

임분내 광환경의 차이에 따른 주요 참나무 수종의 성장과 엽록소 함량 변화에 관한 연구¹

권기원² · 최정호² · 송호경² · 강병식²

Studies on Growth and Chlorophyll Contents of Major Oak Tree Seedlings under Different Light Environment in Forest¹

Ki-Won Kwon², Jeong-Ho Choi², Ho-Kyung Song² and Byung-Sik Kang²

요 약

참나무류 주요 수종을 대상으로 다양한 광선 조건에 식재된 실생묘의 활착 및 상대성장량과 광선에 대하여 민감하게 작용하는 엽록소 함량의 계절적인 변화를 조사하기 위하여 상수리나무 1-1묘, 1-0묘, 신갈나무 1-0묘, 졸참나무 1-0묘, 굴참나무 1-0묘를 상수리나무 임분내에 상층임분 밀도를 자연광의 81%, 34%, 21% 등 3가지로 조절하였다.

조사대상 수종의 묘목을 20m x 10m 크기의 시험구에 100본씩 식재하여 활착율, 상대성장량, 엽록소 함량을 비교하였다.

상수리나무 1-1묘가 평균 73%로 다른 수종에 비해 높은 활착율을 보였고, 상수리나무 1-0묘가 66%, 신갈나무와 졸참나무가 각각 56%, 45%였으며, 굴참나무는 41%로 이식후 활착율이 가장 낮게 나타났다. 또한 자연광의 81% 실험구에서 대부분의 주요 참나무류 수고, 근원경 생장이 가장 좋은 경향을 보여 주고 있었으며 자연광의 21% 실험구에서는 오히려 광도가 낮아지면서 생장이 상대적으로 저해되는 경향을 보여 주고 있다. 엽록소 함량(a, b, 총엽록소 함량)은 광도가 낮아지면서 엽록소 함량도 낮아지는 것을 알 수 있었다. 그러나 주요 참나무류 수종의 피음 효과에 대한 성장반응은 지속적으로 관찰해야 하며, 엽록소 함량과 생장에 밀접한 관련이 있는 생리적 특성에 대한 연구도 필요할 것으로 생각된다.

ABSTRACT

This study was subjected to compare seasonal changes of survival rate, relative growth rate, and chlorophyll contents of major oak tree species including *Quercus acutissima*, *Quercus mongolica*, *Quercus serrata*, *Quercus variabilis* seedlings grown in *Quercus acutissima* forest under different light intensities. Three light intensities were 81% of sunlight, 34% of sunlight and

1. 접수 2003년 12월 20일 Received on December 20, 2003

2. 충남대학교 환경임산자원학부 Environmental Science and Forest Resources, Chungnam University, Korea

* 본 연구는 농림부 지원 농특 첨단기술개발과제(200075-3)로 수행된 연구결과의 일부임.

21% of sunlight. In each treatment, 100 tree seedlings were planted and survival rate, growth rate, and chlorophyll contents were measured.

The highest survival rate was *Quercus acctissima* in 73% seedlings compared with those subjected to the other tree seedlings in 45~66%. Lowest survival rate was *Quercus variabilis* seedlings in 41%. Oaks tree species of the height, the root collar diameters of the relative growth were better in the seedlings grown in 81% light intensities of full sun. But growth rates decreased rapidly in the shade treatment of 21% light intensities of full sun. Lowest chlorophyll contents(chlorophyll a, b and total) were shown at 21% light intensities of full sun, lowest light intensity treatment in this study. This result is thought growth and chlorophyll contents associated with light intensity. Also, Physiological characteristics has to be investigated in near future because photosynthesis and chlorophyll contents were strongly related to tree growth with long periods.

