

숙성전 처리구

1. 숙성전 FR 처리-지베릴린 비처리-종피제거

화분 6개(300개) : 발아된 종자수 0개 발아율: 0.0%

2. 숙성전 FR 처리-지베릴린 비처리-종피 비제거

화분 6개(300개) : 발아된 종자수 16개 발아율: 5.3%

3. 숙성전 FR 처리-지베릴린 처리-종피 비제거

화분 6개(300개) : 발아된 종자수 31개 발아율: 10.3%

숙성후 처리구

4. 숙성후 FR 처리-지베릴린 비처리-종피제거

화분 10개(500개) : 발아된 종자수 3개 발아율: 0.6%

5. 숙성후 FR 처리-지베릴린 처리-종피제거

화분 6개(300개) : 발아된 종자수 1개 발아율: 0.3%

6. 숙성후 FR 처리-지베릴린 비처리-종피 비제거

화분 6개(300개) : 발아된 종자수 29개 발아율: 9.6%

7. 숙성후 FR 처리-지베릴린 처리-종피 비제거

화분 10개(500개) : 발아된 종자수 141개 발아율: 28.2%

control(dark)

1. 종피 제거구(지베릴린 처리)

화분 6개(300개) : 발아된 종자수 0개 발아율: 0.0%

2. 종피 비제거구(지베릴린 처리)

화분 10개(500개) : 발아된 종자수 101개 발아율: 20.2%

3. 종피 비제거구(지베릴린 비처리)

화분 6개(300개) : 발아된 종자수 15개 발아율: 5.0%

Table 6.2.4. 주요 광 처리구의 실험 결과 비교

처리구 \ 발아율(%)	RED LIGHT	FAR-RED LIGHT	DARK
숙성전처리(지베릴린 비처리)	2.0	5.3	
숙성전처리(지베릴린 처리)	18.6	10.3	
과중전처리(지베릴린 비처리)	7.6	9.6	
과중전처리(지베릴린 처리)	17.8	28.2	
비처리구(지베릴린 비처리)			5.0
비처리구(지베릴린 처리)			20.2

*모든 처리구는 종피를 제거하지 않은 처리구임.

3. 고찰

<일반>

이번 연구에서 가장 큰 문제가 되었던 점은 03년 국내기상 상황이 좋지 못해서 (결실기인 8,9 월에 지속적인 강우로 일조시간이 없고 태풍 ‘매미’를 비롯한 많은 태풍이 지나감) 03년에 생산된 국산 종자의 상태가 양호하지 못해서 전반적으로 발아율이 양호하지 못하게 나온 점이다. 국내 종자는 대부분 속이 빈 쪽정이가 많았다는 점이다. 종자를 채집하기 위하여 03년 10월달에 국내 음나무 자생지를 가보았으나 결실을 확인하지 못하였고 종자 시장에서도 국내 종자는 구하기가 거의 불가능했다. 따라서 이번 연구의 경우 국산 종자의 수가 적고 그 충실도가 좋지 못해서 충분한 통계적 유의성을 갖을 수 있는 수의 대조구를 만들어 내기 힘들었고 국산 종자의 경우 결국 발아율이 좋지 않게 나오게 되었다. 또한 중국산의 경우도 예년에 비해서 종자가 좋지 않은 상태라고 한다. 하지만 중국산 종자의 발아율은 기존의 연구에 비해 크게 문제되지는 않았다.

음나무는 종자의 껍질 부분에 종자의 발아를 억제하는 물질이 있다고 여겨지고 있다. 따라서 과육의 제거와 종피의 제거를 통해 이러한 문제점을 완전히 해결하고자 하였다. 종자의 암소보관의 경우 빛이 종자에 미치는 영향을 최소화하기 위함이었으며, 황산처리구의 경우 종피에 있다고 여겨지는 발아 억제물질을 제거하기 위

함이었으며 종피의 제거도 같은 이유이다. 그리고 지베릴린 1000ppm 은 일반 농가에서 사용하기에는 높은 농도이므로 이를 위해 지베릴린의 농도를 낮추어서도 실험해 보았다. 또 항온저장시 천에 싸서 보관을 하는 경우에는 종자가 일반적으로 모둠에서 떨어져서 땅에 묻히는 상황과 다를수도 있으므로 모래에서 후숙도 해보았다. 그리고 일반적인 토양에 유식물을 묻어서 다른 종과의 경쟁이나 토양의 열고 녹음에 따른 영향을 보고자 하였다.

<지베릴린 처리>

결과적으로 지베릴린 처리에 의한 실험은 높은 발아율을 보였으며 또한 시판되는 일반 지베릴린과 씨그마 알드리치에서 파는 순도높은 지베릴린의 차이와 숙성을 거치지 않았을 경우와의 차이를 보였지만 일반적인 시판 지베릴린으로도 높은 발아율을 얻을 수 있음이 확인되었다.

그리고 지베릴린이 어느 정도 농도 이상되면 시간과 농도는 치명적인 영향이 없는 것으로 나타났으며 일반적으로 1000ppm은 농가에서 만들기 힘든 지베릴린 농도임을 감안하면 500ppm이나 300ppm 정도로도 처리 시간을 늘인다면 비슷한 결과를 보일 것으로 예상된다.

숙성을 거치지 않은 경우가 비교적 비율이 높게 나온 것은 냉장고 암소에서 보관을 하는 것이 모래와 섞지 않았을 뿐 일반적인 숙성 과정과 큰 차이가 없는(종자가 느끼는 동절기의 온도를 두 경우 모두 느끼기 때문에) 이유인 것으로 생각된다. 놀라운 점은 일반 야외에 놓은 화분에서 발아율이 상당히 좋게 나타난 점인데 이는 냉수처리에 의해 휴면타파가 일어나는 것으로 추정됨. 즉 냉수처리를 하면서 동절기 온도로 한번 떨어진 종자가 노천매장을 하면서 다시 한번 동절기 온도로 떨어지면서 휴면타파가 일어나는 것이 아닐까 사료된다. 일반적으로 농가에서도 이러한 냉수 침적법을 사용하여 냉수에(4-5℃) 2-3일 침적한 후에 파종을 하여 아주 높은 발아율은 아니지만 묘목을 양산하기엔 충분한 발아율을 얻는 경우도 있다. 하지만 이러한 일반 야외의 화분에서 발아가 많이 일어나는 것을 미리 예상하지 못한 일이어서 대조구수가 작은 것이 아쉬운 점이다. 또한 화분에 넣은 종자가 아닌 완전한 노천매장을 한 처리구는 발아가 일어나지 않은 것으로 보아 다른 식물(이른봄 성장을 하는 초본)의 영향이 있을 것으로 생각된다. 그리고 냉수 침종이나 온수 침종에 대한 인용문은 있었지만 논문이나 보고서화 된 것은 발견하지 못하였다.

일반적으로 알려진 종피 제거 방법은 오히려 부정적 영향을 미치는 것으로 나왔다. 즉 과육을 제거한 음나무 열매는 종피속에 2개의 종자가 들어가 있는데 종피를 제거하는 것이 좋다고 알려져 있으나 결과적으로 종피를 제거한 처리구의 발아율은 모두 매우 낮은 발아율을 보이고 있다. 이는 수분에 민감한 음나무 종자가 종피를 제거할 경우 쉽게 건조해지기 때문이라 생각이 된다.

암소처리(광 처리구 실험이 아니라 지베릴린 처리구 실험)한 종자가 발아율이 좋게 나왔는데(국산) 이는 빛의 영향을 적게 받기 위하여 암소처리 종자 먼저 작업을 하고 먼저 따로 분리를 했는데 이때에 더 충실한 종자를 사용하게 된 것 같음. (세척시 무거운 종자가 덜 밀려나므로)

그리고 지베릴린의 농도나 숙성의 여부에 따른 발아가 빠르고 늦고는 크게 차이가 없었다. 이는 원래 발아를 할 예정인 종자를 더 일찍 발아시키는 지베릴린의 일반적인 효과에 반해 본 실험의 경우는 발아를 하지 않는 상태에 있는 종자를 발아시키는 역할을 지베릴린이 하는 경우이기 때문으로 생각된다.

<광처리>

광 처리구의 경우 종피 제거는 모두 일괄적으로 5월 17일에 시행하였다.

물론 지베릴린 연구의 결과를 보면 종자의 보호를 위해 광처리 직전에 제거하는 것이 바람직하지만 그럴 경우 숙성전 처리구와 숙성후 처리구의 비교가 힘들어지는 것을 감안, 일괄적으로 5월 17일에 시행하였다. 그러나 결과적으로는 종피를 제거한 실험구의 발아율은 매우 낮았다.

그리고 시간은 1시간으로 넉넉하게 잡았다. 일반적으로 어떠한 정확한 reference가 있는 것은 아니지만 일반적으로 초본의 종자의 경우 5분, 목본의 경우도 10분이면 그 효과가 대부분 나타난다는 보고가 있다. (애기장대의 경우 3분간 처리해 발아를 촉진시킨다) 따라서 음나무의 경우 1시간이면 충분할 것으로 예상된다. 그리고 빛의 흡수를 높게 하기 위하여 종피 제거에 많은 신경을 썼지만 결국 종피 제거한 처리구에서는 발아율이 좋지 않았다. 이는 종피를 완전히 제거할 경우 수분이나 기타 스트레스에 음나무 종자가 약하기 때문인 것으로 생각된다.

far-red 처리구에서는 후숙기간에 발아가 시작된 것을 볼 수 있었으나 결과적으로 숙성후 외에는 발아율이 작았다. 이는 지베릴린 처리와 far-red의 처리로 발아가 진행되었으나 후숙(저온)으로 인해 그 발아가 다시 억제된 것으로 생각된다.

하지만 숙성후 지배릴린 처리구에서는 발아율이 높게 나왔다(photo. 6.2.2).



Photo. 6.2.2. 종자가 발아된 모습

결과를 보면 확연하지는 않지만 red light 의 경우 발아에 상관이 없거나 과중직전의 억제를, 그리고 far-red light 의 경우엔 발아를 어느 정도 촉진하는 결과도 출되었다. (애기장대의 경우 red가 발아촉진, 양상추의 경우 far-red가 발아촉진.) 이는 대다수의 식물이 red light에서 발아가 촉진되는 것과는 다른 결과임을 알 수가 있다. 이는 음지에서 자라는 음나무의 특성상 종자가 litter 밑에 떨어져 동절기를 거칠 경우 종자가 받을 수 있는 빛은 투과력이 강한 far-red light의 비율이 blue, red light보다 높기 때문에 이러한 현상이 진화적으로 음나무에 반영된 것이 아닐까 생각이 된다(Bliss외,1985). 그리고 단색광으로 red나 far-red 하나만을 쬐어주기 보다는 그들의 비율을 조절함과 동시에 온도까지 관여를 해야 일정한 경향을 얻을 수 있을 것으로 생각된다. 하지만 일반적으로 지배릴린 처리만으로 종자의 발아율이 높게 나타나므로 음나무 묘목이나 숲을 대량 생산하는데 광처리는 필수 요소는 아니라고 사료된다.

그리고 전반적으로 음나무의 발아율이 좋지 못한데 이는 음나무의 경우 종자를 오랫동안 보관할 경우 발아율이 현저히 떨어지는 현상과 관련이 있는 듯하다. 음나무 종자는 일반적으로 해를 넘기면(매장하지 않은 상태에서) 발아가 힘든 것으로 알려져 있다. 즉 과육을 제거한 상태로 보관하는 경우가 많은데 이 경우 종자가 수분 스트레스에 약점을 보이는 것으로 알려져 있으며 반면에 과육을 제거하지 않은

경우엔 수분이 적은 경우 과육이 말라 붙어서 제거의 어려움이 있고 수분이 많은 경우엔 과육이 썩으면서 종자도 감염되는 현상이 생긴다.

제3절 광도 저하에 대한 생리적 반응

1. 재료 및 방법

가. 재료

供試樹種은 이태리포플리, 졸참나무, 음나무의 3수종으로, 국립산림과학원에서 제공받았다. 졸참나무와 음나무는 시험을 수행하기 1년 전에 퍼얼라이트와 피트모스를 1 : 1 (v/v)로 담은 화분(상부직경 20cm)에 이식한 1-1묘목이다. 이태리포플리는 15cm의 삼수를 조제하여 다른 수종과 동일한培地에 당년도 삼목한 묘목을 실험재료로 사용하였다(photo. 6.3.1).

공시수종을 冬芽가 開芽하기 전에 광도(PPFD)가 $920\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 과 $80\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로 조정된 生長箱(E15, Conviron) 2대에 각각 5개체씩 육성하였다(Fig. 6.3.1). PPFD $920\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 광도 조건을 강광 시험구, PPFD $80\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 을 약광 시험구로 정의하였다. 육성기간중의 일장은 14시간, 주간온도는 22°C , 야간은 18°C , 상대습도는 RH 90%이며, 시험재료가 건조와 병충해를 받지 않도록 관수와 生長箱 내부의 소독을 빈번히 수행하였다. 生長箱에서 3개월간 육성한 묘목의 동일한 시기에 전개한 成熟葉을 분광특성, 광합성, 엽록소 함량 조사에 공시하였다. 공시재료는 측정을 하는 동안 수분 부족에 의한 영향이 없도록 하루 전에 물을 충분히 공급하고 오전 8:00-10:00 측정을 수행하였다.

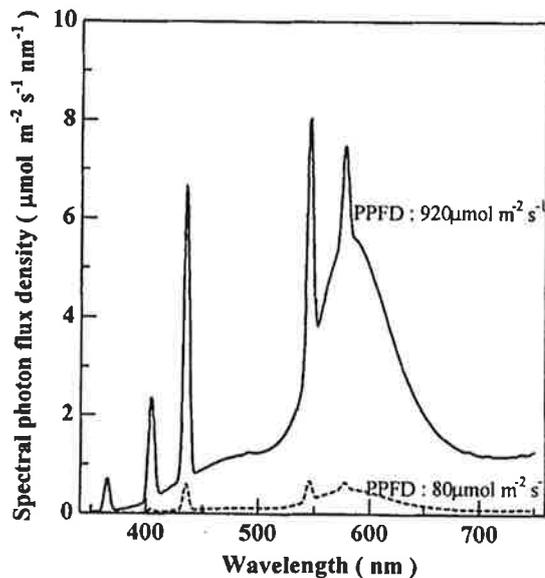


Figure 6.3.1. Spectral photon flux density of the growth chamber (E15, Conviron) was used in this study. The density was measured by a Spectro-radiometer (Li-1800, Li Cor) at 30 cm height.



Photo. 6.3.1. 약광과 강광조건에서 성장한 공시수종. 좌측에서부터 이태리포플러, 졸참나무, 음나무

나. 엽록소함량 및 엽면적 조사

강광과 약광 시험구에서 성장한 3수종의 엽록소 함량과 葉面積을 조사하기 위하여, 모든 개체에서 동일한 시기에 전개한 成熟葉 2매씩을 채취하였다. 채취한 시료를 엽면적계(Li-3100-C, Li Cor)로 측정하고, 중앙 葉脈을 중심으로 선단부의 좌우에서 1cm^2 葉片을 채취하였다. 채취한 절편의 색소를 DMSO (dimethyl sulfoxide)를 사용하여 추출하였다(김관기 등, 1999b; Hiscox and Israelstam, 1979). 추출한 용액의 흡광도를 UV/VIS spectrophotometer (Unicon 933/942, Kotron)를 측정하여 Arnon(1949)의 방법에 따라서 葉面積(g m^{-2})당 엽록소 a , b , $a+b$ 함량과 엽록소 a/b 를 산출하였다.

다. 잎의 분광특성 조사

잎의 분광특성은 김관기 등(1999)과 동일한 방법으로 spectro-radiometer (Li-1800, Li Cor)와 積分球(external integrating sphere; 1800-12S, Li Cor)를 quartz fiber optic probe(1800-10, Li Cor)로 연결하여, 잎의 반사광(reflectance), 투과광(transmittance)을 파장별로 측정하고 반사율과 투과율을 이용하여 흡수율(absorptance)을 산출하였다(흡수율 = $100 - \text{반사율} - \text{투과율}$). 측정 파장역은 390-780nm

이며, 파장간격은 1nm이다.

라. 광합성 측정

광도 및 葉肉內 CO_2 농도변화에 따른 광합성반응(light response curve, $A-C_i$ curve)을 조사하기 위하여, 휴대용 광합성 측정기(Li-6400, Li Cor)를 사용하였다. 측정 앞에 조사되는 빛의 광도와 leaf chamber에 유입되는 공기의 CO_2 농도를 임으로 조절하기 위하여 광합성측정기에 LED light source(6400-02, Li Cor)와 CO_2 injector system(6400-01, Li Cor)을 부착하여 사용하였다(photo. 6.3.2). 측정시간의 변화에 따른 오차를 줄이기 위하여 서울대학교 농업과학공동기기센터가 보유하고 있는 4대의 광합성측정기를 동시에 사용하였다. 이들 광합성측정기는 사용 전에 sodalime / $500\mu\text{mol } CO_2 \text{ mol}^{-1}$ 의 표준가스와, $CaSO_4$ / 노점발생기(Li-610, Li Cor)로 적외선 가스분석장치(IRGA)의 Zeor / SPAN calibration을 수행하였다.



Photo. 6.3.2. 음나무의 광합성특성을 조사하는 모습.

광도변화에 대한 광합성반응 조사는 광합성측정기의 leaf chamber에 유입되는

공기의 유량을 $500\mu\text{mol s}^{-1}$ (약 670ml min^{-1}), 온도를 $25.0\pm 0.2^\circ\text{C}$, CO_2 농도를 $400\pm 2\mu\text{mol mol}^{-1}$ 조건에서 측정하였다. 광도는 PPFD 0, 50, 100, 200, 300, 500, 750, 1000, 1500, $2000\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 10수준으로 조절하였다. 葉肉內 CO_2 농도 변화에 대한 광합성 반응 측정은 광도 PPFD $1000\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서 수행하였으며, leaf chamber에 유입되는 공기의 유량과 온도는 광도 변화에 대한 광합성 반응 측정과 동일한 조건이다. Leaf chamber에 공급되는 공기의 CO_2 농도를 0, 100, 200, 300, 400, 600, $1000\mu\text{mol CO}_2 \text{mol}^{-1}$ 의 7수준으로 조절로 하면서 광합성을 측정함으로써 葉肉內部의 CO_2 농도를 변화시켰다. 葉肉內部의 CO_2 농도는 Farquhar and Sharkey(1982)의 식을 적용하여 산출하였다.

광도별에 광합성 속도를 측정하여 김판기와 이은주(2001a,b,c)가 제시한 방법으로 광-광합성 곡선을 작성하고, 이 곡선에서 純量子收率(apparent quantum yield), 암호흡 속도, 광보상점, 광포화점, 광합성 능력(photosynthetic capacity)을 산출하였다. 純量子收率は Kok 효과(Kok, 1948; Sharp 등, 1984)의 영향이 작은 PPFD 0 - $100\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 영역에서 광과 광합성의 직선회귀선 $y = a + bx$ 의 기울기 b 이다(Evan and Thomas, 2000; Fernando 등, 1997; Martin 등, 1997; Ro 등, 2001). 純量子收率は 약 광 조건에서 광합성 능력의 지표가 되고 광에너지를 화학에너지로 변환시키는 광화학계(photosystem)의 활성을 나타낸다(Evans, 1987; Wilmott and Moore, 1973). 직선회귀선의 x 절편($L_{comp} = -a / b$)을 광보상점(L_{comp})으로, 직선회귀의 연장선과 광도에 따른 광합성 속도의 증가가 매우 완만하게 나타나는 PPFD $1000\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이상에서의 광합성 속도(A_{sat})가 서로 만나는 점점 $L_{sat} = (A_{sat} - a) / b$ 을 산출하여, 그 값을 광포화점(L_{sat})으로 하였다. 광합성 능력은 광포화점보다 높은 광도에서의 광합성 속도를 평균하여 그 값으로 하였다.

광합성 측정기의 leaf chamber에 공급되는 CO_2 농도를 다르게 하여 측정한 광합성 속도의 결과를 사용하여 葉肉內 CO_2 농도(C_i)와 광합성(A)의 관계를 나타내는 $A-C_i$ curve를 작성하고, 이 결과에서 탄소 고정 효율(carboxylation efficiency), CO_2 보상점, 광호흡 속도, 최대 광합성 속도를 산출하였다. 탄소 고정 효율은 C_i 에 따른 광합성의 증가가 직선적으로 이루어지는 C_i $150\mu\text{mol CO}_2 \text{mol}^{-1}$ 이하에서의 회귀직선 $y = a + bx$ 의 기울기 b 이다. 이 값은 광합성에서 CO_2 고정계의 활성을 반영하고 있다(彦坂, 1997; 牧野, 1999; Farquhar 등, 1980). 이 회귀직선에서 y 절편인 a , 즉 C_i 의 값이 $0\mu\text{mol CO}_2 \text{mol}^{-1}$ 일때의 CO_2 교환 속도를 광호흡 속도로 하였다. 이 값을 광호흡 속도의

절대 값으로 간주하기에는 많은 문제점이 있으나, 일반적으로 광호흡속도의 지표로서 사용되고 있다(김판기와 이은주, 2001; 古川, 1978; Ro 등, 2001). 그리고 CO₂보상점(C_{comp})을 직선회귀의 x 절편인 $C_{comp} = -a / b$ 로 산출하였다.

2. 결과

가. 엽 면적과 엽록소 함량 변화

생육 광도 저하가 잎의 수광 표면적과 엽록소 함량에 미치는 영향을 조사하기 위하여 강광과 약광 시험구의 엽면적과 단위 엽면적당 엽록소 함량(a , b , $a+b$) 과 엽록소 a/b 를 조사하였다(Table 6.3.1).

Table 6.3.1. Leaf area and chlorophyll content of *P. euramericana*, *K. pictus* and *Q. serrata* grown under high light intensity (PPFD 920 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) or low light intensity (PPFD 80 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Values are mean \pm standard deviation (n=10).