Keywords : *Quercus acctissima*, *Quercus mongolica*, *Quercus serrata*, *Quercus variabilis*, shade treatment, relative light intensity, survival rate, relative growth rate, chlorophyll contents

서론

현재 우리나라 산림에 분포하는 다양한 활엽수 수종들 중에서도 낙엽성 참나무류는 그 분포면적이나 용도 및 생태학적인 측면에서의 가치 등을 고려할 때, 우리나라를 대표하는 활엽수라고 할 수 있다. 그러나 이들 수종은 과거에 상당히 오랜 기간 동안 방치된 상태에서 활잡목으로 분류되어 총체적인 숲의 가치가 크게 저하된 모습의 천연림 형태로 전국에 분포되어 왔다^{2, 11)}. 이에 따른 무계획적인 도·남벌과 산화 등의 다양한 피해에도 불구하고 이들 참나무류는 강한 생명력과 증식 능력 및 생태학적으로 참나무류의 생육에 적합한 우리나라의 기후 및 입지환경 때문에 전국적으로 비교적 양호한 임지 생산성을 유지하면서 광범위한 산림임지에 분포하고 있다. 또한 참나무류는 활엽수의 중요성이 강조되고 있는 우리나라의 산림생태계에서 대단히 중요한 역할을 담당하고 있는 대표적인 활엽수로 이들의 종실은 식용 또는 야생동물의 먹이로서 중요한 가치를 지니고 있으며 목재의 활용

측면에서도 참나무류는 고급 용재, 농기구재, 일반 건축재, 펄프재, 표고재, 고급 신탄재 등으로 그 이용가치가 대단히 높다.

최근 환경친화적 산림관리가 요구되면서, 각종 활엽수 자원에 대한 관심이 높아지고 있는 시점에서 새로운 임분을 조성하거나 기존 임분의 구조를 개선을 위한 다양한 조림 방법을 적용하고 있다. 이러한 과정에서 상층임관이 소개된 지역에 실생묘를 조림하거나 임분 하층에 수하식재 형태로 실생묘 조립시 생장을 양호하게 이끌어주기 위해서는 이들 조립지의 생태환경에 대한 이식된 묘목의 생리적인 반응을 정확히 분석할 필요가 있다^{1, 6, 7, 12)}.

특히 임분 내의 광선조건이나 상대습도, 온도 등을 포함하는 무기환경인자는 이식된 어린 묘목의 활착 및 생장에 결정적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있으며, 수하식재된 묘목의 경우에는 상층임관의 광차단에 의한 광선부족이 중요한 제한인자로 알려져 있다^{1, 3, 9, 10, 13, 15, 16)}.

본 연구에서는 참나무류 주요 수종을 대상으로 임분 하층의 다양한 광선 조건에 식재된

실생묘를 대상으로 묘목의 활착 및 상대생량과 광선에 대하여 민감하게 작용하는 엽록소 함량의 계절적인 변화를 조사하여 참나무류 임분의 조성이나 갱신 또는 육림에 필요한 기초자료를 제공하는 데 그 목적이 있다.

재료 및 방법

1. 조사지 선정

참나무류의 임분 밀도별 수하식재를 통한 초기 생산성 증대를 위한 실연연구 지역으로 충남 공주시 반포면 도남리 산 21-1에 위치한 충남 산림환경연구소의 상수리나무 임분내에 상층임분 밀도를 170본/ha구, 80본/ha구, 40본/ha구로 조절한 20m x 10m 크기의 시험구를 조성하여 2001년 4월에 실생묘 조림을 실시하였다.

2. 대상수종

상수리나무 1-1묘와 1-0묘를 수하식재 하였으며 일부 신갈나무와 졸참나무, 굴참나무 1-0 나근묘를 각각 100본씩 수하 식재하였다.

이들 이식묘목의 활착율은 생리적으로 수목의 생장이 정지되기 시작하는 8월말에 정상적으로 생육하는 묘목을 조사하였으며, 성장 비교는 수하식재를 실시한 4월과 수목의 생장이 정지되기 시작하는 10월에 근원경은 버어니어 캘리퍼스, 묘고는 2m 스틸테이프로 측정하였고, 임분 밀도에 따른 성장량을 분석하였다.

3. 엽록소 함량 측정

엽록소의 계절적인 변화를 측정하기 위하여 dimethylsulfoxide(DMSO)를 추출 용매로 이용하여 캡시시험관(15mm X 12.5cm)에 DMSO 10ml를 넣은 후 0.1mg까지 측정할 수 있는 직시천평으로 잎의 중앙 부위에서 0.1g의 잎을

정확히 평량하여 준비된 시험관에 넣고 즉시 65±1℃의 전기수욕조에 약 6~7시간 담가 엽록소를 추출하였다^{21, 29}.

일정 시간이 지난 후 추출이 완료되어 엽조직이 연한 갈색으로 변한 시험관내 추출액을 spectrophotometer(DMS-200, Varian Inc.)를 이용하여 663nm와 645nm의 파장에서 흡광도를 측정하여 아래의 식으로 엽록소 a와 b의 함량을 구하였다¹⁹.

$$\text{Chlorophyll a}(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{dry wt}) = (0.0127 \times \text{OD663} - 0.00259 \times \text{OD645}) \times f$$

$$\text{Chlorophyll b}(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{dry wt}) = (0.00229 \times \text{OD645} - 0.00467 \times \text{OD663}) \times f$$

※ OD : Optical Density

위 식에서 OD663, OD645는 각각 663, 645nm의 파장에서 측정된 흡광도이며, f는 엽록소를 추출한 잎의 생체량과 DMSO 용량에 따른 희석배수와 관련된 함수이다. 측정된 함량은 잎의 함수량을 측정하여 잎의 단위 건조량 당 엽록소 함량으로 환산하였다.

4. 실험구별 생육 환경 분석

참나무 임분의 조성 및 갱신 기술의 연구를 수행하기 위하여 임목의 생장에 직접적인 영향을 미치는 무기환경 요인중 광환경 조건을 달리한 실험구의 생육환경 조건을 분석하였다.

실험구의 생육 환경조사는 휴대용 광도계(LI-250, Li-Cor, Inc)와 습도계(HM34C, Vaisala) 등을 이용하여 조성된 각각의 실험구에서 식물의 성장과 생리활동이 비교적 활발하다고 판단되는 6월에 구름이 없는 맑은 날을 기준으로 하여 오후 12 전후에 반복 실시하였다.

실험구 내로 투입되는 광량의 변화는 태양과 수직 방향으로 10~20반복 이상 측정하였

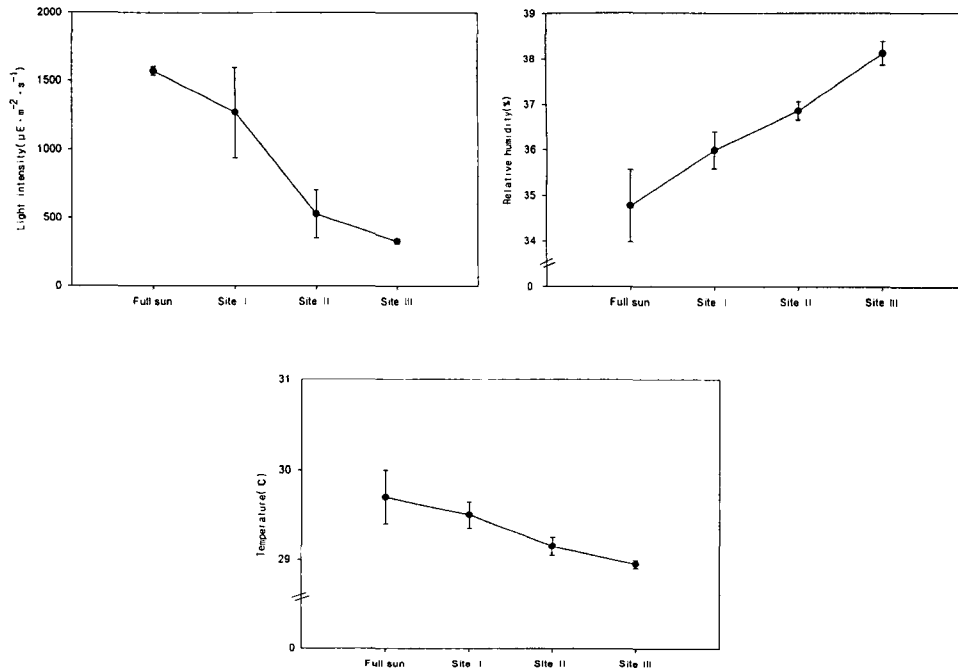


Fig. 1. Changes of light intensity, air temperature, and relative humidity in the fields subjected to three levels of shading treatments in sunny days on June.

으며, 온도와 상대습도의 측정도 식재된 참나무류 주요 수종의 묘고 높이에 맞춰 지상에서 약 30~40cm의 높이에서 반복 측정하였다.