Tree species	Growing light condition ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Leaf area (cm^2)	Chlorophyll content (g m ⁻²)			Chlorophyll a / b
			a	b	a + b	
<i>P. euramericana</i>	920	32.8(4.7)	2.58(0.39)	0.56(0.10)	3.15(0.48)	4.62(0.22)
	80	13.5(0.6)	1.69(0.10)	0.40(0.10)	2.09(0.12)	4.31(0.24)
<i>K. pictus</i>	920	101.9(16.1)	1.00(0.16)	0.24(0.03)	1.24(0.19)	4.23(0.40)
	80	187.3(33.9)	1.40(0.18)	0.39(0.05)	1.78(0.22)	3.61(0.16)
<i>Q. serrata</i>	920	9.6(1.5)	2.37(0.38)	0.81(0.17)	3.18(0.55)	2.99(0.24)
	80	22.9(2.9)	3.78(0.30)	1.35(0.08)	5.13(0.35)	2.80(0.18)
ANOVA Tree species (A)		***	***	***	***	***
Light conditions (B)		***	**	***	***	***
A \times B		***	***	***	***	n.s.

*** $P < 0.001$, ** $P < 0.01$, * $P < 0.05$, n.s. not significant

강광 시험구의 엽면적은 음나무 > 이태리포플러 > 졸참나무의 順으로 넓었으나, 약광 시험구에서는 음나무 > 졸참나무 > 이태리포플러의 順으로 나타나, 졸참나

무가 이태리포플러보다 넓은 엽면적을 나타냈다. 이태리포플러는 약광 시험구의 엽면적이 강광시험구의 41.2%로 생육 광도 저하에 의하여 엽면적이 좁아졌다. 그러나 음나무와 졸참나무는 약광 시험구가 강광 시험구의 183.8%, 238.5%로 광도저하에 의하여, 엽면적이 약 2배 가량 넓어졌다.

강광 시험구의 단위 엽면적당 엽록소 a 함량은 이태리포플러 > 졸참나무 > 음나무의 순이었으나, 이태리포플러와 졸참나무의 함량차이는 매우 작았다. 엽록소 b 에서는 음나무가 엽록소 a 와 마찬가지로 다른 두 수종에 비하여 낮은 함량을 나타냈으나, 졸참나무는 엽록소 b 의 함량이 이태리포플러보다 높은 값을 나타냈다. 이로 인하여 엽록소 $a+b$ 함량에서 졸참나무가 이태리포플러보다 높은 함량을 나타냈다. 약광 시험구에서는 엽록소 a , b , $a+b$ 모두 졸참나무가 가장 높은 값을 나타내고 음나무가 가장 낮은 값을 나타냈다. 그리고 약광 시험구와 강광 시험구를 서로 비교하면, 이태리포플러의 경우는 약광 시험구의 엽록소(a , b , $a+b$) 함량이 낮아져, 생육 광도 저하에 의하여 엽록소 함량이 감소함을 알 수 있었다. 특히 엽록소 a 는 엽록소 b 에 비하여 높은 감소를 나타내, 엽록소 a/b 를 저하시키는 요인이 되었다. 반면, 음나무와 졸참나무는 약광 시험구가 강광 시험구에 비하여 높은 엽록소(a , b , $a+b$) 함량을 나타내, 생육 광도 저하에 의하여 엽록소 함량이 증가하였음을 알 수 있었다. 그리고 엽록소 b 는 엽록소 a 보다 높은 증가율 나타냄으로서 엽록소 a/b 를 저하시켰다. 엽록소 b 의 증가로 인한 엽록소 a/b 의 저하는 음나무는 졸참나무에 비하여 현저하게 나타났다.

나. 잎의 분광특성 변화

光受容 色素의 작용스펙트럼을 반영하고 있는 잎의 분광특성을 조사하기 위하여 반사율(reflectance)과 투과율(transmittance)을 측정하고(Fig. 6.3.2), 이를 사용하여 흡수율(absorptance)을 산출하였다(Table 6.3.2).

잎의 반사율(400-700nm)은 3수종 모두 약광 시험구가 강광 시험구보다 낮은 값을 나타내, 생육 광도 저하에 의하여 잎의 빛 반사율이 감소함을 알 수 있었다. 특히 음나무와 졸참나무는 이태리포플러에 비하여 생육 광도 저하에 의한 반사율의 감소가 크게 나타났다. 그리고 광합성 유효 파장영역 중에서도 500-650nm 파장영역에서 兩 試驗區間의 차이가 크게 나타나, 이 파장영역에서 광도저하에 의한 반사율의 감소가 나타남을 알 수 있었다. 한편 잎의 빛 투과율은 반사율과 마찬가지로 500-650nm에서는 兩 試驗區間의 차이가 크게 나타났는데, 이태리포플러는 약광 시

험구에서 성장한 개체가 강광 시험구에 비하여 높은 투과율을 나타냈다. 그러나 음나무와 졸참나무는 이태리포플러와는相反되게 약광 시험구가 강광 시험구보다 낮은 투과율을 나타내, 생육 광도 저하에 의하여 이태리포플러는 빛의 투과율이 증가하고 음나무와 졸참나무는 감소함을 알 수 있었다.

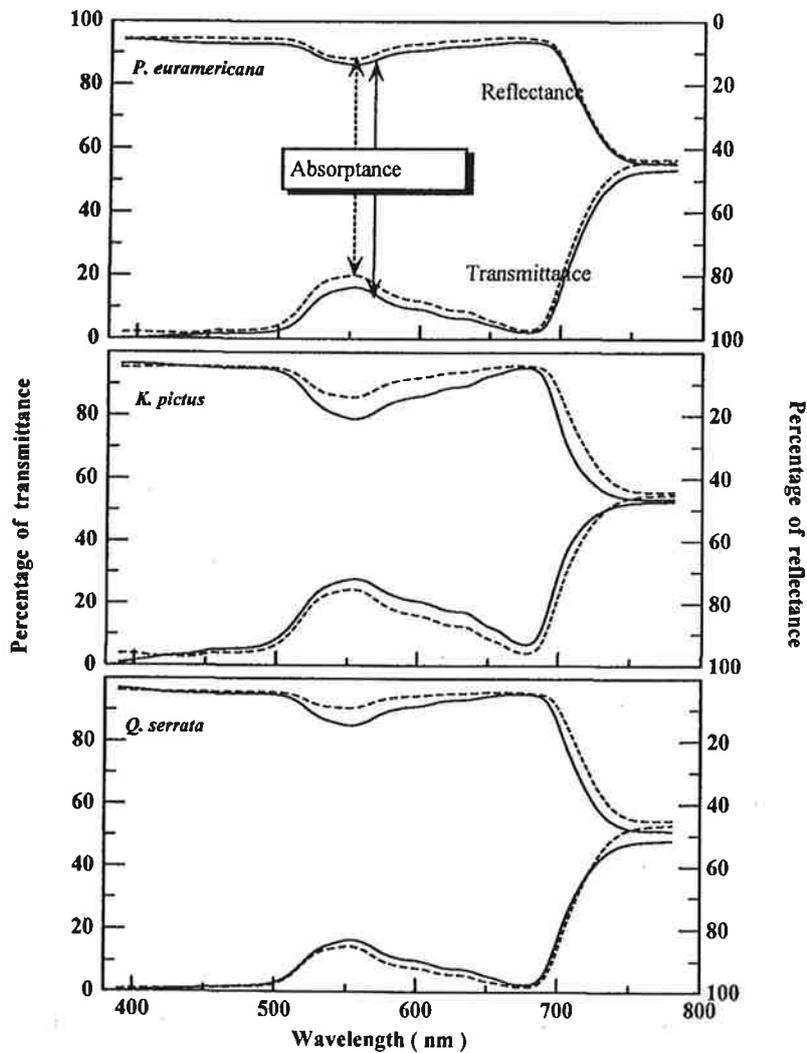


Figure 6.3.2. Foliar spectral properties of *P. euramericana*, *K. pictus* and *Q. serrata* grown under two different light intensities. Bold and dotted lines indicate foliar spectral properties under PPF 920 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ and PPF 80 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectively.

Table 6.3.2. Spectral absorption of *P. euramericana*, *K. pictus* and *Q. serrata* grown under high light intensity (PPFD 920 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) or low light intensity (PPFD 80 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Values are mean \pm standard deviation (n=5).

Tree species	Growing light condition ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Violet (400-430nm)	Blue (430-470nm)	Blue-green (470-500nm)	Green (500-580nm)
<i>P. euramericana</i>	920	93.1 (0.7)	91.6 (0.6)	90.9 (0.6)	77.1 (1.6)
	80	92.5 (0.3)	92.3 (0.2)	91.4 (0.4)	75.3 (3.5)
<i>K. pictus</i>	920	93.6 (0.9)	90.9 (0.3)	88.7 (0.5)	61.6 (2.4)
	80	92.3 (0.3)	92.1 (0.2)	90.6 (0.3)	69.8 (2.0)
<i>Q. serrata</i>	920	95.2 (0.5)	93.8 (0.4)	93.0 (0.2)	76.5 (0.8)
	80	94.9 (0.0)	94.5 (0.1)	93.9 (0.1)	81.7 (0.2)
MANOVA	Tree species (A)	***	***	***	***
	Light conditions (B)	*	**	***	**
	A \times B	n.s.	n.s.	n.s.	*

Tree species	Growing light condition ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Yellow (580-600nm)	Orange (600-650nm)	Red (650-700nm)	PAR (400-700nm)
<i>P. euramericana</i>	920	80.4 (1.4)	85.0 (1.0)	88.3 (0.6)	85.4 (1.0)
	80	79.8 (3.0)	84.7 (2.1)	88.1 (1.3)	84.9 (1.8)
<i>K. pictus</i>	920	63.7 (3.3)	71.7 (2.8)	80.0 (1.6)	76.3 (1.5)
	80	74.4 (1.8)	80.9 (1.3)	86.6 (0.6)	82.1 (1.0)
<i>Q. serrata</i>	920	79.6 (1.0)	85.1 (0.7)	89.0 (0.2)	86.0 (0.3)
	80	85.8 (0.2)	89.4 (0.1)	91.5 (0.1)	89.1 (0.1)
MANOVA	Tree species (A)	***	***	***	***
	Light conditions (B)	**	***	***	**
	A \times B	*	**	***	**

*** $P < 0.001$, ** $P < 0.01$, * $P < 0.05$, n.s. not significant

잎의 반사율(400-700nm)은 3수종 모두 약광 시험구가 강광 시험구보다 낮은 값을 나타내, 생육 광도 저하에 의하여 잎의 빛 반사율이 감소함을 알 수 있었다. 특히 음나무와 졸참나무는 이태리포플러에 비하여 생육 광도 저하에 의한 반사율의 감소가 크게 나타났다. 그리고 광합성 유효 파장영역 중에서도 500-650nm 파장영역에서

兩 試驗區間의 차이가 크게 나타나, 이 과장영역에서 광도저하에 의한 반사율의 감소가 나타남을 알 수 있었다. 한편 잎의 빛 투과율은 반사율과 마찬가지로 500-650nm에서는 兩 試驗區間의 차이가 크게 나타났는데, 이태리포플러는 약광 시험구에서 생장한 개체가 강광 시험구에 비하여 높은 투과율을 나타냈다. 그러나 음나무와 졸참나무는 이태리포플러와는 相反되게 약광 시험구가 강광 시험구보다 낮은 투과율을 나타내, 생육 광도 저하에 의하여 이태리포플러는 빛의 투과율이 증가하고 음나무와 졸참나무는 감소함을 알 수 있었다.

반사율과 투과율의 나머지에 해당하는 흡수율(= 100 - 반사율 - 투과율)은 이태리포플러의 경우 녹색광 과장영역(500-580nm)에서 약광 시험구가 강광 시험구에 비하여 약간 낮을 뿐, 兩 試驗區間의 큰 차이가 없었다. 그리고 광합성 유효 과장영역인 400-700nm의 평균적인 빛 흡수율에서도 약광 시험구가 강광 시험구보다 잎의 빛 흡수율이 약간 저하되어 있을 뿐, 兩 試驗區間의 큰 차이는 없었다. 그러나 음나무와 졸참나무는 400-700nm의 과장영역 중에서 보라색광 과장영역(400-430nm)에서만 약광 시험구가 강광 시험구보다 낮은 흡수율을 나타내고, 그 이상의 長波長領域(430-700nm)에서는 약광 시험구가 강광 시험구에 비하여 현저하게 높은 흡수율을 나타냈다. 특히 음나무는 녹색광 과장영역에서 약광 시험구가 강광 시험구보다 8.2%포인트, 황색광 과장영역(580-600nm)에서 10.7%포인트, 주황색광 과장영역(600-650nm)에서 9.2%포인트 높은 흡수율을 나타냈다.

다. 광-광합성 곡선

측정 잎에 照射되는 광도를 서로 달리하면서 측정한 광합성속도를 사용하여 광-광합성 곡선을 작성하였다(Fig. 6.3.3). 광-광합성곡선의 낮은 광도영역에서는 광도에 비례하여 광합성속도도 상승하였는데, 이 영역에서는 3수종 모두 약광 시험구가 강광 시험구에 비하여 높은 광합성을 나타냈다. 그러나 광도가 상승함에 따라서 강광 시험구의 광합성속도 상승속도가 높아져 약광 시험구보다 높은 광합성속도를 나타냈다. 여기서 높은 광합성속도를 나타내던 약광 시험구가 강광 시험구의 광합성속도보다 낮아지는 접점을 살펴보면, 이태리포플러는 $PPFD\ 94\mu\text{mol}\ \text{m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$, 음나무는 $PPFD\ 196\mu\text{mol}\ \text{m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$, 졸참나무는 $102\mu\text{mol}\ \text{m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$ 로 나타나, 음나무가 생육 광도 저하로 인한 약광조건에서의 광합성 상승이 다른 두 수종에 비하여 높은 광도영역까지 지속되고 있음을 알 수 있다.

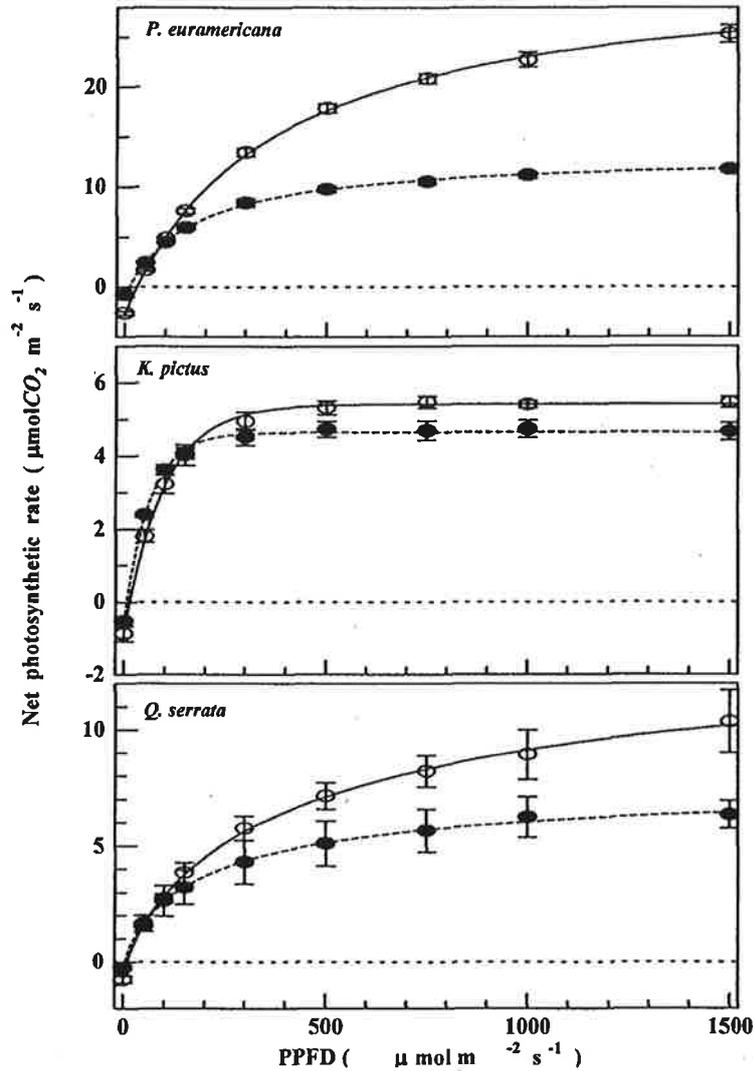


Fig. 6.3.3. Light response curves to photosynthesis of *P. euramericana*, *K. pictus* and *Q. serrata* seedlings grown under two different light intensities. Bold and dotted lines indicate light response curves to photosynthesis of seedlings grown under PPFD 920 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ and PPFD 80 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectively. Measurements were made at 25°C chamber temperature, 36 Pa CO₂ partial pressure and 65-70% RH.

Table 6.3.3. Light compensation and saturation points, dark respiration, photosynthetic capacity and apparent quantum yield calculated from the light response curves to photosynthesis in Figure 3. Values are mean \pm standard deviation (n=5).

Tree species	GLC ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Light compensation point ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Light saturation point ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Dark respiration rate ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Maximum photosynthesis rate ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Apparent quantum yield (mmol mol^{-1})
<i>P. euramericana</i>	920	32.4 (1.8)	639.4 (6.6)	2.60 (0.19)	27.23 (0.82)	67.6 (0.5)
	80	10.8 (2.7)	387.4 (16.4)	0.77 (0.20)	12.33 (0.33)	44.3 (2.5)
<i>K. pictus</i>	920	18.5 (1.1)	282.6 (13.1)	0.88 (0.21)	5.67 (0.37)	41.1 (3.6)
	80	5.9 (1.0)	149.9 (3.5)	0.53 (0.05)	4.82 (0.24)	41.6 (1.2)
<i>Q. serrata</i>	920	15.6 (1.9)	453.7 (51.2)	0.76 (0.15)	11.18 (1.83)	35.0 (3.4)
	80	3.7 (0.2)	282.2 (52.8)	0.27 (0.05)	6.60 (0.36)	29.0 (7.2)
MANOVA	Tree species (A)	***	***	***	***	***
	Light condition(B)	***	***	***	***	***
	A \times B	***	**	***	***	***

*** $P < 0.001$, ** $P < 0.01$, * $P < 0.05$, *n.s.* not significant

광-광합성 곡선을 토대로하여 광보상점, 광포화점, 암호흡, 광합성능력, 純量子收率을 산출하였다(Table 6.3.3.). 이태리포플러는 광보상점, 광포화점, 광도가 $0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 일 때의 CO_2 교환속도인 암호흡, 광합성능력이 다른 두 수종에 비하여 높은 값을 나타냈다. 그리고 광에너지를 화학에너지로 변환시키는 광화학계의 활성을 나타내는 純量子收率が 다른 두 수종에 비하여 높은 값을 나타냈다. 시험구에 따라서는 약광 시험구가 강광 시험구에 비하여 광보상점과 광포화점이 낮고, 암호흡 및 광합성능력, 純量子收率が 모두 낮았다. 생육 광도 저하에 의한 광보상점, 광포화점, 암호흡, 광합성능력의 저하는 음나무와 졸참나무에서도 나타났으나, 음나무는 졸참나무나 이태리포플러에 비하여 암호흡과 광합성능력의 저하가 비교적 작은 경향을 나타냈다. 그리고 음나무의 純量子收率は 다른 두 수종과는 달리 약광 시험구가 강광 시험구에 비하여 높은 값을 나타내, 생육 광도 저하에 의하여 음나무의 純量子收率 증대됨을 알 수 있었다.

라. 葉肉內 CO_2 농도에 대한 광합성 곡선

Leaf chamber에 도입되는 공기의 CO_2 농도를 조절하여 측정된 광합성과

Farquhar and Sharkey(1982)의 식을 적용하여 산출한 葉肉內 CO₂농도를 사용하여 A-Ci curve를 작성하였다(Fig. 6.3.4). 그리고 이 A-Ci curve를 토대로 CO₂보상점 광호흡속도, 최대 광합성속도, 탄소고정효율을 산출하였다(Table 4).

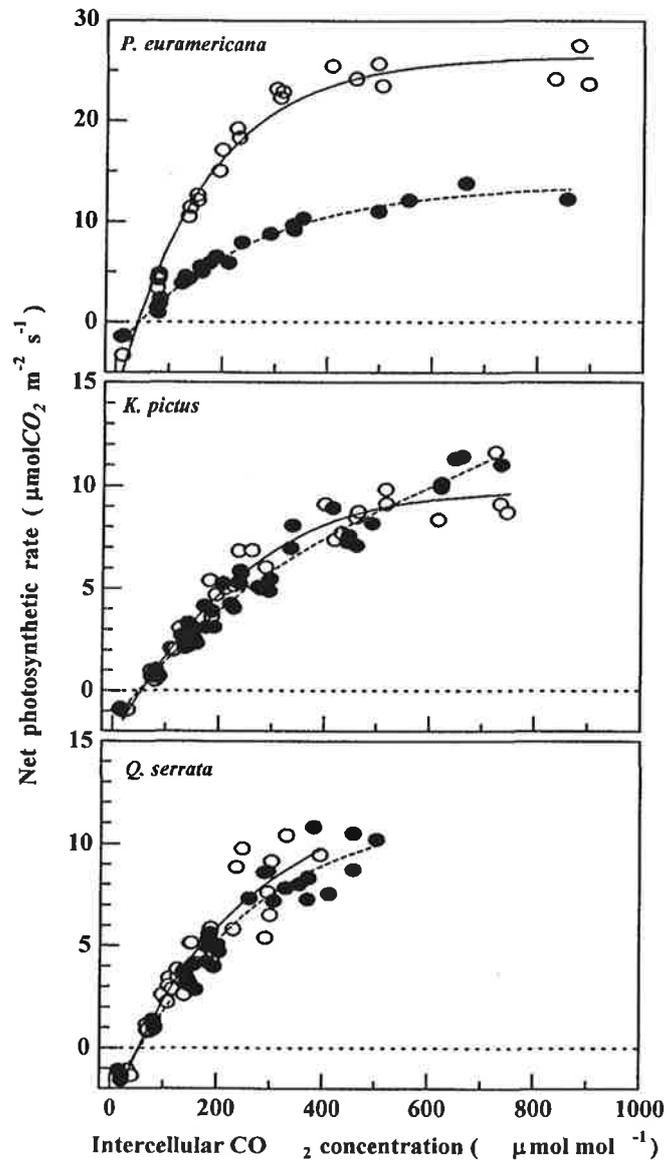


Figure 6.3.4. A-Ci curves of *P. euramericana*, *K. pictus* and *Q. serrata* grown under two different light intensities. Bold and dotted lines indicate A-Ci curves of seedlings grown under PPFD 920 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ and PPFD 80 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectively. Measurements were made at 25°C chamber temperature, 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ quanta and 65-70% RH.

Table 6.3.4. CO₂ compensation points, carboxylation efficiency, photo-respiration and maximum net photosynthesis calculated from the *A-Ci* curves in Figure 4. Values are mean ± standard deviation (n=5).

Tree species	Growing light condition ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	CO ₂ compensation point ($\mu\text{molCO}_2 \text{ mol}^{-1}$)	Photo respiration rate ($\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	Maximum photosynthesis rate ($\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	Carboxylation efficiency ($\text{mmolCO}_2 \text{ mol}^{-1}$)
<i>P. euramericana</i>	920	42.3 (0.8)	4.82 (0.18)	25.68 (1.14)	113.8 (2.6)
	80	43.3 (3.4)	2.06 (0.16)	12.28 (1.00)	47.7 (1.3)
<i>K. pictus</i>	920	54.4 (3.0)	1.89 (0.16)	9.51 (1.10)	34.9 (3.6)
	80	49.8 (3.3)	1.39 (0.08)	9.69 (1.01)	28.2 (3.5)
<i>Q. serrata</i>	920	55.7 (4.9)	2.98 (0.30)	9.52 (0.53)	53.5 (2.4)
	80	53.5 (3.1)	2.04 (0.30)	9.48 (1.06)	37.9 (4.1)
MANOVA Tree species (A)		***	***	***	***
Light Conditions(B)		n.s.	***	***	***
A × B		n.s.	***	***	***

*** $P < 0.001$, ** $P < 0.01$, * $P < 0.05$, n.s. not significant

광도 PPFD $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서의 광호흡속도는 이태리포플러 > 졸참나무 > 음나무의 순으로 높았으며, 시험구에 따라서는 약광 시험구가 강광 시험구보다 낮은 광호흡속도를 나타내 생육 광도 저하에 의하여 광호흡이 감소하였음을 알 수 있었다. 생육 광도 저하에 의한 광호흡이 감소를 수종별로 살펴보면, 이태리포플러는 약광 시험구의 광호흡속도가 강광 시험구의 42.7%이며, 음나무는 73.5%, 졸참나무는 68.5%로 이태리포플러가 생육 광도 저하에 의한 광호흡속도의 감소가 다른 두 수종에 비하여 현저하게 나타났다.

CO₂보상점은 졸참나무가 가장 높고, 그 다음으로 음나무 > 이태리포플러의 순으로 낮았다. 시험구에 따라서는 이태리포플러의 약광 시험구가 강광 시험구보다 약간 높은 값을 나타내고, 음나무와 졸참나무는 이태리포플러와는 반대로 약광 시험구가 강광 시험구보다 약간 낮은 값을 나타냈다. 그러나 통계적(2원배치 분산분석) 유의성 ($P < 0.05$)은 없었다.

A-Ci curve에서 최대 광합성속도를 살펴보면, 음나무와 졸참나무에 유사한 값으로 이태리포플러에 비하여 현저하게 낮은 값을 나타냈다. 그러나 음나무와 졸참나

무는 약광 시험구가 강광 시험구 간의 차이가 비교적 작았으나, 이태리포플러는 약광시험구가 강광시험구의 절반에 미치지 못하였다.

탄소고정효율은 이태리포플러가 다른 두 수종에 비하여 높은 값을 나타냈으며, 졸참나무 > 음나무의 순으로 나타났다. 가장 높은 탄소고정효율을 나타낸 이태리포플러는 약광조건에서 성장한 개체의 탄소고정효율이 강광조건인 41.9%, 졸참나무는 70.8%, 음나무는 80.8%로 저하되어, 탄소고정효율이 높은 수종일수록 생육 광도 저하에 의한 탄소고정효율의 저하가 현저하게 이루어짐을 알 수 있었다.

마. 수분이용효율의 변화

임간재배시의 광도저하가 음나무의 수분생리에 미치는 영향을 검토하기 위해서, 증산작용에 의해서 수분이 방출되는 양(T_r)과 광합성작용에 의해서 CO_2 를 흡수·고정하는 양(P_n)의 비율(P_n/T_r)을 전년도에 광도변화에 대한 광합성의 변화를 조사하기 위해서 휴대용 광합성측정기(Li-6400, Li Cor Inc.)로 측정된 광합성속도와 증산속도의 값을 사용하여 광도(PPFD) 별로 산출하였다. 여기에서 산출한 값으로 광-수분이용효율을 나타냈다(fig. 6.3.5).

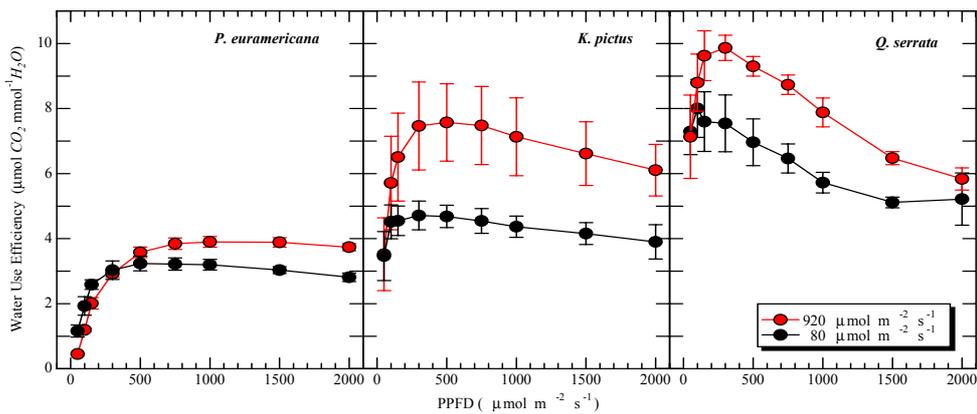


Fig. 6.3.5. 휴대용 광합성측정기(Li-6400, Li Cor Inc.)로 측정된 자료로부터 산출한 수분이용효율

광포화점 이하의 낮은 광도영역에서는 세 수종 모두 생육 광도조건과는 무관하게 동일한 값을 나타냈다. 광도가 점차증가하면서 수분이용효율이 높아졌으며, 수분이용효율의 상승과 더불어 높은 광도에서 성장한 개체의 값이 낮은 광도에서 성장한

개체보다 높은 값을 나타내기 시작하여 높은 광도영역까지 지속되었다. 그리고 강광장해(photoinhibition)를 받기 쉬운 높은 광도영역에서는 수분이용효율의 저하가 나타났다. 특히 졸참나무는 광도가 PPF_D 100-300 $\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 을 넘어서면서 수분이용 효율이 급격하게 저하하여 PPF_D 2000 $\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서는 가장 낮은 광도에서의 수분이용효율보다 낮은 값을 나타냈다.

이상의 결과로 임간(林間)과 같이 낮은 광도조건에서 음나무를 재배하는 경우, 토양 수분이 부족해지면 기공폐쇄에 의한 가스교환 장애 등과 같은 기초적 생리작용이 장애를 받아 생장이 저하될 가능성이 시사되었다.

3. 고찰

가. 빛의 흡수 · 이용효율증대

광도가 낮은 환경조건에서 성장하는 수목은 주어진 환경에 적응한 잎이 형성되어(Boardman, 1977), 낮은 광도조건에서도 효율적인 광합성을 수행할 수 있도록 형태적 · 생리적 특성이 변화되어 있다(Bjorkman, 1981; Chazdon and Kaufmann, 1993). 이러한 잎은 강광조건에서 성장한 수목의 잎에 비해서 受光량과 빛의 흡수 · 이용효율을 높도록 葉面積이 넓고, 엽록소함량이 높다(Adams 등, 1990; Evans, 1994). 특히 광화학계II(photosystem II)의 반응 단백질 중의 하나인 集光蛋白質複合體 LHC II (light harvesting chl-protein complex II)의 함량과 상관성이 높은 엽록소 b 의 함량 높으며, 이로 인하여 엽록소 a/b 가 낮다(Evans, 1989; Terashima and Hikosaka, 1995). 林床에서 생육하는 陰生植物은 엽록소 b 를 증가시켜(Fails 등, 1982) 상층부 임관의 葉層에 의한 흡수율이 낮은 500-650nm의 빛 흡수율을 높이는 것으로 알려져 있다. 그리고 수중에 따라서는 광-광합성곡선에서 산출하는 純量子收率이 저하되기도 하는데, 이 純量子收率は 광에너지를 화학에너지로 변환시키는 광화학계I의 활성을 반영하고 있는 것으로(Evans, 1987; Wilmott and Moore, 1973), 낮은 광도에 대한 적응력이 높은 식물은 微微한 저하를 보이거나 상승한다(Wilmott and Moore, 1973). 이러한 특징을 토대로 하여 본 연구의 결과를 생육 광도저하에 대한 반응율(=약광조건/강광조건 \times 100)로 산출하여 살펴보고자 한다(Table 6.3.5).

양수로 알려진 이태리포플러는 낮은 광도조건에서 엽면적 및 엽록소함량이 감소하고(Table 6.3.1), 광합성 유효 파장역(PAR)의 빛 흡수율이 저하하며(Fig. 6.3.2,

Table 6.3.2), 純量子收率(Fig. 6.3.3, Table 6.3.3)의 저하가 다른 두 수종에 비하여 현저하게 나타난다. 이러한 이태리포플러의 반응은 낮은 광도조건에서 생존할 수 있도록 빛의 흡수 · 이용효율을 높이는 반응과는 상반된 결과이다.

Table 6.3.5. Ratios of morphological and physiological parameters measured in low light intensity to those in high light intensity.

	<i>P. euramericana</i>	<i>K. pictus</i>	<i>Q. serrata</i>
Leaf area	41.2	183.8	238.5
Chlorophyll <i>a+b</i>	66.3	166.9	161.3
<i>a/b</i>	93.3	85.3	93.6
Light absorptance (400-700nm)	99.4	107.6	103.6
Photosynthetic characteristics			
Light response curve			
Light compensation point	33.3	31.9	23.7
Light saturation point	60.6	53.0	62.2
Dark respiration rate	29.6	60.2	35.5
Photosynthetic capacity	45.3	85.0	59.0
Apparent quantum yield	65.6	101.2	82.9
<i>A-Ci</i> curve			
CO ₂ compensation point	102.4	91.5	96.1
Photo respiration rate	42.7	73.5	68.5
Max. photosynthesis rate	47.8	101.9	99.6
Carboxylation efficiency	41.9	80.8	70.8

반면, 이태리포플러보다 내음성 수준이 높은 음나무는 葉面積과 엽록소함량의 증가로 受光量과 빛 흡수율을 증대시키는 반응을 나타내고, 엽록소 *b*의 현저한 증가를 통한 集光效率과 높아져 있음을 알 수 있었다. 그리고 광합성 유효 파장영역의 빛 흡수율이 전체적으로 상승되었으며, 生葉의 빛 흡수율에 대한 기여도가 높고 (Inada, 1980), 임관 상부의 엽층에 의한 흡수율이 낮은(佐々木, 1979; Holmes and Smith, 1975) 파장영역인 500-650nm 흡수율이 현저하게 상승하는 반응을 나타냈다.

이것은 음나무의 엽록소 b 의 증가량이 현저하게 높다는 점과 일치하는 결과이다. 또한 광-광합성곡선에서 산출한 純量子收率이 증가된 점으로 보아 광화학계의 활성화도 상승되어있음을 알 수 있다. 이러한 결과는 음나무가 낮은 생육 광도조건에 대한 受光量과 빛의 흡수·이용효율을 증대하는 적응반응이 높음을 의미한다.

줄참나무는 생육 광도 저하에 의하여 純量子收率이 감소하였는데, 양수인 이태리포플러보다는 감소율이 적었다. 그러나 受光量을 높일 수 있는 엽면적의 증가가 음나무나 이태리포플러에 비하여 현저하게 높게 나타나고, 엽록소 $a+b$ 의 증가와 엽록소 a/b 의 저하를 통한 빛의 흡수효율을 증대시키는 반응이 음나무와 유사한 수준으로 나타난다. 따라서 줄참나무는 생육 광도의 저하에 대한 적응반응이 광화학계의 활성증대를 통한 빛의 이용효율을 증대보다는 受光面積과 吸收效率 높여 受光量을 증대시키는 적응반응에 치중하는 것으로 생각된다.

나. 호흡에 의한 손실 감소

낮은 광도에 적합한 식물의 잎(陰葉)은 높은 광도에서 성장한 잎(陽葉)에 비하여 광-광합성곡선에서의 PFD $0\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서의 암호흡속도가 낮고(광-광합성곡선에서는 상승), 광보상점과 광포화점이 낮은 광도에 위치하는 현상은 과거의 많은 연구에 의하여 알려져 있다(Boardman, 1977). 그러나 암호흡은 식물의 성장과 유지에 필요한 基質이나 물질의 합성에 필요한 에너지를 공급하는데 매우 중요한 역할을 수행하고 있으므로, 암호흡이 감소하면 광합성능력과 성장속도가 저하한다(野口, 1999; McCree, 1970). 광호흡은 광합성의 탄소고정반응계(암반응)에서 발생하는 호흡으로서 광도 및 광합성속도가 높을수록 크다(Jackson and Volk, 1970). 광호흡의 역할에 대해서는 불명확한 점이 많으나, 암호흡과 마찬가지로 생명유지와 물질의 합성에 필요한 에너지 공급에 기여를 하며(Werf 등, 1988), 과도한 광량자 흡수에 의하여 발생하는 光阻害(photoinhibition)를 완화시키는 기능이 있는 것으로 알려져 있다(Kozaki and Takeba, 1996).

본 연구에서는 3수종 모두 광도저하에 의하여 호흡이 감소하는 반응을 나타내고 있으나, 음나무는 다른 두 수종에 비하여 암호흡 및 광호흡의 감소가 적고, 호흡감소에 대한 광합성능력(광-광합성곡선의 광포화점보다 높은 광도에서의 광합성속도)의 저하도 적다. 이것은 호흡에 의하여 발생한 에너지를 생명유지와 물질의 합성활동에 효율적으로 사용하고 있음을 의미한다. 반면, 줄참나무는 암호흡 및 광호흡의 감소율

이 가장 높은 이태리포플러보다 호흡감소에 대한 광합성능력의 저하가 크게 나타나, 호흡에너지의 효율성이 낮아졌음을 나타냈다. 그러나 耐陰性 수종 중에는 낮은 호흡으로 성장속도를 저하시켜 물질의 손실을 최대한 억제함으로써 낮은 광도조건에서 장기간 생존을 유지하는 적응반응을 나타내는 경우가 있다(Hutchinson, 1967). 따라서 음나무와 졸참나무의 호흡반응 중에서 어느 수종이 낮은 광도에 유리한 적응반응을 나타냈는가를 판정하기는 곤란하다.

다. 광합성계의 적응 반응

낮은 광도에 성장하는 식물은 前述한 바와 같이 엽록소a와 엽록소b와 결합하여 빛을 흡수하여 화학에너지로 전환시키는 광화학계II에 함유된 LHC II의 양이 높아진다. 그러나 광화학계II의 전자전달을 수행하는 단백질의 전체적인 함량이나, 암반응의 탄소고정계 효소인 rubisco 및 가용성 단백질의 함량은 감소한다(Evans, 1989; Terashima and Hikosaka, 1995). 따라서 약광조건에 적응한 잎은 광화학계의 활성이 증가하여 광-광합성곡선의 낮은 광도영역, 즉 광합성속도가 광도에 의존하는 초기단계에서는 높은 광도에서 성장한 개체에 비하여 높은 광합성속도를 나타내나, 충분한 광이 공급되는 광포화점 이상의 광도에서는 전자전달계 단백질과 rubisco의 함량이 적으므로 낮은 광합성을 나타낸다(김판기 등, 1999a). 이것은 식물이 광합성계 단백질에 대한 질소배분을 통하여 낮은 광도에서의 광합성 효율을 증진시킨 결과로 평가되고 있다(Makino 등, 1997). 본 연구에서도 생육 광도가 저하하면 광-광합성곡선의 초기단계의 광합성이 상승하고, 광포화점보다 높은 광도에서는 광합성이 저하하는 현상이 3수종 모두 나타났다. 특히 음나무는 광-광합성의 초기단계에서 나타나는 광합성의 상승이 이태리포플러와 졸참나무에 비하여 높은 광도영역까지 지속되고 純量子收率이 증가하는 반응을 나타내 광도저하에 대한 높은 적응반응을 나타냈다. 또한 음나무는 광-광합성곡선의 높은 광도영역에서의 광합성도 다른 두 수종의 저하율에 비하여 낮게 나타나는 현상을 보여, 광합성의 암반응에 해당하는 탄소고정계의 적응반응도 시사된다. 이를 보다 명확하게 구명하기 위해서, Farquhar 등(1980)에 의하여 이론적으로 모델화되고, Sharkey(1985)에 의하여 일부 수정되어, 최근에는 광합성 해석에 일반적으로 사용되고 있는, $A-C_i$ curve를 토대로 하여 세 수종의 낮은 광도에 대한 탄소고정계의 적응반응을 살펴보고자 한다. 이 이론에 의하면 $A-C_i$ curve에서 葉肉內 CO_2 농도가 낮은 영역에서의 광합성은 葉肉內의 CO_2

擴散 傳導度와 rubisco효소의 CO₂고정 능력에 의하여 결정되며, 이 영역의 직선회귀의 기울기를 탄소고정효율이라 한다. 대기의 CO₂농도보다 높아지면 광화학계II의 電子傳達 活性에 의하여 결정되며, 葉肉內 CO₂농도가 더 높아지면 광합성산물 생산에 따른 무기인산의 재생속도에 의하여 광합성이 결정된다. 본 연구에서는 A-Ci의 초기 단계의 기울기인 탄소고정효율이 세 수종 모두 낮아지는 반응을 나타내 rubisco의 함량이 감소하였음을 확인할 수 있었는데, 음나무와 졸참나무는 강광조건에서 생장한 개체의 80.8%, 70.8%로 이태리포플러의 41.9%에 비하여 탄소고정효율의 감소가 매우 微微하다. 그리고 무기인산의 재생속도를 반영하고 있는 최대광합성속도에서도 음나무와 졸참나무는 큰 변화가 없었으나, 이태리포플러는 절반이하로 저하하는 경향을 나타낸다.

이상의 결과를 종합하면 양수인 이태리포플러는 약광조건인 PPFD 80 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 광도가 매우 큰 스트레스로 작용되어 생장과 적응에 필요한 물질생산을 억제하고 있다. 그러나 이태리포플러보다 내음성이 수준이 높은 음나무와 졸참나무는 수광량 및 광이용효율을 증대시키는 적극적인 적응반응을 나타내면서도, 탄소고정계 단백질의 감소 등을 통하여 이루어지는 물질배분이 나타나지 않은 점으로 보아, 微微한 환경스트레스로 작용하였으리라 생각된다.

제4절 수령증가에 따른 생리적 변화

1. 재료 및 방법

가. 재료

강원도 양양의 음나무 재배단지에서 식재된 1-1, 1-4, 1-7, 1-10을 임상(forest floor)과 노지(nursery)에서 3-8본씩 선정하여 측정목으로 하였다. 측정목은 병충해에 대한 피해가 비교적 적은 개체이며, 동일 연령의 개체 중에서 평균적인 생장을 나타내는 개체이다. 측정목은 측정도중에 수분스트레스에 의한 영향이 없도록 측정 전날에 충분한 관수를 하였다. 측정엽의 남쪽 방향의 임관 상부에 위치하는 성숙엽이다.

나. 광합성 측정

광도변화에 대한 광합성반응과 葉肉內CO₂分壓 변화에 대한 광합성반응을 수분스트레스의 영향을 작게 받는 오전 7:00~10:00 사이에 측정하였다. 측정은 LED light source(6400-02, Li Cor)와 CO₂ injector system(6400-01, Li Cor)을 부착한 휴대용 광합성 측정기(Li-6400, Li Cor)를 사용하였다. 측정조건은 김판기 등(2001)과 동일하며, 葉肉內CO₂分壓은 Farquhar and Sharkey (1982)의 식을 적용하여 산출하였다. 그리고 광도(PPFD) 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서의 葉肉內CO₂分壓 변화에 대한 광합성반응을 조사하여, 빛이 있을 때의 암호흡속도를 나타내는 day respiration rate을 산출하였다(Brooks and Farquhar, 1985; Villar 등, 1995). 이들 측정치를 사용한 광합성곡선(light response curve) 및 葉肉內CO₂分壓 광합성 곡선(A-Ci curve)의 작성과 이에 대한 해석은 김판기와 이은주(2001a, b, c), Ro 등(2001)의 방법을 토대로 하였다.

2. 결과 및 고찰

가. 광화학계의 반응

임상(forest floor)과 노지(nursery)에서 성장하고 있는 개체를 대상으로 광도 별로 측정한 광합성속도를 사용하여 광-광합성곡선을 작성하고(fig. 6.4.1), 이를 사용해서 광보상점, 광포화점, 암호흡속도, 광합성능력, 양자수율을 김판기와 이은주(2001a)가 제시한 방법에 따라서 산출하였다(table. 6.4.1).