Fig 1에서와 같이 실험구별 광량은 개활지인 전광에서 조건에서 평균 $1569 \pm 112 \mu E \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 을 보였으며 피음의 강도가 다소 약한 약 피음처리구인 실험구 I에서는 평균 $1268 \pm 150 \mu E \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$, 피음의 강도가 다소 강한 중간 피음처리구인 실험구 II는 $529 \pm 178 \mu E \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$,

마지막으로 피음의 강도가 강한 강피음처리구인 실험구 III은 $328 \pm 123 \mu E \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 을 보여 실험구 I은 전광 대비 81%, 실험구 II는 34%, 실험구 III은 21%로 임내로 투과되는 광량은 각 피음처리구별로 상당한 차이를 나타냈다.

광량과 함께 측정된 평균 온도의 변화는 전광에서 $29.5 \pm 0.3^{\circ}C$, 실험구 I은 $29.2 \pm 0.1^{\circ}C$, 실험구 II는 $29.0 \pm 0.2^{\circ}C$, 실험구 III은 $28.7 \pm 0.2^{\circ}C$ 를 보였다. 본 실험에서 각 실험구별로 광량의 감소와 함께 대기온도가 조금씩 내려가는 경향을 나타냈다. 하지만 대기온도에 큰 차이를 보이지 않은 것은 각각의 실험구 면적이 협소하여 인접하고 있는 개활지의 영향을 받았기 때문으로 생각된다.

각 실험구별 평균 상대습도는 전광이 $34 \pm 2\%$, 실험구 I은 $36 \pm 2\%$, 실험구 II는 $37 \pm 3\%$, 실험구 III은 $38 \pm 1\%$ 를 보였다 상대습도 또한 온도와 마찬가지로 실험구별로 큰 차이는 보이지 않았으나 광량의 감소와 함께 실험구내의 습도가 올라가는 경향을 나타냈다.

결과 및 고찰

1. 임분 밀도 조절에 의해 임내 피음 조건을
달리한 임지내 수하식재된 참나무류 주요
수종 실생묘의 생육비교

광환경이 다른 처리구내에서 식재된 실생묘의 활착율은 전체적으로 상수리나무 1-1묘가 평균 73%로 다른 수종에 비해 높은 활착율을 보였고, 상수리나무 1-0묘가 66%, 신갈나무와 졸참나무가 각각 56%, 45%였으며, 굴참나무는 41%로 이식후 활착율이 가장 낮게 나타났다 (Fig 2). 전반적으로 모든 수종이 저조한 활착율을 보이고 있는데 이는 묘목의 생리적인 상태와 함께 시험구의 토양 조건 및 식재 당시의 기후 환경 등이 활착에 유리한 조건을 지니지 못한 것으로 생각되며, 본 연구에서는 동일 조건하에 피음처리에 대한 상대적인 결과를 중심으로 비교하였다.

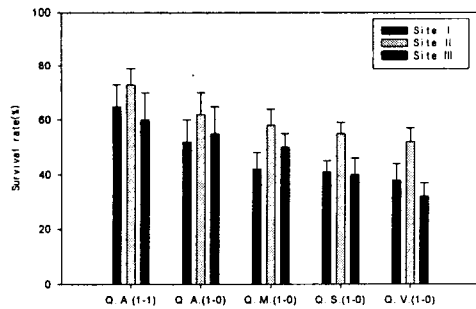


Fig. 2. Survival rate of oak tree species in the fields subjected to three levels of shading treatments.

Q. A.; *Quercus acutissima*, Q. M.; *Quercus mongolica*,
Q. S.; *Quercus serrata*, Q. V.; *Quercus variabilis*
() ; Tree ages

시험구별로는 중간피음처리구인 실험구 II가 전반적으로 높은 활착율을 보였는데 이는 이식을 실시한 시기인 4월 하순에서 5월 초순의 기상조건을 살펴볼 때 강한 광선과 함께 봄 가뭄의 영향으로 상대적으로 다른 처리구