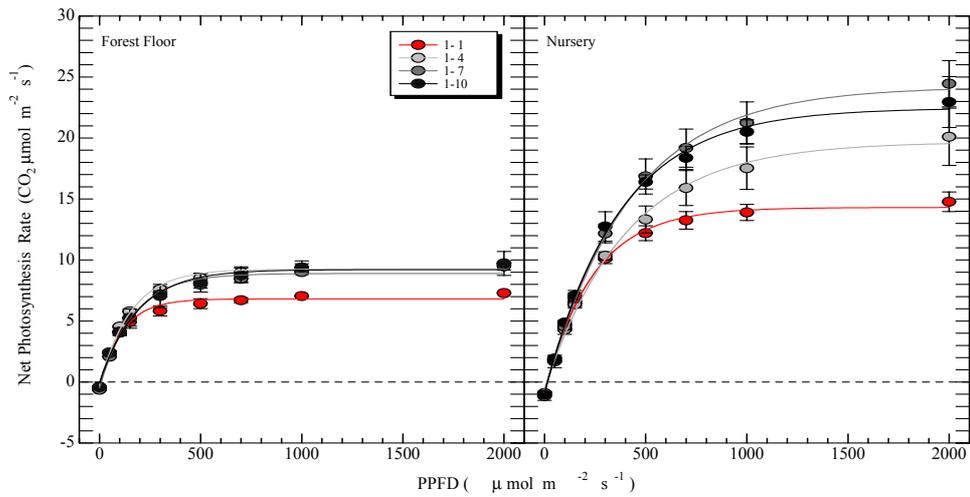


fig. 6.4.1. 임상과 노지에 성장한 수령 1-1, 1-4, 1-7, 1-10 음나무의 광-광합성곡선

table 6.4.1. 광-광합성곡선에서 산출한 광보상점, 광포화점, 광합성능력, 순양자수율

Plot	Light compensation point ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Light saturation point ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Dark respiration rate ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Photosynthetic capacity ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Apparent quantum yield (mmol mol^{-1})	
Forest Floor	1- 1	4.4(\pm 1.1)	324.4(\pm 24.8)	0.39(\pm 0.02)	7.16(\pm 0.13)	44.34(\pm 1.72)
	1- 4	6.9(\pm 2.5)	340.6(\pm 23.7)	0.47(\pm 0.14)	9.55(\pm 0.82)	50.17(\pm 1.85)
	1- 7	11.0(\pm 1.4)	350.6(\pm 1.1)	0.64(\pm 0.08)	9.24(\pm 0.32)	46.93(\pm 0.25)
	1-10	5.7(\pm 0.1)	380.2(\pm 48.9)	0.43(\pm 0.04)	9.52(\pm 0.28)	45.60(\pm 3.63)
Nursery	1- 1	16.4(\pm 2.4)	525.3(\pm 12.3)	0.95(\pm 0.13)	14.34(\pm 0.86)	53.55(\pm 3.13)
	1- 4	21.2(\pm 4.3)	665.2(\pm 66.8)	1.14(\pm 0.16)	18.81(\pm 2.44)	54.60(\pm 3.50)
	1- 7	16.8(\pm 2.5)	638.2(\pm 23.0)	0.91(\pm 0.14)	22.85(\pm 2.41)	54.43(\pm 3.43)
	1-10	17.4(\pm 2.1)	611.0(\pm 44.8)	1.05(\pm 0.12)	21.73(\pm 2.04)	58.35(\pm 1.94)

노지의 전천광을 수광하며 성장한 개체는 광포화점보다 높은 광도에서의 광합성 속도를 의미하는 광합성능력이 임상의 낮은 광조건에 성장한 개체에 비하여 현저하게 높았다. 그리고 노지에서 성장한 개체는 수령이 증가함에 따라서 광합성능력이 증가하여 8년생(1-7)때 가장 높은 광합성능력을 나타내는 경향이었으나, 임상에서 성장한 개체는 2년생만 가장 낮은 값을 나타내고 나머지는 수령에 관계없이 유사한 값을 나타냈다.

미토콘드리아의 호흡을 나타내고 있는 암호흡(PPFD 0 $\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 일 때의 CO_2 교환속도)은 노지에서 성장한 개체가 임상에서 성장한 개체에 비하여 높은 값을 나타냈다. 그러나 수령에 따른 큰 차이는 없었다. 이러한 경향은 광화학계의 활성을 반영하고 있는 순양자수율에서도 동일하게 나타났다. 그리고 임상에서 성장한 개체는 광포화점과 광보상점이 노지에서 성장한 개체에 비하여 낮은 광도영역에 위치하고 있었다. 이것은 임상에서 성장한 개체가 노지에서 성장한 개체에 비하여 탄소고정계의 능력이 매우 낮음을 의미한다.

나. 탄소고정계 반응

광합성의 암반응에 속하는 炭素固定系의 활성을 조사하기 위해서, 휴대용 광합성 측정기의 leaf chamber에 유입되는 공기의 CO_2 농도를 조절하면서 强光(PPFD 1000 $\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{s}^{-1}$)과 弱光(PPFD 100 $\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{s}^{-1}$)에서 측정된 광합성속도를 토대로 하여 A-Ci curve를 작성하였다(임상: fig. 6.4.2, 노지: fig. 6.4.3). A-Ci curve에서 CO_2 보상점, 광호흡속도, 최대광합성속도, 탄소고정효율을 산출하였다(임상: table 6.4.2, 노지: table 6.4.3).

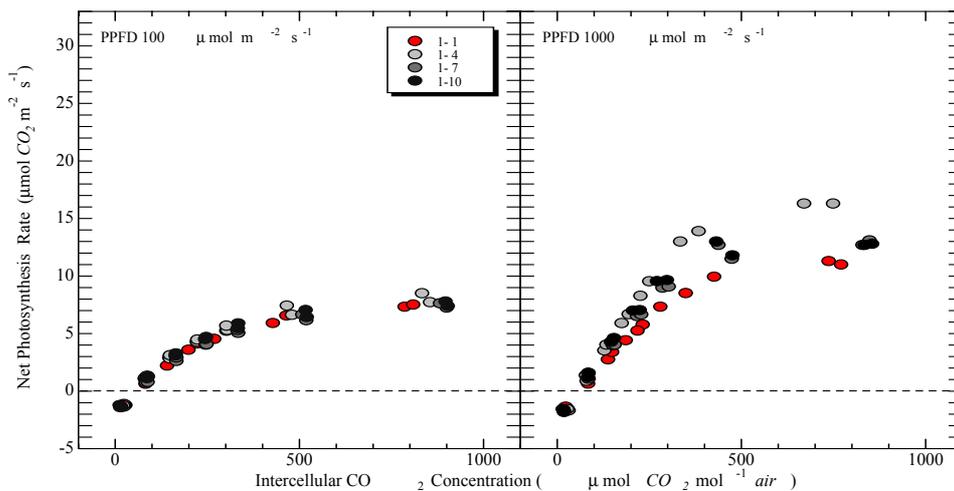


fig. 6.4.2.. 임상에서 성장하고 개체의 수령별 A-Ci(좌측; 약광조건, 우측;강광조건)

table 6.4.2. 임상에서 성장한 개체의 A-Ci 곡선에서 산출한 CO₂보상점, 광호흡속도, 최대광합성속도, 탄소고정효율.

Plot	CO ₂ compensation point ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)	Photo respiration rate ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Maximum photosynthesis rate ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Carboxylation efficiency (mmol mol^{-1})	
Low PPFD	1- 1	60.0 (± 5.7)	1.88 (± 0.11)	7.43 (± 0.10)	31.50 (± 1.18)
	1- 4	58.4 (± 4.1)	1.95 (± 0.11)	8.12 (± 0.38)	33.64 (± 0.52)
	1- 7	58.2 (± 5.5)	1.56 (± 0.11)	7.45 (± 0.18)	26.89 (± 0.58)
	1-10	53.8 (± 2.8)	1.60 (± 0.10)	7.59 (± 0.20)	29.68 (± 0.26)
High PPFD	1- 1	60.4 (± 5.6)	2.28 (± 0.22)	11.15 (± 0.15)	37.77 (± 0.24)
	1- 4	59.1 (± 3.7)	3.14 (± 0.23)	16.30 (± 0.00)	53.12 (± 0.58)
	1- 7	55.8 (± 3.1)	2.33 (± 0.21)	12.90 (± 0.20)	41.65 (± 1.42)
	1-10	53.5 (± 3.8)	2.48 (± 0.27)	12.90 (± 0.10)	46.21 (± 1.70)

우선, 임상에서 성장한 개체의 CO₂보상점을 살펴보면 수령이 증가할수록 낮아지는 경향을 나타냈으나, 그 차이는 미세하였다. 그리고 광합성측정시의 광도 조건에 무관하게 유사한 값을 나타냈다. 그리고 캘빈회로에서 CO₂와 결합하여야 할 RuBP가 산소와 결합함으로써 발생하는 광호흡은 수령에 따른 차이는 나타나지 않았으나, 측정시의 광도가 높으면 광호흡속도가 증가하는 경향을 나타냈다. 재인산화 속도를 반영하고 있는 최대 광합성속도도 5년생(1-4) 개체가 다른 개체에 비해서 약간 높은 값을 나타내기는 하였으나, 수령에 따른 규칙적인 경향은 나타나지 않았다. 그리고 측정시의 광도가 높으면 최대 광합성속도가 높아졌다. 이러한 경향은 RuBP의 함량을 반영하고 있는 탄소고정효율도 유사하게 나타났다.

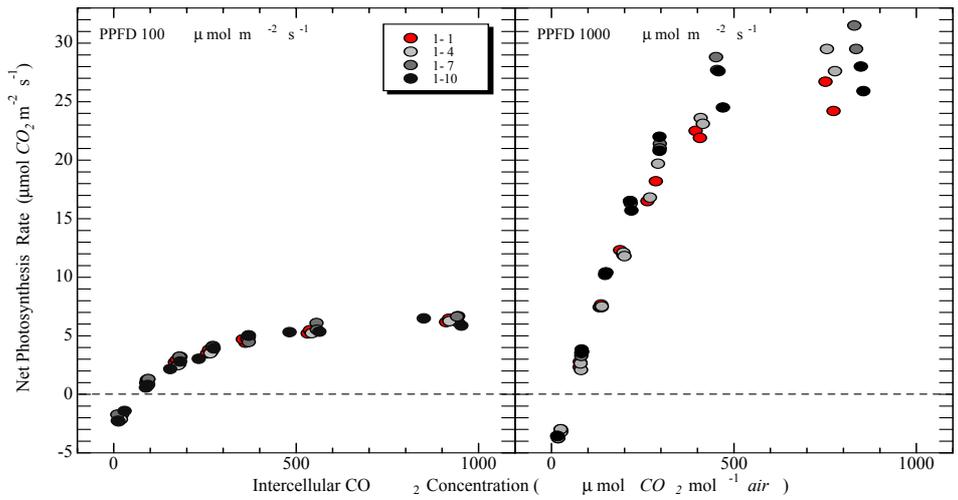


fig. 6.4.3 노지에서 성장하고 개체의 수령별 A-Ci(좌측; 약광조건, 우측;강광조건)

table 6.4.3. 노지에서 성장한 개체의 A-Ci 곡선에서 산출한 CO₂보상점, 광호흡속도, 최대광합성속도, 탄소고정효율.

Plot	CO ₂ compensation point (μmol mol ⁻¹)	Photo respiration rate (μmol m ⁻² s ⁻¹)	Maximum photosynthesis rate (μmol m ⁻² s ⁻¹)	Carboxylation efficiency (mmol mol ⁻¹)	
Low PPF	1- 1	68.6 (±3.1)	2.05 (±0.12)	6.32 (±0.15)	29.95 (±0.46)
	1- 4	81.4 (±1.9)	2.32 (±0.13)	6.21 (±0.04)	28.45 (±0.93)
	1- 7	69.0 (±5.7)	2.13 (±0.29)	6.66 (±0.02)	30.73 (±1.61)
	1-10	78.1 (±2.3)	2.27 (±0.10)	6.18 (±0.30)	29.04 (±0.45)
High PPF	1- 1	55.3 (±1.4)	5.44 (±0.25)	25.45 (±1.25)	98.32 (±2.14)
	1- 4	57.5 (±2.3)	5.45 (±0.32)	28.55 (±0.95)	94.72 (±1.83)
	1- 7	52.3 (±0.0)	5.67 (±0.05)	30.50 (±1.00)	108.35 (±0.82)
	1-10	49.0 (±0.3)	5.13 (±0.05)	27.80 (±0.20)	104.68 (±0.44)

한편, 노지에서 성장한 개체의 CO₂보상점은 수령에 따라서 약간의 차이를 나타 내기는 했으나 일정한 규칙성이 없었다. 측정시의 광도에 따라서는 높은 광도에서 측정한 값이 낮은 광도에서 측정한 값보다 낮은 값을 나타냈다. 이러한 경향은 광호 흡도 유사한 경향을 나타냈다. 그리고 재인산화 속도를 나타내는 최대광합성속도와 탄소고정효율은 낮은 광도에서 측정한 값은 수령에 따른 차이가 나타나지 않았으나, 높은 광도에서 측정한 값에서 수령이 높은 개체가 높은 값을 나타냈다. 이러한 결과

로 수령이 증가하면 RuBP의 효소함량이 증가하고, 재인화속도가 촉진되는 것을 알 수 있었다.

임상과 노지에 생장한 개체의 특성을 서로 비교하기 위해서 강광조건(PPFD 1000 $\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)에서 측정한 값을 표-4에 나타냈다. 여기서 임상에서 생장 개체의 CO₂보상점 등의 모든 값을 살펴보면 수령에 따라서는 큰 차이가 나타나지 않음을 알 수 있다. 그러나 노지에서 생장한 개체는 수령이 증가하면 탄소고정효율이 증가하여 CO₂보상점이 낮아지고 재인산화속도가 증가하는 등의 탄소고정계의 활성이 높아지는 경향을 나타낸다. 그런데 이러한 가령(加齡)에 의한 탄소고정계의 활성 증가가 임상에서 생육한 개체에서는 볼 수 없다는 점은 음나무가 낮은 광도조건에서 성장하여도 광합성능력의 상승이 일어나지 않고 환경변화에 대한 적응력이 감소한다는 것을 의미한다.

Table 6.4.4. 임상과 노지에서 생장한 개체의 CO₂보상점, 광호흡속도, 최대광합성속도, 탄소고정효율(PPFD 1000 $\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

Plot	CO ₂ compensation point ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)	Photo respiration rate ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	Maximum photosynthesis rate ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	Carboxylation efficiency (mmol mol^{-1})	
Forest	1- 1	60.4 (± 5.6)	2.28 (± 0.22)	11.15 (± 0.15)	37.77 (± 0.24)
	1- 4	59.1 (± 3.7)	3.14 (± 0.23)	16.30 (± 0.00)	53.12 (± 0.58)
	1- 7	55.8 (± 3.1)	2.33 (± 0.21)	12.90 (± 0.20)	41.65 (± 1.42)
	1-10	53.5 (± 3.8)	2.48 (± 0.27)	12.90 (± 0.10)	46.21 (± 1.70)
Nursery	1- 1	55.3 (± 1.4)	5.44 (± 0.25)	25.45 (± 1.25)	98.32 (± 2.14)
	1- 4	57.5 (± 2.3)	5.45 (± 0.32)	28.55 (± 0.95)	94.72 (± 1.83)
	1- 7	52.3 (± 0.0)	5.67 (± 0.05)	30.50 (± 1.00)	108.35 (± 0.82)
	1-10	49.0 (± 0.3)	5.13 (± 0.05)	27.80 (± 0.20)	104.68 (± 0.44)

다. 수분이용효율

증산작용에 의해서 수분이 방출되는 양(T_r)과 광합성작용에 의해서 CO₂를 흡수·고정하는 양(P_n)의 비율(P_n/T_r)을 산출하여 광-수분이용효율 곡선으로 나타낸다 (fig. 6.4.4).

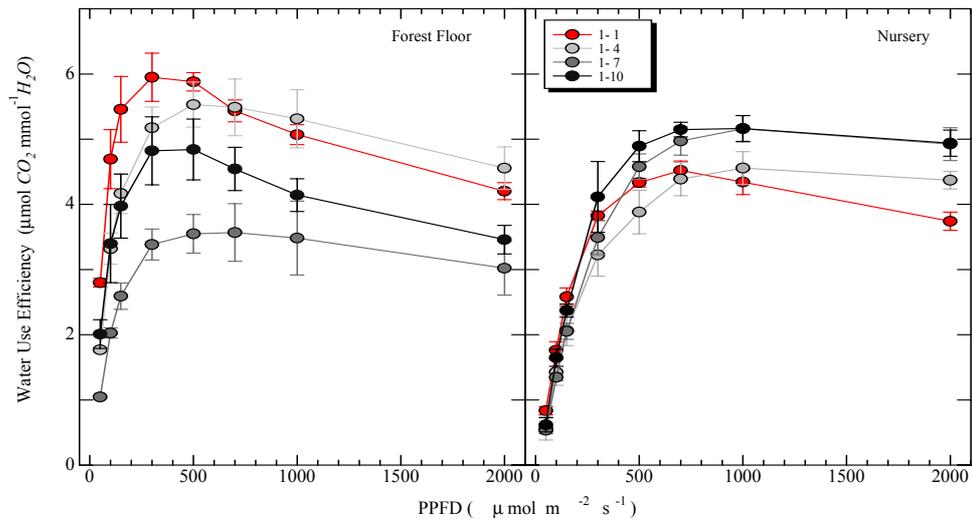


fig.6.4.4. 광도에 대한 광합성변화 조사 자료를 활용한 광-수분이용효율 관계

광도가 낮은 영역에서는 수분이용효율이 낮은 값을 나타냈으며, 특히 노지에서 성장한 개체의 수분이용효율이 임상에서 성장한 개체에 비하여 현저하게 낮은 값을 나타냈다. 그리고 수령이 낮은 개체가 수령이 높은 개체에 비하여 수분이용효율이 낮은 경향을 나타냈다.

수분이용효율은 광도가 증가하면서 급격히 증가하여 광포화점 전후의 광도영역에서 정점에 달하였다. 노지에서 성장한 개체는 광도에 따라서 수분이용효율이 증가하는 도중 또는 광포화점 전후에서 수령이 낮은 개체의 수분이용효율이 감소하여 광포화점 이후의 광도에서는 수령이 높은 개체보다 낮은 값을 나타냈다. 그러나 임상에서 성장한 개체는 광포화점보다 높은 광도에서 수분이용효율이 감소하는 경향을 나타냈으나, 높은 광은 광도영역에서도 수령이 낮은 개체의 수분이용효율이 수령이 높은 개체보다 높은 값을 지속적으로 유지하고 있었다. 이러한 점으로 보아 임상의 낮은 광도조건에서 성장한 개체는 수령이 증가하면 수분이용효율이 저하하여 일중에 수분스트레스에 의한 성장장애를 초래할 수 있다.

라. 빛에 대한 기공의 개폐반응

여기서는 광-광합성관계를 조사한 자료를 사용하여 광-기공전도도(stomatal conductance)의 관련성(fig. 6.4.5)을 검토하고자 한다.

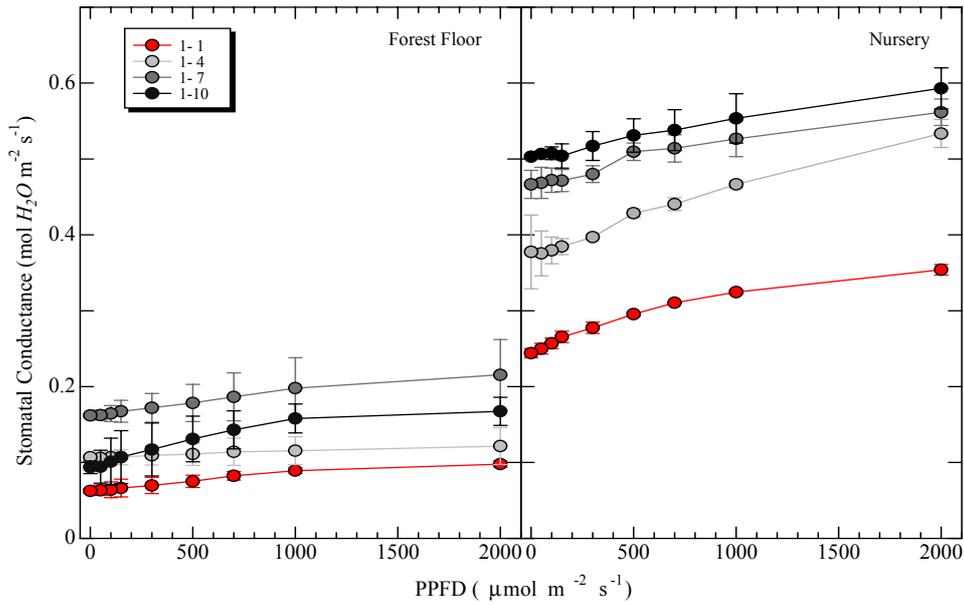


Fig. 6.4.5. 광도변화에 대한 기공전도도의 반응

빛이 없는 PPFD $0 \mu\text{mol photon m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 에서도 기공은 완전히 폐쇄되지 않고 일정한 개도(開度)를 유지하는데, 기공의 개도는 기공전도도로 나타내는데, 음나무는 수령이 낮은 개체가 낮은 기공전도도를 나타내고 있었다. 그리고 노지에서 성장한 개체는 임장에서 성장한 개체보다 매우 높은 기공전도도를 나타내어 야간에도 기공을 통한 가스교환속도가 높게 이루어지고 있음을 알 수 있었다. 광도가 증가하면서 기공전도도도 증가하는데 증가하는 속도는 현사시나무와 같은 속성수(김판기 등, 2002)에 비하여 매우 완만하게 증가하였으며, 수령이 높은 개체일수록 기공전도도가 높은 값을 나타냈다. 이러한 결과로부터 수령이 증가하면 기공이 개도(開度)가 증가하여, 일중(日中)의 높은 광도조건에서는 수분스트레스에 의한 수분이용효율의 저하가 초래되어 성장장애를 초래하리라 고찰된다.

제7장 생육환경과 유용물질함량

제1절 산지별/부위별 유용물질 함량 변이

1. 재료 및 방법

가. 공시재료

음나무 부위별 kalosaponin 함량 분석을 위한 재료는 경기도 화성군 팔탄면 지역의 음나무 자생집단에서 수령이 동일한 개체 5본을 선정하여 세순, 내피, 근피의 3 부위를 구분하여 채취하였다. 내피와 근피는 수액이동이 완전히 정지된 다음에, 흉고 일정방향에서 5cm×5cm 수피를 채취한 후 다시 내피만을 취하였고, 세순은 같은 해 5월 12일에 채취하였으며, 분석을 위해 채취한 시료는 음건시킨 후 분쇄기를 이용하여 파쇄한 후 분석시까지 냉장보에 보관하였다.

음나무 자생집단별 kalosaponin 함량의 변이를 측정하기 위하여 전국에서 조사한 음나무 자생집단 중에서 조사본수가 25본 이상인 홍정산, 발왕산, 가리왕산(이상 강원도), 경기 화성팔탄, 전남 무안, 한라산 I, II 집단 등 7집단을 선정하여 경울에 일제히 수피를 채취하고 내피만 다시 취하여 kalosaponin 함량분석에 사용하였다. 이 시험에 사용된 시험목의 수고, 흉고직경 등 생육특성은 Table 7.1.1과 같다. 분석시약은 Sigma사의 특급시약을 사용하였고, 유기용매는 Merck사의 HPLC급을 구입하여 사용하였으며, 4종의 kalosaponins 표준물질은 경희대학교 약학과 김동현교수로부터 분양받아 사용하였다.

나. Kalosaponins 추출

Kalosaponin의 추출은 시료 100g당 70%(v/v) MeOH 1000ml에 1시간동안 sonication 한후 Watman No.2 여과지로 여과한 후 40℃에서 감압농축하였다. 추출물은 다시 물로 완전히 녹이고, 다시 EtO₂를 넣어 추출하였고, 다시 물로 포화된 BuOH를 넣어 추출하였다. 추출물은 40℃에서 감압농축한 후 분석에 사용하였다.

Table 7.1.1. The range, mean and standard deviation of morphological and growth forms for 197 selected tree

Characteristics	Range	Mean±SD	C.V.* (%)
Age(year)	15~138	69.07±21.27	31
Height(m)	7.00~18.50	13.08±2.80	22
DBH(cm)**	10.00~92.00	40.32±15.17	38
Crown width(m)	2.00~14.00	7.53±2.57	35
Clear length(m)	0.30~12.00	5.78±3.47	60
Annual mean DBH increment(mm)	0.06~0.47	0.20±0.08	40
Inner bark thickness(mm)	2.29~8.18	5.37±1.29	24
Outer bark thickness(mm)	2.66~31.66	15.09±6.37	43
Weight of Inner bark thickness(g)	0.15~0.66	0.33±0.10	31

* coefficients of variance componets

** DBH:diameter of abreast height

정량분석을 위해 분말 시료 1g을 95%(v/v) MeOH 30ml에 넣고 45분 동안 상온에서 sonication 시킨후 셀룰로오스 여과지를 사용하여 여과하고, 얻어진 추출물들은 40℃에서 감압농축시켰다. 시료는 50ml의 물을 넣어 충분히 녹이고, 이중 1ml를 취하여 0.2 μ m의 nylon filter를 사용하여 여과한 후 다시 10000rpm 속도로 20분간 원심 분리하여 잔사를 제거 시키고 상등액만을 취하여 분석시료로 사용하였다.

다. Kalosaponins 분석

박층크로마토그래피는 silicagel plate(silica-gel 254F, Merck), 전개용매로 chloroform : methanol : water(64:50:10)을 사용하였으며, 발색시약으로는 vanillin-sulphuric acid를 사용하거나, 365nm의 UV하에서 관찰하였다. HPLC분석은 HPLC operation system(TSP, USA)을 사용하였다. 분석시 사용한 HPLC 조건은 이동상으로는 A, water+0.1N phosphoric acid(78%)와 B, Acetonitrile(22%)의 혼합용매로 gradient 조건, 칼럼은 Lichrosorb 게-18(10cm×4.6mm, 5 μ m, Merck), 유속은 0.6 μ m/min으로 하였으며, 시료는 injection volume은 20 μ l, 분석시간은 30분으로 하였다.

물질의 검출은 UV detector(TSP UV 3000)를 사용하였으며, 검출과장은 200nm로 하였다. Kalosaponin의 정량분석은 4가지의 표준물질의 검량선 작성하여 행하였다. 이때 4종의 saponin들(250-1000ppm)의 correlation coefficient(r)은 0.99였으며, 3반복에 대한 편차는 \pm 0.001%였다. Kalosaponin의 확인은 TLC의 Rf치와 chromatography의 retention time 및 표준물질과의 co-chromatography로 행하였다.

라. 통계분석

전량분석한 으나무 부위별, Kalosaponin의 함량자료는 Nest design에 의한 분산 분석을 실시하여 지역별, 집단별 차이를 검정하였고, Duncan의 다중검정법으로 부위별, 집단간 사포닌함량을 비교하였다.

2. 결과 및 고찰

가. 부위별 Kalosaponin 함량

으나무의 Kalosaponin은 BuOH 분획에 존재하였으며, chloroform : methanol : water(64:50:10)의 전개액을 이용한 TLC결과 Rf치는 HG 0.5, KPB 0.55, KPO 0.44, KPB 0.63에 각각 나타나며, vanillin-sulphuric acid 발색시 약에진홍색으로 나타났다(테이터 미세시). Lichrosorb RP18 칼럼을 사용한 HPLC 분석 UF과 4종의 Kalosaponin 모두 양호하게 분리되었으며, retentiontime은 HG는 3.21분, KPB 7.69분, KPO 4.737분, KPP 3.71분대로 나타났다(Fig. 7.1.1). 또는4종의 Kalosaponins은 표준물질과 추출물을 co-chromatography한 결과 추출물의 saponin들은 표준품과 동일한 reteneion time을 보였다.

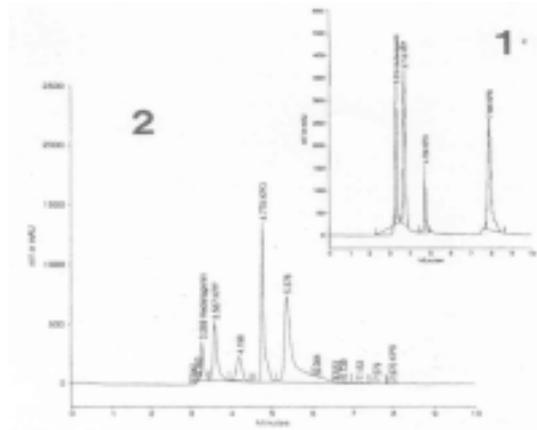


Fig. 7.1.1. HPLC chromatograms of authentic kalosaponins(1) and extracts from inner bark(2). HPLC conditions: solvent: A, water+0.1N phosphoric acid(78%) and B, Acetonitrile (22%) gradient, column: Lichrosorb RP-18(10cm×4.6mm, 5 μ m, Merck), flow rate: 0.6ml/min, injection volume: 20 μ l, detector: UV detector, absorbance: 200nm.

음나무 새순, 내피, 근피를 채취하여 각 부위별로 4종의 kalosaponin 함량을 분석하였다(Fig. 7.1.2). HG의 함량은 새순, 근피의 함량은 유의한 차이가 없었지만, 이들 두 부위와 내피의 함량간에는 많은 차이가 있었다. KPO의 함량은 내피에서 가장 높았지만 다른 두 부위간 함량차이는 거의 없었다. 그 외 KPB와 KPP의 각 부위별 함량차이는 거의 없었다. 분석한 4종은 Kalosaponin의 총함량은 내피가 g 건물중당 30.59mg으로 가장 높았고, 새순이 22.74mg, 근피가 18.02mg 순이었다(Fig. 7.1.3). 또한 내피의 함량과 다른 두 부위의 함량간에 유의한 차이를 보였다.

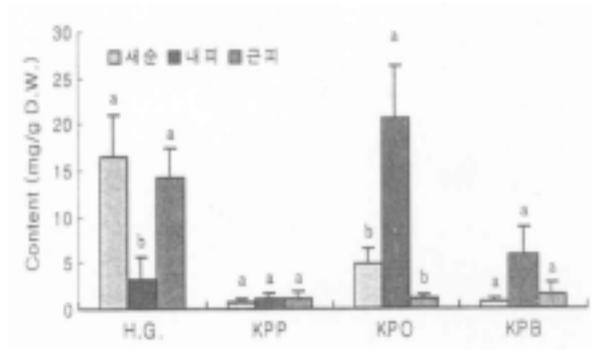


Fig. 7.1.2. Kalosaponin content in young leaves, inner layer of bark and inner layer of root bark. Bars followed by different letters are significantly different according to the Dunccan ' multiple range test($p < 0.05$).

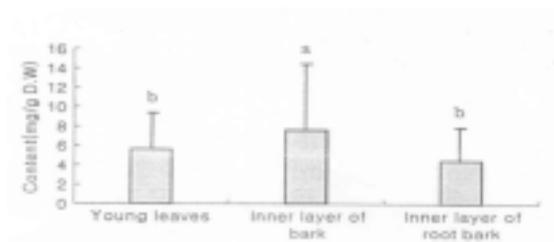


Fig. 7.1.3. Total kalosaponin content in young leaves, inner layer of bark and inner layer of root bark. Bars followed by different letters are significantly different according to the Dunccan ' multiple range test($p < 0.05$).

나. 지역별 Kalosaponin 함량

kalosaponin 함량은 지역간에 상당한 변이를 보였으며, kalosaponin의 종류별로 일정한 경향은 보이지 않았다(Table 7.1.2).

총 kalosaponin 함량은 발왕산이 g 건물중당 30.37mg으로 가장 높았고, 가리왕산

(16.59mg/g dry weight), 한라산Ⅱ(15.62mg/g dry weight), 망운(15.56mg/g dry weight), 흥진산(12.9mg/g dry weight), 한라산 I (9.01mg/g dry weight) 집단의 순이었다. HG의 함량은 한라산 Ⅱ 집단이 g 건물중당 5.33mg으로 가장 높았고, 한라산 I 집단, 팔탄, 망운, 흥진산, 발왕산 순이었다. KPP의 함량은 망운집단이 g 건물중당 2.08mg으로 가장 높았고, 가리왕산, 발왕산 순으로 KPO의 경우에는 발왕산이 g 건물중 당 23.89mg 으로 다른 지역의 함량보다 월등히 높았다. KPB 함량은 팔탄집단의 함량이 g 건물중당 6.3mg으로 가장 높았다.

Table 7.1.2. Variation in kalosaponin contents of selected trees

Province	Population	No. of tree	Content(mean±SE)				
			HG	KPP	KPO	KPB	Total
Gangwon	Mt. Heungjeon	30	0.89±0.11 ^{de}	0.50±0.06 ^C	11.16±1.07 ^{bc}	0.36±0.04 ^e	12.90±1.14 ^{bc}
	Mt. Barwang	30	1.54±0.21 ^{cde}	0.94±0.17 ^{BC}	23.89±1.74 ^a	4.00±0.54 ^b	30.37±1.95 ^a
	Mt. Gariwang	34	0.38±0.06 ^e	1.20±0.12 ^B	12.97±1.49 ^b	2.04±0.19 ^d	16.59±1.62 ^b
	Paltan-Myeon	26	2.21±0.39 ^{bc}	0.48±0.05 ^C	6.43±1.04 ^{de}	6.30±0.28 ^a	15.43±1.04 ^b
	Mangun-Myeon	27	1.96±0.49 ^{bcd}	2.08±0.34 ^A	8.92±0.96 ^{cd}	2.60±0.23 ^{cd}	15.56±1.24 ^b
	Hanra I	30	2.96±0.51 ^b	0.59±0.11 ^C	3.22±0.38 ^e	2.24±10.31	9.01±0.72 ^c
	Hanra Ⅱ	20	5.33±0.83 ^a	0.72±0.13 ^{BC}	6.26±1.09 ^{de}	3.30±.17 ^{bc}	15.62±1.38 ^b
Total	7	197					

위와 같은 결과로 보아 음나무 kalosaponin 함량은 위도가 높아질수록 높아지는 경향을 보이고 있다. 즉 발왕산 집단과 가리왕산 집단의 일부 음나무는 매우 높은 kalosaponin 함량을 나타내어 향후 적절한 번식체계만 확립된다면 새로운 농가소득 작물로 이용될 수 있을 것이다.

다. Kalosaponin 함량 변이

197개 선발목 내피의 kalosaponin 함량을 정량분석한 결과를 각 항목별로 2대층 구조에 의한 Nest design 분산분석을 실시한 결과는 Table 7.1.3과 같다. 분산분석 결과 대부분의 함옥에서 지역간, 지역내 집단간 모두 0.1% 수준에서 통계적 유의성이 인정되었다. 본 연구에서는 대부분의 kalosaponin 함량은 지역간 차지하는 분산

성분이 지역내 집단이 차지하는 분산 성분에 비해 크게 나타남으로써 지역의 환경인자에 의해 많은 영향을 받는 것으로 추정된다. 물질 생산에 있어 변이는 생육상 변이와 더불어 널리 존재하는 것으로 알려져 있다. Lincoln 등은 *Mentha* 종들의 주요 성분인 essential oil의 변이를 보고하였으며, Chil 등도 주목나무의 자생지역에 따른 항암제 taxol의 함량변이도 보고한 바 있다. 이와같은 물질 생산의 변이는 환경적, 유전적 요인에 의해 일어나는 것으로 알려져 있다. 본 연구 결과에서도 위도가 높은 강원도 지역의 음나무가 함량이 높은 것도 이러한 요인에 기인한 것이라고 판단된다. 식물의 천연물 중 Δ -carene은 monoterpene hydrocarbone으로 분자량이 매우 작은 물질이지만 이들의 생합성은 같은 locus 내에서도 두 개의 대립유전자에 의해 지배된다고 이미 보고한 바도 있다. saponin과 같은 커다란 분자량을 가진 물질은 매우 복잡한 생합성 단계를 거치므로 유전적인 요인은 물질생산에 보다 큰 영향을 미칠 것으로 사료된다.

Table 3. Analysis of variance for saponin contents from inner bark of 197 selected trees.

Variable	Among regions		Among populations within region		within population MS of error
	MS	F-value	MS	F-value	
d.f	3		3		190
Inner bark thickness	40.68	41.67***	5.28	5.41**	0.98
Outer bark thickness	863.76	42.98***	516.36	25.69***	20.10
Inner bark weight	0.33	70.91***	0.02	4.93**	0.01
H.G	94.90	22.10***	29.65	6.90***	4.29
KPP	15.18	19.13***	2.60	3.27*	0.79
KPO	1,831.61	42.79***	1,065.04	24.88***	42.81
KPB	116.99	45.79***	75.19	29.41***	2.56
Total	877.21	15.94***	2,008.72	36.51***	55.02

환경적인 요인으로는 온도, 토양환경 등이 있다. 온도는 물질생합성에 매우 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있는데, oregano oil 생산에서는 온도가 높을 때 정유의 생산량이 증대되었다고 보고한 바도 있으며, 계절에 따른 인삼 saponin 변이에 대해서도 보고한바 있다. 또한 토양중 macro 및 micro 무기염도 물질의 생산량에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. *Eucalyptus*에 고농도의 질소공급은 citronellal의 생산량을 증가시켰으며, *Mentha*에 menthol 생산을 오히려 감소시켰다고 한 바도 있

다. 그러나 이러한 연구결과가 모든 식물에 적용되는 것은 아닐 것이다. 본 연구 결과 음나무에서 kalosaponin의 생합성에는 다소 서늘한 기후조건이 적합할 것으로 추정되지만, tracer를 이용한 생합성 연구 및 대사과정에서는 key enzyme의 발현조건 등 생화학적으로 자세한 연구가 요망된다. 또한 음나무에 존재하는 것으로 보여지는 여러 saponin에 대한 물질 분리와 더불어 생리활성 구명 및 NMR 등을 이용한 물질동정도 요구된다. 육종에 있어 변이는 임목의 무한한 가능성을 제시해준다. 본 연구 결과들은 kalosaponin 고함유 음나무를 보다 효율적으로 육종하는 기초자료를 공급해 줄 것이며, 아울러 중국, 일본 등지에서만 주도적으로 이루어지는 있는 제한한 kalosaponin에 대한 연구의 확대에도 기여할 것으로 판단된다.

3. 결론

우리나라에 자생하는 음나무(*Kalopanax septemlobus*(Thunb.) Koidz)의 부위별 및 7개 자생집단별로 4종의 kalosaponin 함량을 HPLC로 정량분석하였고, 통계분석을 통해 함량변이를 조사하였다. 부위별 총 kalosaponin 함량은 내피(30.59mg/g dry weight)으로 가장 높았고, 새순(22.74mg/g dry weight), 근피(18.02mg/g dry weight) 순으로 나타났다. 자생집단별 내피의 총 kalosaponin 함량은 발왕산집단(30.37mg/g dry weight)으로 가장 높았고, 가리왕산 집단, 한라산Ⅱ 집단, 전남 망운집단, 경기 팔탄집단, 한라산Ⅰ 집단순이었다. 지역간의 kalosaponin 함량의 변이를 보이는 것은 유전적 및 환경적인 요인으로 추정되며, 고함량 개체를 선발하여 번식체계를 확립한다면 새로운 농가소득작물로의 개발이 기대된다.

제2절 유용물질 함량과 생장

1. 재료 및 방법

가. 공시재료

읍나무의 kalosaponins(fig. 7.2.1.) 함량을 측정하기 위한 시료는 수피의 내피부위를 사용하였다. 시료 채취지역으로 1995년부터 1999년까지 전국에서 조사한 읍나무 자생집단 중에서 조사본수가 25본 이상인 강원도 홍정산 (강원도 평창군 소재) 집단 (30본), 발왕산 (강원도 평창군 소재) 집단 (34본), 가리왕산 (강원도 평창군 소재) 집단 (30본), 팔탄 (경기도 화성군 소재) 집단 (26본), 망운 (전남 무안군 소재) 집단 (27본), 제주도 한라산I (30본) 집단, 한라산II (20본) 집단 등 7집단을 선정하였다. 시료는 수액이동이 완전히 정지된 1999년 11월 17일부터 12월 9일까지 일제히 수피를 채취하여 내피만 분리, 음건 시킨 후 분쇄기를 이용하여 파쇄한 후 분석시까지 냉장고에 보관하였다. 이 시험에 사용된 시험목의 수고, 흉고 직경 등 생육특성은 Table 7.2.1과 같다.

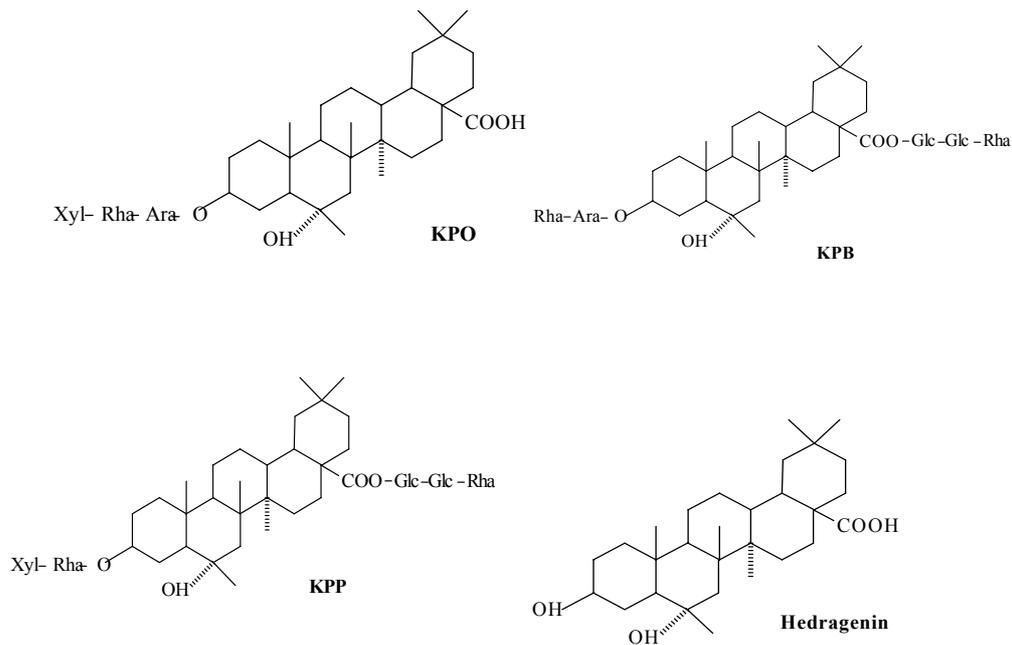


Fig. 7.2.1. Structures of kalosaponin and its derivatives.

Table 7.2.1. Some physical characteristics of the trees used in the present study.

Characteristics	Range	Mean \pm SD
Age(year)	15.00 ~ 138.00	69.07 \pm 69.08
Height(m)	7.00 ~ 18.50	13.08 \pm 0.14
Diameter of breast height(cm)	10.00 ~ 92.00	40.32 \pm 40.29
Crown width(m)	2.00 ~ 14.00	7.53 \pm 7.58
Annual mean DBH increment(mm)	0.06 ~ 0.47	0.20 \pm 0.14
Thickness of inner layer of bark (mm)	2.29 ~ 8.18	5.37 \pm 5.34
Thickness of outer layer of bark (mm)	2.66 ~ 31.66	15.09 \pm 15.02
Weight of inner bark ($g/4^{-1}m^2$)	0.15 ~ 0.66	0.33 \pm 0.28

나. Kalosaponins의 추출 및 함량분석

Kalosaponins의 추출은 Shao 등(1989)의 방법을 약간 변형하여 사용하였다. 시료 100 g을 70% (v/v) MeOH 1000 ml에 1시간동안 sonication 한 후 여과지 (Whatman No. 2)로 여과한 후 40°C에서 감압, 농축하였다. 추출물은 다시 물로 완전히 녹이고, 다시 ethyl acetate를 넣어 추출하였고, 다시 물로 포화된 BuOH를 넣어 추출하였다. 추출물은 40°C에서 감압, 농축한 후 분석에 사용하였다.