에 비해 어느 정도 상층임관에 의해 광선이 차단된 실험구 II가 묘목의 활착에 유리한 환경조건을 조성할 수 있었을 것으로 생각된다. 또한 상층임관에 의한 적절한 피음은 수목의 활착 및 생육에 있어서 장애가 될 수 있는 임분 내 잡초나 관목류의 발생과 생장을 억제하는 등의 효과를 일부 기대할 수 있었다. 그러나 상대적으로 강피음 처리구인 실험구 III에서는 상대투광율이 전광조건에 비해 21%이하로 저하된 부족한 광조건 하에서 대부분의 주요 참나무류 묘목의 활착율이 30~60% 미만을 떨어지고 있으며, 이는 강한 광선 차단이 식물의 생육과 활착에 장애 요소가 되고 있음을 알 수 있었다. 이와 같이 강한 피음 조건에서 묘목을 식재할 경우에는 양묘 과정에서 사전에 저광도에 순화시켜 이식하는 방법을 개발할 필요가 있으며 용기묘 등을 이용하거나 식재지역의 토양을 개량하여 증으로서 이식에 따른 후유증을 감소시켜 활착 및 생장을 개선하므로써 궁극적으로 임목의 생산량을 극대화시킬 수 있으리라 생각된다^{2, 11, 17, 18, 22, 24}.

Table 1에서는 각 실험구별로 식재된 참나무 주요 수종의 생장율을 보이고 있다.

식재된 참나무류 주요 수종의 실생묘 중에서 상수리나무의 경우 1-1묘가 다른 참나무 수종과 상수리나무 1-0묘 보다 생장에 미치는 피음 처리의 영향이 컸는데 약피음처리구인 실험구 I에서 상수리나무 1-1묘의 경우 묘고 생장과 직경생장이 18.4±2.1cm, 0.9±0.3cm로 중간피음처리구와 강피음처리구인 실험구 II, III의 묘고와 근원경보다 3~6cm, 0.1~0.2cm 많은 생장을 하였으며, 피음정도가 강해지면서 생장은 위축되는 모습을 보였다.

같은 상수리나무 1-0묘에서는 약피음처리구인 실험구 I과 중간피음처리구인 실험구 II 사이에는 거의 차이가 없었으나 피음의 강도가 강한 실험구 III에서만 묘고가 약 4cm 작은 값을 나타냈다. 그러나 신갈나무, 졸참나무, 굴참나무의 1-0묘에서는 다같이 중간피음처리구인 실험구 II의 생장이 다소 큰 값을 보이며 상대적으로 좋은 생

Table 1. Growth of oak tree species seedlings in the fields subjected to three levels of shading treatments.

Species (tree ages)	Site I		Site II		Site III	
	Height (cm)	Diameter (mm)	Height (cm)	Diameter (mm)	Height (cm)	Diameter (mm)
<i>Quercus acctissima</i> (1-1)	18.4±2.1	0.9±0.3	15.3±1.2	0.8±0.2	12.1±2.1	0.7±0.4
<i>Quercus acctissima</i> (1-0)	12.3±2.5	0.6±0.2	12.2±0.9	0.4±0.3	8.3±2.5	0.3±0.1
<i>Quercus mongolica</i> (1-0)	9.5±1.6	0.3±0.3	10.4±2.1	0.3±0.3	6.5±2.6	0.3±0.2
<i>Quercus serrata</i> (1-0)	8.4±1.4	0.4±0.3	9.6±1.8	0.4±0.3	6.9±1.9	0.4±0.2
<i>Quercus variabilis</i> (1-0)	8.2±3.0	0.5±0.2	8.7±1.6	0.5±0.2	5.4±2.1	0.4±0.2

장을 보였다. 하지만 피음의 강도가 강한 실험구 III에서는 이들 수종의 묘고가 평균 3cm 정도 작은 값을 보여 생장에 있어서 중간 수준의 피음이 강한 피음처리보다 좋은 결과를 보였다.

1. 임분 밀도 조절에 의해 임내 피음 조건을 달리한 임지내 수하식재된 참나무류 주요 수종 실생묘의 엽록소 함량 비교

다양한 광환경조건하에서 실시한 실생묘 조립시 문제가 되는 광선 부족 문제를 보다 심도 있게 분석하는 일은 실생묘의 생산성 및 조립 기술을 발전시키는데 필수적으로 생각된다. 특히 수목의 잎에 다량으로 존재하면서 광합성과 밀접한 관련이 있는 엽록소는 수광 조건에 따라 그 함량에 민감한 반응을 보이는 것으로 보고^{1, 2, 9, 13, 24, 28)}되고 있는데 각 실험구에 따른 주요 참나무 수종들의 엽록소 함량이 변화하는 모습은 다음과 같다.