Kalosaponins 분석을 위한 크로마토그래피는 silica-gel plate (silica-gel 254F, Merck), 전개용매는 chloroform, methanol, water (64:50:10)을 사용하였으며, 발색시약으로는 vanillin-sulphuric acid를 사용하고, 365 nm의 UV 하에서 관찰하였다. HPLC 분석은 TSP사의 HPLC operating system에 이동상으로는 A, water + 0.1N phosphoric acid (78%)와 B, acetonitrile (22%)의 혼합용매로 gradient 조건, 칼럼은 Lichrosorb RP-18 (10cm \times 4.6mm, 5 μ m, Merck), 유속은 0.6 ml/min.으로 하였고, 시료의 injection volume은 20 μ l, 분석시간은 30분으로 하였다. 물질의 검출은 UV detector (TSP UV 3000)를 사용하였으며, 검출파장은 200nm로 하였다. Kalosaponins의 정량분석은 4가지 표준물질의 검량선을 작성하여 행하였다. 이때 4종의 kalosaponins (250-1000 ppm)의 correlation coefficient (r)은 0.99였으며, 3반복에 대한 편차는 $\pm 0.001\%$ 이었다. Kalosaponin의 확인은 TLC의 Rf치와 chromatography의 retention time 및 표준물질과의 co-chromatography로 행하였다.

분석시약은 Sigma사의 특급시약을 사용하였고, 유기용매는 Merck사의 HPLC급을 구입하여 사용하였으며, 4종의 kalosaponins 표준물질은 경희대학교 약학과 김동현 교수로부터 분양 받아 사용하였다.

다. 통계분석

Kalosaponins 함량에 영향을 미치는 요인을 규명하기 위하여 4종의 kalosaponins 함량 및 성장인자와 수피형질에 대해 단순상관분석과 편상관분석을 실시하였으며, 상관분석결과 수피내 kalosaponins 함량과 높은 상관을 보이는 형질에 대하여 다중회귀분석을 실시하였다. 모든 통계분석은 PC용 SAS program (SAS, 1987)을 이용하여 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 음나무의 Kalosaponins 함량

Kalosaponin은 지역에 따라서 유의(P<0.05)한 함량변이를 보였으며, kalosaponin종류별 지역간 함량변이는 일정한 경향을 보이지 않았다(Table 7.2.2). 총 kalosaponins 함량은 발왕산이 g 건물중당 30.37 mg으로 가장 높았고, 가리왕산 (16.59 mg/g dry weight), 한라산 (15.62 mg/g dry weight), 망운 (15.43 mg/g dry weight), 흥정산 (12.9 mg/g dry weight), 한라산I (9.01 mg/g dry weight)집단의 순이었다. HG의 함량은 한라산 II 집단이 g 건물중당 5.33 mg으로 가장 높았고, 한라산 I집단, 팔탄, 망운, 흥전산, 발왕산 순이었다. KPP의 함량은 망운집단이 g 건물중 당 2.08 mg으로 가장 높았고, 가리왕산, 발왕산 순이었다. KPO의 경우에는 발왕산이 g 건물중 당 23.89 mg으로 다른 지역의 함량보다 월등히 높았다. KPB 함량은 팔탄집단의 함량이 g 건물중당 6.30 mg으로 가장 높았지만 다른 지역과 유의한 함량차이를 보이지 않았다.

Table 7.2.2. Contents of kalosaponins in inner bark of each population.

Province	Population	No. of trees	Contents (mean±SE)				
			H.G.	KPP	KPO	KPB	Total
Gangwon	Mt.Heungjeong	30	0.89±0.11 ^{de*}	0.50±0.06 ^c	11.16±1.07 ^{bc}	0.36±0.04 ^c	12.90±1.14 ^{bc}
	Mt.Balwang	30	1.54±0.21 ^{cde}	0.94±0.17 ^{bc}	23.89±1.74 ^a	4.00±0.54 ^b	30.37±1.95 ^a
	Mt.Gariwang	34	0.38±0.06 ^c	1.20±0.12 ^b	12.97±1.49 ^b	2.04±0.19 ^d	16.59±1.62 ^b
Gyeonggi	Paltan-myeon	26	2.21±0.39 ^{bc}	0.48±0.05 ^c	6.43±1.04 ^{de}	6.30±0.28 ^a	15.43±1.04 ^b
Jeonnam	Mangun-myeon	27	1.96±0.49 ^{bcd}	2.08±0.34 ^a	8.92±0.96 ^{cd}	2.60±0.23 ^{cd}	15.56±1.24 ^b
Jeju	Mt.Halla I	30	2.96±0.51 ^b	0.59±0.11 ^c	3.22±0.38 ^e	2.24±10.31 ^d	9.01±0.72 ^c
	Mt.Halla II	20	5.33±0.83 ^a	0.72±0.13 ^{bc}	6.26±1.09 ^{de}	3.30±0.17 ^{bc}	15.62±1.38 ^b

*; Different letters within columns indicate significant difference between populations at the 5% level by Duncan's multiple range test. Abbreviation: HG; Hederagenin, KPP; Kalosaponin P, KPO; Kalosaponin O, KPB; Kalosaponin B.(Total=HG+KPP+KPO+KPB)

나. Kalosaponins 함량과 생장형질간 상관분석

Kalosaponins 함량에 영향을 미치는 요인을 구명하기 위하여, 총 197본의 표본목중 kalosaponins 함량이 많은 개체를 기준으로 표본목의 25%에 해당하는 50본을 선발하였다 (Table 7.2.3). 집단별 선발본수 및 선발비율을 조사한 결과 발왕산집단 27본 (54%), 가리왕산집단 9본 (18%), 흥정산집단 7본(14%), 팔탄집단 3본 (6%), 무안집단 3본 (6%), 한라산 II 집단 1본 (2%)으로 총 50본이 선발되었는데 한라산 I 집단에서는 전혀 선발되지 않았다. 이와 같은 결과로 보아 위도와 해발고가 높은 지역의 개체에서 kalosaponins 함량이 많았는데 지역에 따른 환경조건에서 그 원인을 찾을 수 있을 것으로 사료된다.

Table 7.2.3. The characteristics of selected 50 trees.

Characteristics	Range	Mean ± SD
Age (year)	26.00 ~ 123.00	67.56 ± 19.38
Height (m)	7.00 ~ 18.50	13.81 ± 2.93
Diameter at breast height (cm)	15.00 ~ 68.00	36.73 ± 13.42
Crown width (m)	2.00 ~ 12.50	6.47 ± 2.11
Annual mean DBH increment (mm)	0.06 ~ 0.35	0.17 ± 0.07
Thickness of inner layer bark (mm)	2.64 ~ 7.78	5.09 ± 1.11
Thickness of outer layer bark (mm)	5.14 ~ 27.80	15.01 ± 5.72
Weight of inner layer bark (g)	0.15 ~ 0.54	0.31 ± 0.09

Kalosaponins 함량이 많은 개체로 선발된 선발목 50본에 대한 생장인자와 수피형질이 kalosaponin 함량에 미치는 영향을 조사하기 위하여 각 형질 특성간에 상관을 분석한 결과는 Table 7.2.4와 같다. KPP 함량과 가장 높은 상관이 있는 요인은 수피의 내피두께($r=0.40^{**}$)와 중량 ($r=0.37^{**}$)으로 고도의 정의 상관관계가 인정되어 수피의 내피두께와 중량이 KPP 함량에 밀접한 영향을 미치는 형질로 나타났다. KPB 함량과 상관관계가 있는 요인은 수피의 내피두께 ($r=0.34^*$)와 중량 ($r=0.32^*$)으로 5%수준에서 유의적인 상관이 인정되어 수피의 내피두께와 중량이 KPB 함량에 영향을 미치는 형질로 나타났다. KPO 함량과 상관관계가 있는 요인은 수피의 내피중량 ($r=0.52^{**}$)과 두께 ($r= 0.47^{**}$), 수령 ($r=0.41^{**}$), 수피의 외피두께 ($r=0.40^{**}$), 흉고직경 ($r=0.32^*$)순으로 수피의 내피중량과 두께, 수령, 수피의 외피두께 등이 KPP 함량에 가장 많은 영향을 미치는 형질로 나타났다. 그러나 HG 함량은 모든 형질 특성간에 상관 관계를 보이지 않았다.

Table 7.2.4. Simple correlation among the characteristics of high kalosaponin containing 50 trees.

	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁
Age(X ₁)											
Height(X ₂)	0.02										
DBH(X ₃)	0.44**	0.19									
CW(X ₄)	0.06	0.19	0.63**								
AMDI(X ₅)	-0.50**	0.06	0.13	0.15							
TILB(X ₆)	0.36*	-0.03	0.71**	0.37**	0.19						
TOLB(X ₇)	0.45**	0.11	0.54**	0.40**	-0.01	0.43**					
WILB(X ₈)	0.47	-0.24	0.62**	0.27	0.12	0.89**	0.51**				
HG(X ₉)	-0.21	-0.25	-0.13	0.14	0.21	0.12	-0.06	0.11			
KPP(X ₁₀)	0.18	0.04	0.19	-0.11	0.09	0.40**	0.21	0.37**	-0.31*		
KPO(X ₁₁)	0.41**	0.03	0.32*	0.14	0.06	0.47**	0.40**	0.52**	0.16	0.18	
KPB(X ₁₂)	-0.15	-0.07	0.09	0.02	0.04	0.34*	0.11	0.32*	0.12	0.09	-0.07

*Significant at p<0.05, **Significant at p<0.01

Note: DBH; Diameter at Breast Height, CW; Crown Width, AMDI; Annual Mean DBH Increment, TILB; the Thickness of Inner Layer Bark, TOLB; the Thickness of Outer Layer Bark, WILB; the Weight of Inner Layer Bark, HG; Hederagenin, KPP; Kalosaponin P, KPO; Kalosaponin O, KPB; Kalosaponin B.

이와 같은 결과를 종합하면 HG를 제외한 KPP, KPO, KPB 함량은 공통적으로 내피두께와 중량과 밀접한 관계인 것으로 나타났다. 이러한 결과는 고무나무 (Narayanan *et al.*, 1973) 및 black wattle (Moffent과 Nixon, 1966) 등도 2차 대사산물과 수피형질과의 밀접한 관련이 있음을 보고하였다. 유용이차대사산물은 대부분 수피에 축적되어 있는 것으로 알려져 있는데, 항암제 taxol을 생산하는 주목 등은 수피에서 함량이 가장 높으며 (Senilh *et al.*, 1984), Tropane alkaloid를 생산하는 가지과 식물은 이들 물질의 생합성 관련 유전자들은 모두 뿌리의 pericycle에만 존재하며 methyl jasmonate 등과 같은 elicitor에 의하여 그 발현이 대량으로 유도되어지는 특징을 가지고 있다 (Suzuki *et al.*, 1999). 또한 kalosaponin함량은 음나무 부위 중에서 어린순, 근피 등보다는 수피에 가장 많이 함유하는 것으로 보고된 바 있다(Lee *et al.*, 2000)

다. Kalosaponin 함량과 생장형질간 다중회귀분석

단순상관분석의 결과를 근거로 하여 Kalosaponins 함량과 상관성이 높은 형질 즉, 내피두

계와 중량, 수령, 수피의 외피두께에 대한 다중회귀분석을 하기 위한 일환으로 편상관분석을 실시한 결과는 Table 7.2.5와 7.2.6과 같다.

시험목간에 수령차이가 있어 이에 따른 kalosaponin 함량에 미치는 영향을 배제하기 위해 수령인자를 고정한 후 편상관분석 결과 Table 6에 나타내었다. KPO와 KPB 함량은 내피중량 및 내피두께간에 고도의 정의 상관관계가 인정되었으며, KPP 함량은 5%수준의 정의 상관을 나타냈다. 그러나 HG 함량은 모든 생장형질 간에 상관관계가 없는 것으로 나타났다.

Table 7.2.5. Partial correlation among characteristics of the 50 selected trees with fixed age.

	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀
Height(X ₁)										
DBH(X ₂)	0.20									
CW(X ₃)	0.19	0.68**								
AMDI(X ₄)	0.08	0.45**	0.21							
TILB(X ₅)	-0.04	0.66**	0.38**	0.45**						
TOLB(X ₆)	0.12	0.43**	0.42**	0.27	0.32*					
WILB(X ₇)	-0.28*	0.52**	0.27	0.47**	0.87**	0.38**				
HG(X ₈)	-0.25	-0.04	0.16	0.12	0.21	0.04	0.25			
KPP(X ₉)	0.04	0.13	-0.13*	0.21	0.36*	0.15	0.33*	-0.28*		
KPO(X ₁₀)	0.02	0.17	0.13	0.33*	0.38**	0.27	0.40**	0.28	0.11	
KPB(X ₁₁)	-0.06	0.17	0.02	-0.04	0.43**	0.20	0.44**	0.10	0.11	-0.01

*Significant at 5% level, **Significant at 1% level

The abbreviations of the variables correspond to those of Table 7.2.4.

Table 7.2.6. Partial correlation among characteristics of the 50 selected trees with fixed age, DBH, CW, and AMDI.

	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆
TILB(X ₁)						
TOLB(X ₂)	0.06					
WILB(X ₃)	0.83**	0.24				
HG(X ₄)	0.28	-0.01	0.22			
KPP(X ₅)	0.35*	0.16	0.32*	-0.26		
KPO(X ₆)	0.33*	0.19	0.36*	0.26	0.07	
KPB(X ₇)	0.46**	0.20	0.50**	0.16	0.09	0.01

* Significant at 5% level, **; Significant at 1% level

The abbreviations of the variables correspond to those of Table 7.2.4.

또한 수령, 흉고직경, 수관폭, 연평균성장량 등의 형질을 고정하고 내피두께, 외피두께, 내피중량 등의 수피형질과 kalosaponins 함량을 편상관 분석한 결과 Table 7.2.6과 같이 나타났다. KPB 함량은 내피두께 및 내피중량과 고도의 정의 상관관계를, KPP와 KPO 함량은 5%수준의 정의 상관관계를 각각 나타냈다. 또한 HG함량은 수피형질과 상관관계가 없는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과로 보아 KPP, KPO, KPB 등의 함량은 내피두께 및 내피중량과 유의 (P<0.05)한 상관관계가 인정됨으로서, 이들 함량에 가장 많은 영향을 미치는 형질은 내피두께와 내피중량을 추정할 수 있었다.

Table 7.2.7은 KPP 함량에 대하여 stepwise를 이용한 다중회귀분석 결과를 나타낸 것으로서, KPP 함량에 가장 많은 영향을 미치는 형질은 내피두께, 수관폭 순이었으며, 이들이 KPP 함량에 영향을 미치는 설명력은 24%로 나타났다. 또한 KPP 함량에 대한 다중회귀식 kalosaponin $P = -0.2308 + 0.4489 \text{ TILB} - 0.1412 \text{ CW}$ ($R^2 = 0.2357$)로 추정할 수 있었다.

Table 7.2.7. Multiple regression coefficient and equation for the content of kalosaponin P in inner layer bark.

Variables	Regression coefficient	Partial R ²	Model R ²	F
Constant	-0.2308			
Thickness of inner bark (TILB)	0.4489	0.1565	1.1565	8.9059**
Crown width (CW)	-1.1412	0.0792	0.2357	4.8731*

* Significant at 5% level, ** Significant at 1% level

Table 7.2.7과 7.2.8은 KPO 함량에 대하여 stepwise를 이용한 다중회귀분석 결과를 나타낸 것으로서, KPO 함량에 가장 많이 영향을 미치는 형질은 내피중량이었으며, 이 형질이 KPO 함량에 영향을 미치는 설명력은 30%로 나타났다. 또한 KPO 함량에 대한 다중회귀식 kalosaponin $O = -2.115 + 11.0413 \text{ WILB}$ ($R^2 = 0.3027$)로 추정할 수 있었다.

Table 7.2.8. Multiple regression coefficient and equation for the content of kalosaponin O in inner layer bark.

Variables	Regression coefficient	Partial R ²	Model R ²	F
Constant	-2.1115			
Weight of inner bark (WILB)	11.0413	0.3027	0.3027	17.4534**

** Significant at 1% level

Table 7.2.9. Multiple regression coefficient and equation for the content of kalosaponin B in inner layer bark.

Variables	Regression coefficient	Partial R ²	Model R ²	F
Constant	89.5519			
Thickness of inner layer bark	153.5252	0.1183	0.1183	6.4400*
Age	-0.6799	0.0818	0.2001	4.8043*
Annual mean DBH increment	-106.6380	0.0691	0.2692	4.3497*

*Significant at 5% level

Table 7.2.9는 KPB 함량에 대하여 stepwise를 이용한 다중회귀분석 결과를 나타낸 것으로서, KPB 함량에 가장 많이 영향을 미치는 형질은 내피두께, 수령, 연평균 직경생장량 순이었으며, 이들 형질이 KPB 함량에 영향을 미치는 설명력은 30%로 나타났다. 또한 KPO 함량에 대한 다중회귀식 $\text{kalosaponin B} = 89.5519 + 153.5252\text{TILB} - 0.6799\text{Age} - 106.6380\text{AMDI}$ ($R^2 = 0.3044$)로 추정할 수 있었다. 따라서 KPP, KPO 및 KPB 함량에 공통적으로 기여도가 높은 형질은 수피의 내피형질로 KPP, KPO 및 KPB 함량의 변화에 가장 중요한 형질로 나타났다. 그러나 각 형질들이 이들 함량에 영향을 미치는 설명력은 23~30%로 낮았으나 음나무의 물질 생산은 개체의 biomass의 양과 매우 밀접한 관련이 있음을 알 수 있었다. 즉 향후의 음나무 육성은 내피가 두껍고 중량이 높은 개체를 위주로 행하여져야 할 것으로 보인다. 국내 생육하는 음나무의 물질 생산은 집단 간 개체 간 함량변이가 큰 것은 기상 및 입지환경요인과 같은 환경적 요인과 유전적인 요인이 복합적으로 작용하는 것으로 사료된다. 본 연구 결과는 kalosaponins 고함유 개체 선발과 물질의 생합성을 증진시킬 수 있는 다양한 재배법의 개발에 크게 기여할 것이다. 나아가 이러한 기초자료를 활용하여 음나무를 새로운 식약용 자원으로 널리 보급할 예정이다.

제8장 우량 지역종 수집 및 보급 기반 조성

1. 지역종 수집

고품질의 다수확 품종을 선발하기 위해, 여러 지역으로부터 우량개체(Table 8.1.1)와 유용물질 함량이 높은 개체(Table 8.1.3)의 종자를 채취·실생양묘하여 본 연구소에 지역품종보존원을 조성하고 가계별 현존율을 조사하였다(Table 8.1.2).

Table 8.1.1. 음나무 지역별 선발 우량개체 모수 특성

선발 우량개체	수령 (년)	수고 (m)	흉고직경(cm)	수관폭(m)
전남 1-1	115	12	66	7.0
1-2	120	11	54	6.0
1-3	95	11	45	5.0
1-4	55	8	33	5.0
1-5	85	9	47	8.5
1-6	110	12	68	7.0
1-7	115	10	58	6.5
1-8	90	7	42	6.0
1-9	110	13	47	7.0
1-10	80	13	44	7.5
1-11	85	12	59	8.5
1-12	95	11	66	8.5
전남 2-2	90	9	43	5.5
2-3	85	13	58	10.5
2-4	110	13	59	8.5
경남 1-1	80	15	28	6.5
경기 1-1	55	13	65	7.0
2-1	125	16	69	8.5
3-1	55	15	72	11.5
4-1	80	13	71	12.0
5-1	45	13	68	8.5
경북 1-1	55	15	26	6.5
2-1	80	17	36	6.5
평 균	87.6	12.2	53.2	7.6

Table 8.1.2. 음나무 품종 보존원 현황(2000. 4식재)

선발 우량개체	식재분수	현존분수	고사분수	현존율(%)
계	393	323	70	82.2
전남 1-1	20	18	2	90.0
1-2	2	2	0	100.0
1-3	17	14	3	82.4
1-4	11	11	0	100.0
1-5	20	18	2	90.0
1-6	20	18	2	90.0
1-7	19	12	7	63.2
1-8	19	15	4	78.9
1-9	19	15	4	78.9
1-10	20	13	7	65.0
1-11	20	14	6	70.0
1-12	20	19	1	95.0
전남 2-2	18	15	3	83.3
2-3	2	1	1	50.0
2-4	8	8	0	100.0
경남 1	20	16	4	80.0
경기 1	20	18	2	90.0
2	21	17	4	81.0
3	18	14	4	77.8
4	19	16	3	84.2
5	20	16	4	80.0
경북 1	20	18	2	90.0
2	20	15	5	75.0

이들 가계 중 전남 1-1등 9가계는 90%이상 현존율을 보여 금후 우수생장 가계선발에 유망시되고 있다. 2003년의 경우에 있어서는 유용물질 함량이 높은 집단(Table 8.1.3)의 20가계 356본이 조성되어 있고 7개 가계가 현존율 100%로 우수하였으며(Table 8.1.4), 금후 가계별 순생산성 검정후 우수가계를 선발 보급할 계획이다.

Table 8.1.3. 음나무 유용물질 함량이 높은 집단의 모수 생육특성

선발 우량개체	수령 (년)	수고 (m)	흉고직경 (cm)	수관폭 (m)
흉정 1	50	9	31	5.0
2	81	12	42	6.5
3	50	15	65	8.5
4	50	8	10	3.5
5	60	15	24	5.5
6	50	8	13	5.5
7	70	12	26	4.5
8	23	11	14	3.5
9	65	14	26	4.5
10	65	14	28	4.5
11	80	13	23	4.0
12	60	16	30	6.5
13	80	15	28	6.5
14	80	17	27	5.5
15	55	15	26	6.5
16	61	7	15	4.5
17	82	17	36	6.0
18	72	12	34	6.5
19	53	18	36	6.5
20	80	17	36	6.5
평균	63.4	13.3	28.5	5.5

Table 8.1.4. 음나무 품종 보존원의 선발우량 개체별 현존율 (2003년 조성)

선발우량개체	식재본수	현존본수	고사본수	현존율(%)
계	386	356	30	92.2
홍정 1	16	16	0	100.0
2	20	20	0	100.0
3	20	20	0	100.0
4	20	15	5	75.0
5	20	18	2	90.0
6	18	16	2	88.9
7	19	16	3	84.2
8	20	14	6	70.0
9	20	19	1	95.0
10	20	18	2	90.0
11	20	19	1	95.0
12	20	20	0	100.0
13	20	20	0	100.0
14	17	17	0	100.0
15	20	18	2	90.0
16	19	18	1	94.7
17	20	18	2	90.0
18	19	17	2	89.5
19	18	17	1	94.4
20	20	20	0	100.0

2. 채종원 조성

음나무 선발 우량개체의 농가보급 기반 조성을 위하여 Table 8.1.5와 같이 채종원을 조성하여 관리하고 있다(그림 8.1.1).

Table 8.1.5. 음나무 채종원 조성현황

식재장소	면적(m ²)	식재본수(본)	현존본수(본)	산지수
계	12,320	2,064	1,920	53
강원.강릉	9,720	1,620	1,584	5
강원.춘천	600	120	93	5
충북.충주	2,000	718	650	43



그림 8.1.1. 음나무 채종원 전경

제 9 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

본 연구는 농산촌의 신소득원으로 각광을 받고 있는 음나무 순 대량생산을 위한 우량품종 생산기술개발을 위하여 자생 음나무 유전자원 보존과 차세대 육종을 위한 지역품종 보존원을 조성하고, 음나무순 대량생산을 위한 재배법을 확립하고, 임간 재배법을 탐색하여 음나무 재배기술을 위한 기초를 마련하였다. 또한, 음나무가 가지고 있는 고유의 특성 중에서 수체내 유용물질 함량이 높은 지역 품종을 수집·보존 하고 채수포를 조성하여 농산촌 소득증대를 위한 모범적인 모델을 제시하였다.

우리는 본 연구를 통해서 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다. 음나무 군집을 탐색하여 음나무 자생지는 해발고 780~1,300m의 북서, 북동 및 북향을 중심으로 경사가 심한 산복-사면에 위치하였으며, 비옥한 토양이었다. 음나무의 평균 연륜 성장량은 1.60~2.41mm이며, 초기 20년간은 높은 성장량을 나타내나, 그 후로는 점차 감소하는 경향을 나타냈다. 종다양성 분석 결과 상대우점도의 범위가 0.1476~0.2065으로 몇몇 종에 의한 단순림을 이루지 않고 다수의 종에 의해 혼효되어 자생하고 있으며, 유사도지수는 64.31~64.54% 범위로 3개 조사지역간에 식생의 연속성이 있는 것으로 판단되어 되었다.

성장량이 서로 다른 음나무 유묘 엽내 무기영양소를 비교 분석한 결과, 생장이 양호한 개체는 N, K의 함량이 높았다. P, Ca, Mn, Fe, Zn 등의 원소도 양호한 생장을 나타내는 개체가 비교적 높은 함량을 나타냈다. 이상의 결과로 N, P, K, Mg, Mn, Na가 음나무 생장에 유익한 영양원소이며, Na는 생장을 저해하는 무기원소임이 입증되었다. 따라서 집약재배에서는 N과 같은 유익한 영양원소의 시비를 통하여 생산성을 증가시키고, Na의 시비를 억제하여 영양생리장애를 방지하는 것이 필요하다.

줄기의 수를 서로 다르게 수형을 조절한 다음 새순의 생산성을 조사한 결과, 줄기가 많은 수형이 새순의 수가 도 증가하였다. 그러나 새순 길이는와 발생기간은 수형간 차이가 크지 않았다. 새순의 품질을 조사한 결과, 3줄기형, 5줄기형 및 개심형의 선호도가 높은 것으로 나타났다. 이러한 결과로 3줄기형, 5줄기형 및 개심형으로 수형을 조절하는 것이 양질의 음나무 순을 대량으로 생산할 수 있는 것으로 구명되었다.

임내 광환경을 구성하는 광반, 산란광의 광질과 광도를 조사한 결과, 광반은 가시적으로 노천광과 유사하나, 광도가 노천광의 절반정도에 불과하고 짧은 파장의 빛이 감소되는 양적 및 질적 변화가 있었다. 산란광은 PAR영역의 빛이 현저하게 감소되어 있는 반면에 원적색광(fra-red)을 포함한 적외선 영역의 빛은 비교적 높은 광도를 나타냈다. 이러한 결과로 임상에 도달하는 빛(광반, 산란광)은 광도뿐 만아니라 광질의 변화도 있었음이 확인되었다.

지베렐린에 의해서 후배숙시킨 종자에 적색광(red light)과 원적색광(far-red light)을 照射한 후, 발아율을 조사한 결과, 적색광에 의해서 발아가 억제되고 원적색광에 의해서 발아가 촉진되는 현상을 나타냈다. 이러한 결과는 임내의 원적색광이 많은 광조건에서도 발아가 가능함을 나타낸다. 그리고 원적색광에 의한 발아촉진은 세포의 신장생장을 촉진시킴으로서 나타나는 Phytochrome의 강광반응에 기인한 것으로 생각된다.

음나무가 林床의 낮은 광도조건에 적응하는 기작을 구명하기 위해서, 양수인 이태리포플러와 耐陰樹인 음나무, 졸참나무를 대상으로 생육 광도 저하에 대한 光合成系의 적응반응을 조사하였다. 그 결과 양수인 이태리포플러는 생육 광도의 저하로 엽면적, 단위 엽면적 당의 엽록소함량, 빛의 흡수율 및 광합성에 대한 이용효율 등이 감소하고, 광합성의 광화학계 및 탄소고정계의 활성 저하로 낮은 광합성능력을 나타냈다. 그러나 내음성이 이태리포플러보다 강한 음나무와 졸참나무는 엽면적, 엽록소함량, 순양자수율을 증가시켜 빛의 흡수량과 광합성에 대한 이용효율을 높이는 적응반응을 나타냈다. 그리고 이들 수종은 낮은 광도에서도 광합성의 광화학계 및 탄소고정계의 활성이 정상적으로 유지되고 있음을 알 수 있었다.

수령증가가 내음성 수준에 미치는 영향을 구명하기 위해서 수령이 서로 다른 음나무의 광합성 특성을 조사하였다. 그 결과 수령에 따른 광합성능력, 빛 이용효율, 탄소고정효율, 광호흡, 광보상점, 광포화점 등의 변화는 나타나지 않았다. 그러나 임내에서 성장한 개체는 수령이 증가할 수록 수분이용효율과 광합성 능력이 저하하는 경향을 나타냈다. 이러한 결과를 통하여 임간재배시에는 수령의 증가에 따라서 임관의 밀도를 낮추는 소개시업(疏開施業)이 필요함을 알 수 있었다.

우리나라에 자생하는 음나무의 부위별 및 7개 자생집단별로 4종의 kalosaponin 함량을 정량분석하고, 통계분석을 통해 함량변이를 조사하였다. 부위별 총 kalosaponin 함량은 내피가 가장 높고, 새순, 근피의 순으로 나타났다. kalosaponin의

함유량이 높은 개체를 대상으로 성장특성을 조사하여 단순상관, 편상관 및 다중회귀 분석을 통해 kalosaponins 생산에 영향을 미치는 성장요인을 추정하였다. 그 결과, Kalosaponin P 함량에 가장 높게 영향을 미치는 인자는 내피두께로 나타났으며, kalosaponin O 함량은 내피무게와 수령으로 나타났으며, kalosaponin B 함량은 내피 중량과 평균흉고직경으로 나타났다. 이상의 결과로 보아 음나무 내피의 특성이 kalosaponins 생산에 밀접하게 관계하는 것으로 나타났다.

제 10 장 연구개발 결과의 활용계획

본 연구는 농산촌 단기 소득 수증 중의 하나로 알려진 음나무의 순을 대량생산하기 위한 우량품종 생산기술을 개발하는 것이 목표이다. 음나무 순은 봄철에 한시적으로 이용되며 수확이 되기 때문에 음나무순 대량 생산 우량품종 육성·보급 체계를 확립하기 위해서는 음나무가 자생하고 있는 입지환경과 음나무의 고유특성, 재배방법 등을 얼마나 정확히 파악하는가에 달려있다. 본 연구는 3년이라는 짧은 기간동안 우리나라에 자생하는 음나무 군락의 생태적 특성을 파악하고, 유전적으로 우량한 지역종을 선발하였다. 또한, 고품질 다수확 음나무 순 생산을 위한 최적의 수형을 개발하였으며, 음나무에 함유된 유용물질의 함량이 높은 개체를 선발 하였으며, 이들 우량 지역종을 농가에 보급할 수 있는 기반을 조성하였다.

그러나 아직까지 음나무에 대한 인식이 부족하여 대다수의 국민들이 선호하는 작물로 자리매김하기에는 아직 까지는 어려운 형편이다. 따라서, 본 연구는 음나무에 대한 정확한 이해와 음나무 재배법에 대하여 일반인에게 알려 줄 수 있는 귀중한 자료라 사료되며 농산촌 소득증대에 기여 할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- 강호상, 이돈구. 1998. 강원도 평창군 중왕산지역 음나무의 입지환경 및 특성. 한국임학회지 87(3) : 483-492.
- 고재기, 임양제. 1987. 칠갑산의 식생. 한국생태학회지. 10(1) : 25-32.
- 김병우, 손기철. 1990. *Gentiana* 종자의 저온 및 GA처리가 발아에 미치는 영향. 건국대학교 농업자원개발연구소 연구논문집 12 : 41-47.
- 김성덕, 김운동. 1995. 점봉산 신갈나무림의 갱신과 정에 관한 연구. 한국임학회지 84(4) : 447-455.
- 김세현. 2000. 황칠나무 분포입지의 식생구조 및 입지환경. 한국임학회지 89(1) : 93-104.
- 김영중, 신창호, 나천수, 김세현. 1992. 중부지방 가래나무 임분의 식생에 관한 연구. 임육연보 28 : 96-121.
- 김주환, 김철환. 1999. 한국의 식물(관속식물 2: 노박덩굴과, 두릅나무과). 생명공학연구소 221PP.
- 김판기, 이은주. 2001a. 광합성의 생리생태(1) -광도와 엽육내 CO₂분압 변화에 대한 광합성 반응. 한국농림기상학회지 3 : 126-133.
- 김판기, 이은주. 2001b. 광합성의 생리생태(2) -환경변화에 대한 광합성의 적응반응. 한국농림기상학회지 3 : 171-176.
- 김판기, 이은주. 2001c. 광합성의 생리생태(3) -CO₂농도와 온도상승에 대한 광합성 반응. 한국농림기상학회지 3 : 238-243.
- 김판기, 이인중, 김학윤, 김길웅, 신동현. 1999b. 파이토크롬 B 돌연변이체가 수수의 광합성효율에 미치는 영향. 한국육종학회지 31 : 386-392.
- 김판기 · 이갑연 · 김세현 · 한상섭. 1999a. 우리나라에 분포하는 오미자과 2속 3종의 잎 형질 및 광합성 특성. 한국농림기상학회지 1 : 90-96.
- 김해삼, 리용재, 홍경식, 황효준, 윤영범. 1979. 조선식물지(제 4권). 과학원출판사 563pp.
- 농촌진흥청. 1988. 토양화학분석법 - 토양 · 식물체 · 토양미생물-. 농촌진흥청 농업기술연구소.
- 박인협, 류석봉, 김례화. 1996. 오대산 국립공원지역 계곡부의 해발고 사면부위에 따른 산리구조. 환경생태학회지 9(2) : 126-132.
- 배관호, 홍성천. 1993. 가야산 소나무 군락의 구조 및 동태. 한국임학회지. 85(2) : 260-270.

- 산림청. 1993. 단기소득임산물 특성과 재배법 459pp.
- 삼진제약. 1999. 약초이야기. <http://www.samjinpharm.co.kr/plant.htm>.
- 송호경, 권기원, 이돈구, 장규관, 우인식. 1992. TWINSPAN과 DCCA에 의한 중왕산의 산림군집과 환경의 상관관계분석. 한국임학회지 81(3) : 247-254.
- 신재용. 1999. 동의보감 100문 100답. 국일미디어 168pp.
- 안학수, 이춘영, 박수현. 1982. 한국농식물자원명감. 대한교과서주식회사 569pp.
- 안현철, 이정환. 1998. 지리산 물박달나무림의 식생구조와 동태. 한국임학회지 87(3) : 445-458.
- 육창수. 1989. 아세아 생약도감. 녹원문화 730pp.
- 이강령. 1988. 우리나라 남해안 지역에 있어 해송림의 생태학적 연구. 한국임학회지 77(10) : 83-91
- 이경재, 조우, 황서현, 임경빈. 1996. 오대산 국립공원 동대산 지역의 사면 · 해발고에 따른 식물군집구조. 환경생태학회지 9(2) : 133-146.
- 이경재, 조재창, 류창희. 1990b. Classification 및 Ordination방법에 의한 용문산삼림의 식물군집구조분석. 한식지. 33(3) : 173-182.
- 이경재, 조재창, 우중서. 1989. Classification 및 Ordination방법에 의한 가야산 지구의 식물군집 구조분석. 응생연보. 3(1) : 28-41.
- 이경재, 조재창, 이봉수, 이도석. 1990a. 광릉삼림의 식물군집구조분석(I)-Classification 및 Ordination방법에 의한 소리봉지역 식생분석-. 한임지. 79(2) : 173-186.
- 이경준, 박종영, 박관하, 박훈. 1995. 고로쇠나무 수액의 화학적 성분, 영양가치와 saponins 함유 여부에 관한 연구. 한국임학회지 84(4) : 415-423.
- 이돈구, 조재창, 김영수, 강호상, 김영환. 1996. 국유림 경영 현대화 산학협동 실현 연구보고서(VII)-최적 환경 요인 및 임지구명 연구. 산림청. p.101-141.
- 이수배. 1981. 한국의 산림 토양에 관한 연구(II). 한국임학회지. 54 : 25-35.
- 이영노. 1996. 한국식물도감. 교학사 1247pp.
- 이우철. 1996. 한국식물명고(I). 아카데미서적 p774-775.
- 이창복. 1993. 대한식물도감. 향문사. 서울.
- 이창석, 김홍은, 박현숙, 강상준, 조현배. 1993. 모감주나무 군락의 구조 및 유기기작. 한국생태학회지. 16(4) : 377-395.
- 이철호, 최영철, 김세현, 권기원. 2000b. 강원도 읍나무 자생 임분의 입지환경, 식생구조 및 동태. 한국자원식물학회지 13(2) : 89-94.

- 임동욱, 소용영. 1993. 한국산 두릅나무과 식물 줄기에서 1기목부의 비교해부. 한국식물학회지 36(4) : 345-355.
- 임록재. 1999. 조선약용식물지(제 2권). 한국문화사 302pp.
- 장규관. 1996. 강원도 신갈나무림의 군락생태학적연구. 충남대학교 박사학위논문 91pp.
- 장세진, 서애숙, 김관기, 윤진일. 2000. 스펙트로레디오메터를 이용한 벼 성장기의 분광반사특성 변화 연구. 한국지리정보학회지 3 : 12-19.
- 정보섭, 신민교. 1990. 향약대사전. 영림사 820pp.
- 정태현, 도봉섭, 심학진. 1940. 조선식물명집. 조선생물학회편.
- 정태현. 1957. 한국식물도감(상권 목본부). 신진사 507pp.
- 최문길, 정성호. 1992. 유용활엽수조림기술. 강원도임업시험장. p.231-241.
- 최영전. 1992. 한국민속식물. 아카데미서적 358pp.
- 황석인, 정현관. 1997. 음나무 선발개체의 생장 및 섬유장과 수피특성의 변이. 임육연보. 33 : 14-21.
- 古川昭雄. 1978. 光呼吸とCO₂補償点. pp. 103-114. In : 田崎忠良 編著. 環境植物學. 朝倉書店. 東京, 日本.
- 菊澤喜八郎, 薺藤新一郎. 1978. 廣葉樹の二次伸長. 北方林業 30(8) : 15-18.
- 大友 玲子, 太田誠一, 眞田勝. 1993. 토양pH의 차이와 苗木의 生長. 日本林學會論文集 104(10) : 331-332.
- 稻田勝美, 船越建明, 青木幹南, 福井井夫, 桂 直樹. 1980. 混合光의 光質가 作物의 光合成에 及ぼす 影響. 日作紀. 49 : 34-41.
- 藤村好子, 高橋邦秀, 小池孝良, 田淵隆一. 1990. ハリギリ의 苗木의 成長에 及ぼす 庇陰의 影響. 日本林學會大會發表論文集 101 : 359-360.
- 鈴木兵二, 伊蘇秀三, 豊原源太郎. 1985. 植物調査法 II. 植物社會學的研究法. 公立出版株式會社, 日本, 190p.
- 牧野 周. 1999. 光と炭酸ガスを獲得するための植物の窒素利用の戦略. 化學と生物 37 : 335-340.
- 茂田井勉, 藤本征司. 1981. ハリギリ의 生育樣式について. 日本林學會北海道支部講演集 29 : 99-101.
- 尾内晴一. 1978. 北海道의 地域ハリギリ(セノキ)의 生態について. 林業技術研究發表大會論文集/北海道林業普及協會 248-251.
- 相賀一郎, 村上克介. 1995. 植物光合成についての光の評價. in 生物環境調節(日本生物

- 環境調節學會編). p.47-49. 養賢堂. 東京. pp.585.
- 小糸工業, 1999. 光強度センサIKS-X7/101シリーズ取扱説明書. pp.8.
- 矢吹萬壽, 高 博. 1973. 數種の蔬菜の光合成と光質との關係. 農業氣象 29 : 17-23
- 安尾正元. 1952. 植物生育と鹽類性分. 農及園 27(8) : 968p.
- 野口 航. 1999. 夜の葉の呼吸に關する生理學と經濟學. In : 植物の環境應答. 植物細胞工學 11 : 125-128.
- 彦坂幸毅. 1997. 生育環境の變化に對する個葉光合成系の順化. 日本生態學會誌 47 : 295-300.
- 刈佳昇. 1979. 樹木根系圖說. 誠文堂新光社 973 pp.
- 林彌榮. 1969. 有用樹木圖說. 誠文堂新光社 520pp.
- 佐藤創, 水井憲雄 1997. 高溫と低溫處理のよるハリギリ種子の發芽促進. 日林北支論 45 : 16-18.
- 佐藤創, 塚田晴朗. 1998. ハリギリ實生の生殘特性. 日本林學會北海道論文漢 46 : 58-60.
- 佐々木恵彦. 1979. マレーシアの熱帶降雨林におけるフタバガキ科樹種の成長習性と環境. 森林立地 21 : 8-18
- 川崎舜平, 橋場功. 1981. ささ生地における幼稚苗の生長. 北方林業 33(2) : 4-6.
- 青木正敏. 1995. 日射、放射(赤外線、可視光線、紫外線). in 生物環境調節(日本生物環境調節學會編). p.285-287. 養賢堂. 東京. pp.585.
- 黃勝澤, 本江一郎, 片岡寬純高, 1997. ハリギリ種子の貯藏物質. 日林論 108 : 303-304.
- Adams III, W. W., K. Winter, U. Schreiber and P. Schramel. 1990. Photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristics in relationship to changes in pigment and element composition of leaves of *Platanus occidentalis* L. during autumnal leaf senescence. Plant Physiology 93 : 1184-1190.
- Agnew, A. D. Q. 1961. The ecology of *Juncus effusus* L. in north wales. J. Ecology 49 : 83-102.
- Allen, R.B. and T.R. Partridge. 1988. Effects of spring and autumn fires on the composition of *Chionochlora rigida* tussock. NewZealand. Vegetatio. 76 : 37-44.
- Arnon D. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology 24 : 1-15.
- Audley B. G., B. L. Archer, I. B. Carruthers. 1976. Metabolism of ethephon(2-chloroethylphosphonic acid) and related compounds in *Hevea brasiliensis*.

- Archives of Environ Contamination and Toxicol 4 : 183-200.
- Austin, M. P. 1977. Use of ordination and other multivariate description methods to study succession. *Vegetation methods to study succession. Vegetation* 35 : 22p.
- Barhour, M. G., J. H. Burk and W. D. Pitts. 1980. *Terrestrial plant ecology. The Benjamin & Cummings Publ. Co.* pp.62-68.
- Bjorkman, O. 1981. Responses to different quantum flux densities. pp. 57-107. In : Lange, O. L., P. S. Nobel, C. O. Osmond and H. Ziegler, Eds. *Encyclopedia of plant physiology I, New series, Vol. 12A.* Springer Verlag, Berlin.
- Boardman N. K. 1977. Comparative photosynthesis of sun and shade plants. *Ann. Rev. Plant Physiology* 28 : 355-377.
- Buell, M. F., A. N. Langford, D. W. Dacidson, and L. F. Ohman. 1966. The upland forest continuum in northern New Jersey. *Ecology* 47(3) : 416-432.
- Chazdon, R. L. and S. Kaufmann. 1993. Plasticity of leaf anatomy of two rain forest shrubs in relation to photosynthetic light acclimation. *Functional Ecology* 7 : 385-394.
- Choi MS, Kwak SS, Liu jy, Park YG, Lee MK, Ahn NH. 1995. Taxol and related compounds in Korean native yew(*Taxus cuspidata*). *Planta Medica* 61 : 264-266.
- Choi S. W. 1997. Antioxidative properties of methanolic extracts in leaves of *Kalopanax pictus* Nakai.-Antioxidative activity of flavonoids in leaves of *Kalopanax pictus* Nakai. 대구효성카톨릭대학교 연구논문비 제 54집 : 131-139.
- Chung B. S., M. K. Shin. 1990. Hwangyak-desajon, Younlinsa. pp820.
- Curtis, J. T. and R. P. McIntosh. 1951. An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology* 32 : 476-496.
- Dudai, N., A. E. Halevy, E. Putievsky, and U. Ravid. 1987. *Origanum var. syiacum*. In. Handbook of Folwering, Halevy, A. H. ed.) CRC Press Inc. Boca Raton, Florida, Vol VI. pp. 487-489.
- Eli Putievsky. 1994. Factors influencing the yield and composition of essential oils. Section I: genetics, morphogenesis and environment. 4EMES Rencontres Internationales-Nyons, 5-7, Decembe. pp103-115
- Evan, H. D. and R. B. Thomas. 2000. Photosynthetic responses to CO₂ enrichment of four hardwood species in a forest understory. *Oecologia* 122 : 11-19.
- Evans, J. R. 1987. The dependence of quantum yield on wavelength and growth irradiance. *Australian Journal of Plant Physiology* 14 : 69-79.
- Evans, J. R. 1989. Partitioning of nitrogen between and within leaves grown under different irradiances. *Australian Journal of Plant Physiology* 16 : 533-548.

- Evans, J. R. 1994. Developmental constraints on photosynthesis : effects of light and nutrition. pp. 281-304. In : N. R. Baker, ed. *Photosynthesis and the environment*. Kluwer Academic Press. Dordrecht.
- Farquhar, G. D. and T. D. Sharkey. 1982. Stomatal conductance and photosynthesis. *Ann. Rev. Plant Physiology* 11 : 539-552.
- Farquhar, G. D., S. von Caemmerer and J. A. Berry. 1980. A biochemical model of photosynthetic CO₂ assimilation in leaves of C₃ species. *Planta* 149 : 78-90.
- Fernando, V., M. T. Allen and R. W. Pearcy. 1997. Photosynthetic responses to dynamic light under field conditions in six tropical rainforest shrubs occurring along a light gradient. *Oecologia* 111 : 505-514.
- Ford, E. D. 1975. Competition and stand structure in some even-aged plant mono culture. *J. Ecology* 63 : 311-333.
- Harnover, J. W. 1971. Genetics and terpenes. II. Genetic variances and interrelationships of monoterpene concentrations in *Pinus monticola*. *Heredity* 27 : 237-245.
- Hill, M. O. 1979a. DECORNA-A FORTRAN Program for Detrended Correspondence Analysis and Reciprocal Averaging. Ithaca. N. Y. Cornell Univ. Press.
- Hiscox, J. D. and G. F. Israelstam. 1979. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *Canadian Journal of Botany* 57 : 1332-1334.
- Holmes, M. G. and S. Smith. 1975. The function of phytochrome in plants growing in the natural environment. *Nature* 254 : 512-514.
- Hutchinson, T. C. 1967. Comparative studies of the ability of species to withstand prolonged periods of darkness. *Journal of Ecology* 55 : 291-299.
- Inada, K. 1976. Action spectra for photosynthesis in higher plants. *Plant Cell Physiol.* 17 : 355-365.
- Inada, K. 1980. Spectral absorption property of pigments in living leaves and its contribution to photosynthesis. *Japanese Journal of Crop Science* 49 : 286-294.
- Jackson, W. A. and R. J. Volk. 1970. Photorespiration. *Annual Review Plant Physiology* 21 : 385-432.
- Katagiri, S. and T. Tsutsumi. 1978. The relationship between site condition and circulation of nutrients in forest ecosystem(V). the difference in nutrient circulation between stand located on upper part of slope and lower part of slope. *J. Jap. For. Soc.* 60 : 195-202
- Khorlin. A. Y., A. G. Ven' yaminovq and N. K. Kochetkov, Doll.(1996) *Akad. Nauk. SSSR Ser. Klim:* 1588.

- Kim, D. H., K. Y. You, E. A. Bae, H. J. Park, and J. W. Choi. 1998. Metabolism of kalosaponin B and H by human intestinal bacteria and antidiabetic activity of their metabolites. *Chem. Pharm. Bull.* 21(2) : 360-365.
- Kim. S. K., I. Sakamoto, K. Morimoto, M. Sakata, K. Yamasaki, and O. Tanaka. 1980. Chemical evaluation of ginseng extracts : Seasonal variation of saponins and sucrose in cultivated ginseng roots. Proceedings of the 3rd International Research Institute, Seoul, Korea. pp. 165.
- Kok, B. 1948. A critical consideration of the quantum yield of chlorella photosynthesis. *Enzymologia* 13 : 1-16.
- Kozaki, A. and G. Takeba. 1996. Photorespiration protects C3 plants from photo oxidation. *Nature* 384(6609) : 557-560.
- Kozlowski, T. T. and S. G. Pallardy. 1997. Physiology of woody plants-second edition Academic Press, New York, San Francisco. 411pp.
- Lee C. B. 1999. Illustrated flora of Korea. Hwangmoonsa. pp572.
- Lee C. H., M. S. Choi, K. W. Kwon. 2000. Variation of kalosaponin content in plant parts and population of native *Kalopanax septemlobus*(Thunb.) Koidz. *Kor J Pharmacogn* 31 : 203-208.
- Lee, C. H. 1990. Taxonomic studies on genus *Fatsia* Decne. Planch. and its relatives(Araliaceae). MS dissertation at Sungkyunkwan Univ.
- Leps, J. and J. Starsa. 1989. Species area curve, life history strategy and succession: A field test of relationships. *Vegetation* 83:249-257.
- Leyton, L. 1956. The relationship between the growth and mineral composition of Japanese larch(*Larix leptolepos*, Mrr.). *Plant and Soil* 7 : 167-177.
- Leyton, L., and K. A. Armson. 1955. Mineral composition of foliage in relation to the growth of Scots pine. *For. Sci.* 1 : 210-218.
- Li Cor Inc. 1986. LI-COR Radiation sensors instruction manual. pp.28.
- Lincoln, D. E., M. J. Murray, and B. M. Lawence. 1986. Chemical composition and genetic basis for the isopinocampore chemotype of *Mentha citrata* hybrids. *Phytochemistry* 25 : 1857-1863.
- Mahdi, M. Z., A. M. Abou Dahab, and M. A. EL-Khateeb. 1987. Effects of N fertilization on growth and essential oil of *Eucalyptus torquata* and *E. angulosa*. *Acta Horticulturae* 208 : 73-81.
- Makino, A., T. Sato, H. Nakano and T. Mae. 1997. Leaf photosynthesis, plant growth and nitrogen allocation in rice under different irradiances. *Plant* 203 : 390-398.

- Martin, G. B., C. P. Malcolm and D. B. Nick. 1997. Photosynthetic characteristics of dipterocarp seedlings in the three tropical rain forest light environments : a basis for niche partitioning. *Oecologia* 112 : 453-463.
- McCree, K. J. 1970. An equation for the rate of respiration of white clover plants grown under controlled conditions. pp. 221-230. In : I. Setlik, ed. Prediction and measurements of photosynthetic productivity Proc IBP/PP Tech Meet, Trebon 1969.
- McCree, K. J. 1971. Significance of enhancement for calculation based on the action spectrum for photosynthesis. *Plant Physiol.* 49 : 704-706.
- McCree, K. J. 1972a. The action spectrum, absorptance and quantum yield of photosynthesis in crop plants. *Agric. Meteorol.* 9 : 191-216.
- McCree, K. J. 1972b. Test of current definitions of photosynthetically active radiation against leaf photosynthesis data. *Agric. Meteorol.* 10 : 443-453.
- Mcintosh, R. P. 1967. An index of diversity and the relationship of certain concepts to diversity. *Ecology* 48(3) : 92-404.
- Moffett A. A., K. M. Nixon. 1966. Plant breeding and genetics. I. Black wattle. A. Selection, progeny testing and accession. C. Controlled intercrossing. *Wattle Res Inst Univ Natal S Afr Rep* 19 : 30-34.
- Mohler, C. L., P. L. Marks and D. G. Sprugel. 1978. Stand structure and allometry of trees during selfthinning of pure stand. *J. Ecology* 66 : 599-614.
- Monk, C. D., G. I. Child, and S. A. Nicholson. 1969. Species diversity of a stratified oak-hickory community. *Ecology* 50(3) : 468-470.
- Moon K. S. 1991. The components and utilization of medical plants. Ilweolseogak, Pyungyang. pp419.
- Muller-Dombois, D. and H. Ellenberg. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. John Willey & Sons, New York, 547pp.
- Nakai, T. 1927. Araliaceae. In, *Flora Sylvatica Koreana*. For. exp. Sta. Govern. Chosen, Seoul. 45-46p.
- Narayanan R., J. B. Gomez, K. T. Chen. 1973. Some structural factors affecting the productivity of *Hevea brasiliensis*. II. Correlations studies between structural factors and yield. *J Rubber Res Inst Malaya* 23 : 285.
- O' rourke, Jr. E. N., and M. S. 1952. Neff. Effect of nitrogen potassium and magnesium on the growth of non-bearing tung trees on lakeland fine sand. *American Society for Horticultural Science* 61 : 56-61.
- Ohashi, H. 1994. Nomenclature of *Kalopanax septemlobus*(Thunberg ex Murray) Koidzumi

- and classification of its infraspecific taxa(Araliaceae). J. Jpn Bot. 69 : 28-31.
- Porzel A. T. V., S. J. Schmidt, M. Lischewski, G. Adam. 1992. Studies on the chemical constituents of *Kalopanax septemlobus*. *Planta Med* 58 : 481-482.
- Porzel. A., T. V. Sung, J. Schmidt, M. Lischewski, and G. Adam. 1992. Studies on the chemical constituents of *Kalopanax septemlobus*. *Planta Med.* 58 : 481-482.
- Putievsky E. 1994. Factors influencing the yield and composition of essential oils. Section I : genetics, morphogenesis and environment. 4EMES Rencontres Internationales - Nyons, 5-7, December. pp 103-115.
- Ro, H.-M., P.-G. Kim, I.-B. Lee, M.-S. Yiem and S.-Y. Woo. 2001. Photosynthetic characteristics and growth responses of dwarf apple (*Malus domestica* Borkh. cv. Fuji) saplings after 3 years of exposure to elevated atmospheric carbon dioxide concentration and temperature. *Trees* 15 : 195-203.
- Schomaker, C. E. and V. J. Rudolph. 1964. Nutritional relationship affecting height growth of planted yellow-poplar in southwestern Michigan. *Forest Science* 10(1):66-76.
- Senil V., S. Blechert, M. Colin, D. Guenard, F. Picot, P. Dotier and P. Nerenne. 1984. Mise en evidence de nouveaux analogues de taxol extraites de *Taxus baccata*. *J Nat Prod.* 47 : 131-137.
- Shao C. J., R. Kasai, J. D. Xu and O. Tanaka. 1989. Saponins from roots of *Kalopanax septemlobus*(THUNB)KOIDZ., Ciqiu: Structures of Kalopanax saponins C, D, E and F. *Chem. Pharm. Bull.* 37(2) : 311-314
- Shao. C.J., R. Kasai, K. Ohtani, O. Tanaka, and H. Kohda. 1990. Saponins from leaves of *Kalopanax pictus*(THUNB) Nakai, Harigiri: Structures of kalopanax saponins JLa and JLb. *Chem. Pharm. Bull.* 38(4) : 1087-1089.
- Sharkey, T. D. 1985. Photosynthesis in intact leaves of C3 plants : physics, physiology and rate limitations. *Botanical Review* 51 : 53-105.
- Sharp, R. E., M. A. Matthews and J. S. Boyer, 1984. Kik effect and the quantum yield of photosynthesis. *Plant Physiology* 75 : 95-101.
- Smith, T. and M. Huston. 1989. A theory of the spatial and temporal dynamics of plant communities. *Vegetation* 83:49-69.
- Tanaka, Y., N.J. Kleyn and L.M. Harper. 1986. Seed stratification of engelmann spruce and lodgepole pine : The effect of stratification duration and timing of surface drying. *The Forest Chronicle* 147-151.
- Terashima, I. and K. Hikosaka. 1995. Comparative ecophysiology of leaf and canopy photosynthesis. *Plant Cell and Environment* 18 : 1111-1128.

- Vanstone, D.E. and L.J. Lacroix. 1975. Embryo immaturity and dormancy of black ash. *Journal of America Society Horticulture Science* 100(6) : 630-632.
- Veno, P. A. 1976. Successional relationships of five Florida plant communities. *Ecology* 57 : 98-508.
- Webster, G.L. 1961. The altitudinal limits of vascular plants. *Ecology*. 42(3):587-590.
- Werf van der, A., A. Kooijman, R. Welschen and H., Lambers. 1988. Respiratory energy costs for the maintenance of biomass, for growth and for ion uptake in roots of *Carex diandra* and *Carex acutiformis*. *Physiologia Plantarum* 72 : 483-491.
- Whittaker, R. H. 1962. Classification of natural community. *Bot. Rev.* 28 : 1-239.
- Whittaker, R. H. 1965. Dominance and diversity in land plant communities. *Science* 147 : 250-259.
- Whittaker, R.H. 1956. Vegetation of the great Smoky Mountains. *Ecol. Monographs*. 26 : 1-80
- Wilmott, A. and P. D. Moore. 1973. Adaptation to light intensity in *Silene alba* and *S. dioica*. *Oikos* 24 : 458-464.
- Yadav, R. L., Rakesh Mohan and Munni Ram. 1983. Yield and quality of essential oil of Japanese mint as affected by N-rates and row spacing. *Madras Agri. J.* 7 : 454-457.
- Yusura H. and D. G. Tei. 1936. *Bull. of For. Sta. of Chosen*. 45-46p.

주 의

1. 이 보고서는 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.

[별지 제6호 서식]

농림기술개발사업 연구결과 활용계획서

1. 연구과제 개요

사업구분	<input checked="" type="checkbox"/> 현장애로 <input type="checkbox"/> 첨단기술 <input type="checkbox"/> 벤처형	분야	임업
연구과제명	음나무순 대량생산을 위한 우량품종 육성 및 생산기술 개발		
주관연구기관	국립산림과학원	총괄연구책임자	이성규
연구개발비	정부출연금	기업부담금	연구기관부담금
	150,000천원	-	-
연구개발기간	2001. 8.~2004. 8. (3년)		
주요활용유형	<input type="checkbox"/> 산업체이전 <input checked="" type="checkbox"/> 교육 및 지도 <input checked="" type="checkbox"/> 정책자료 <input type="checkbox"/> 기타() <input type="checkbox"/> 미활용 (사유:)		

2. 연구목표 대비 결과

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
① 음나무 고품질 다수확 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 양묘 및 산지식재 적지구명, 지역종 수집 품종보존원 조성 ○ 고품질 다수확 수형 개발 ○ 우량종 보급기반 조성
② 음나무 임간재배법 탐색	<ul style="list-style-type: none"> ○ 저광도 생장특성구명 - 임간재배 적합 ○ 유용물질함량 높은 임간재배 우량종 선발

* 결과에 대한 의견 첨부 가능

3. 핵심기술

구분	핵심기술명
①	재배입지조건 구명, 양묘 및 산지식재 등 재배기술 개발
②	고품질 다수확 수형개발

4. 연구결과별 기술적 수준

구분	핵심기술 수준					기술의 활용유형(복수표기 가능)				
	세계 최초	국내 최초	외국기술 복	외국기술 제	외국기술 소화·흡수	특허 출원	산업체이전 (상품화)	현장애로 해결	정책 자료	기타
①의 기술		√						√	√	
②의 기술		√						√	√	

* 각 해당란에 v 표시

5. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과
①의 기술	음나무의 산지식재 및 재배기술 개발에 의한 유희산지의 새로운 자원화로 농산촌 신소득원 개발
②의 기술	음나무 순의 고품질 다수확 수형을 개발하므로써 음나무 재배수익성 극대화

6. 연구결과의 기술이전조건(산업체이전 및 상품화연구결과에 한함)

핵심기술명			
이전형태	<input type="checkbox"/> 무상 <input type="checkbox"/> 유상	기술료 예정액	천원
이전방식	<input type="checkbox"/> 소유권이전 <input type="checkbox"/> 전용실시권 <input type="checkbox"/> 통상실시권 <input type="checkbox"/> 협의결정 <input type="checkbox"/> 기타()		
이전소요기간		실용화예상시기	
기술이전시 선행조건			

- * 핵심기술이 2개 이상일 경우에는 각 핵심기술별로 위의 표를 별도로 작성
- * 기술이전시 선행조건 : 기술실시계약을 체결하기 위한 제반 사전협의사항(기술지도, 설비 및 장비 등 기술이전 전에 실시기업에서 갖추어야 할 조건을 기재)
- * 실용화예상시기 : 상품화인 경우 상품의 최초 출시 시기, 공정개선인 경우 공정개선 완료시기 등

연구개발보고서 초록

과 제 명	음나무순 대량생산을 위한 우량품종 육성 및 생산기술 개발				
	Development of Mass Bud Production Technique for <i>Kalopanax pictus</i>				
주관연구기관	국립산림과학원		총괄연구 책임자	(소속) 산림종자연구소	
참여기업	-			(성명) 이 성 규	
총연구개발비 (단위: 천원)	계	150,000	총 연구 기간	2001.8.~2004.8.(3년)	
	정부출연금	150,000	총 참 여 연구 원 수	총 인원	19
	기업부담금	-		내부인원	13
	연구기관부담금	-		외부인원	6
	기 타	-			
<p>○ 연구개발 목표 및 내용</p> <ul style="list-style-type: none"> - 음나무 고품질 다수확 기술개발 - 음나무 임간재배법 탐색 <p>○ 연구결과</p> <ul style="list-style-type: none"> - 음나무 고품질 다수확 기술개발 <ul style="list-style-type: none"> • 양묘 및 산지식재 적지구명, 지역종 수집, 품종보존원 조성 • 고품질 다수확 수형 개발 • 우량종 보급기반 조성 - 음나무 임간재배법 탐색 <ul style="list-style-type: none"> • 저광도 생장특성구명 - 임간재배 적합 • 유용물질함량 높은 임간재배 우량종 선발 <p>○ 연구성과 활용실적 및 계획</p> <ul style="list-style-type: none"> - 논문게재 : 식물생명공학회지 29(3) : 209-25, 한국생태학회지, 한국농림기상학회지 - 학술발표 : 한국임학회 - 홍 보 : 산림지 					

< 양식 4 >

자체평가 의견서

연구개발분야	임업	과제관리번호	101036-3		
연구과제명	음나무순 대량생산을 위한 우량품종 육성 및 생산기술 개발				
주관연구기관	국립산림과학원				
연구담당자	총괄책임자	이 성 규			
	협동·위탁 ·세부 연구책임자	기관(부서)	서울대학교	성 명	이은주
연구 기간	총 기 간	2001. 8.~2004. 8.	당해년도기간	2003.8~2004.8	
연구비(천원)	총 규 모	150,000	당해년도규모	50,000	

1. 연구는 당초계획대로 진행되었는가?

당초계획 이상으로 진행 계획대로 진행 계획대로 진행되지 못함

계획대로 수행되지 않은 원인은?

2. 당초 예상했던 성과는 얻었는가?

- 예상의 성과얻음 어느 정도 얻음 얻지 못함

3. 연구과정 및 성과가 농림어업기술의 발전·진보에 공헌했다고 보는가?

- 공헌했음 현재로서 불투명함 그렇지 않음

4. 경제적인 측면에서 농림어가의 소득증대에 공헌했다고 보는가?

- 공헌했음 현재로서 불투명함 그렇지 않음

5. 얻어진 성과와 발표상황

- 5-1 경제적 효과 기술료 등 수익 수 익 :
 기업등에의 기술이전 기업명 :
 기술지도 등 기업명 :
- 5-2 산업·지적재산권 등 국내출원/등록 출원 건, 등록 건
 해외출원/등록 출원 건, 등록 건
- 5-3 논문게재·발표 등 국내학술지 게재 1건
 해외학술지 게재 건
 국내학·협회 발표 1건
 국내세미나 발표 건
 기타 1건
- 5-4 인력양성효과 석 사 명
 박 사 명
 기 타 명
- 5-5 수상 등 있 다 상 명칭 및 일시 :
 없 다
- 5-6 매스콤등의 PR 있 다 1 건
 없 다

6. 연구개발착수이후 국내 다른 기관에서 유사한 기술이 개발되거나 또는 기술 도입함으로 연구의 필요성을 감소시킨 경우가 있습니까?

- 없다 약간 감소되었다 크게 감소되었다

감소되었을 경우 구체적인 원인을 기술하여 주십시오?

7. 관련된 기술의 발전속도나 추세를 감안할 때 연구계획을 조정할 필요가 있다고 생각하십니까?

- 없다 약간 조정필요 전반적인 조정필요

8. 연구과정에서의 애로 및 건의사항은?

(아래사항은 기업참여시 기업대표가 기입하십시오)

1. 연구개발 목표의 달성도는?
 만족 보통 미흡
 (근거 : _____)

2. 참여기업 입장에서 본 본과제의 기술성, 시장성, 경제성에 대한 의견
 - 가. 연구성과가 참여기업의 기술력 향상에 도움이 되었는가?
 충분 보통 불충분
 - 나. 연구성과가 기업의 시장성 및 경제성에 도움이 되었는가?
 충분 보통 불충분

3. 연구개발 계속참여여부 및 향후 추진계획은?
 - 가. 연구수행과정은 기업의 요청을 충분히 반영하였는가?
 충분 보통 불충분
 - 나. 향후 계속 참여 의사는?
 충분 고려 중 중단
 - 다. 계속 참여 혹은 고려중인 경우 연구개발비의 투자규모(전년도 대비)는?
 확대 동일 축소

4. 연구개발결과의 상품화(기업화) 여부는?
 즉시 기업화 가능 수년내 기업화 가능 기업화 불가능

5. 기업화가 불가능한 경우 그 이유는?

작 성 자

구 분	소 속 기 관	직 위	성 명
총괄연구책임자	국립산림과학원	임업연구관	이성규 
협동연구책임자	서울대학교	조교수	이은주 