조사 대상 수종중 상수리나무 1-1묘의 엽록소 a의 함량이 실험기간 동안 1.29~3.02mg/g로 가장 높은 량을 유지하였으며, 신갈나무, 졸참나무, 굴참나무는 1.11~2.81mg/g로 유사

한 함량을 나타냈다(Fig. 3). 또한 계절별로는 생육시기가 지날수록 함량이 높아지는 경향을 보였으며, 피음의 처리별로는 약피음 처리구인 실험구 I > 중간피음처리구인 실험구 II > 강피음처리구인 실험구 III 순으로 각 수종간 엽록소 a의 함량이 높은 것으로 나타났다.

엽록소 b의 함량 변화 또한 엽록소 a와 유사한 경향을 보였으며, 4월과 6월사이에는 피음처리간 수종간에 큰 차이를 보이지 않다가 생장이 왕성한 6월 이후 각 처리구별로 함량의 차이가 나타났다(Fig. 4). 특히 상수리나무 1-1묘와 1-0묘가 6월 측정치가 3.35~3.78mg/g으로 다른 수종에 비해 상대적으로 높은 함량을 보였으며, 피음처리별로는 중간피음처리구인 실험구 II > 약피음 처리구인 실험구 I > 강피음처리구인 실험구 III 순으로 각 수종간 엽록소 b의 함량이 높은 것으로 나타났다.

Fig. 5에서는 총 엽록소 함량의 변화를 보여주고 있다. 총엽록소 함량 또한 엽록소 b와 거의 유사한 경향을 나타냈다. 각 수종별로 생장시기인 4월과 6월사이에는 처리구별로 큰 차이가 없었으나 생리적으로 생장이 정지하기 시작하는 9월에는 약피음 처리구인 실험구 I

임분내 광환경의 차이에 따른 주요 참나무 수종의
생장과 엽록소 함량 변화에 관한 연구¹

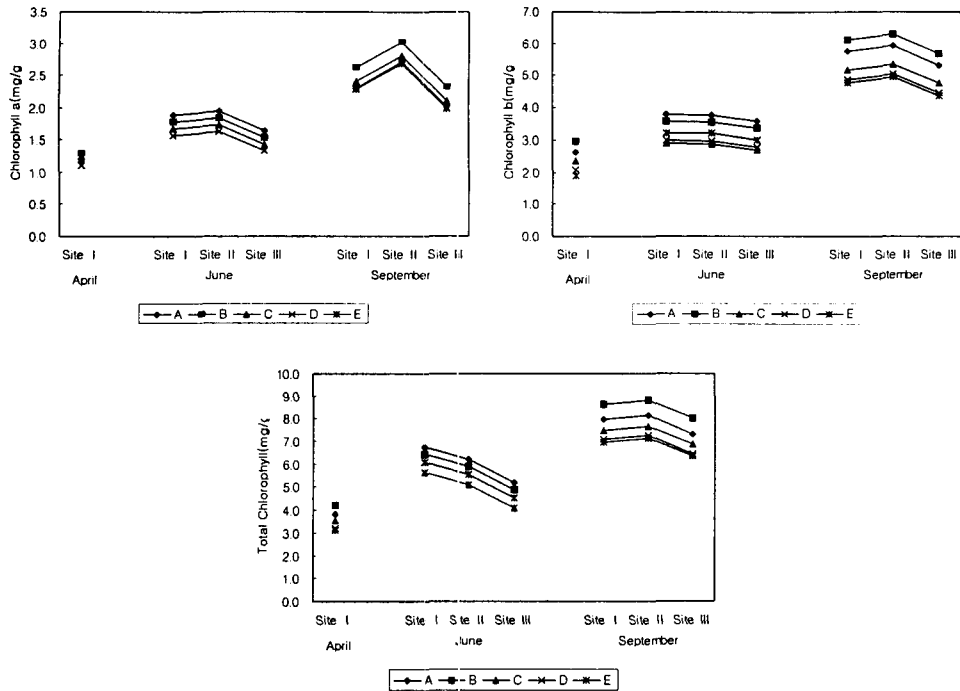


Fig. 3. Chlorophyll contents changes of oak tree species in the fields subjected to three levels of shadings treatments.

A; *Quercus acctissima*(1-1), B; *Quercus acctissima*(1-0), C; *Quercus mongolica*,
D; *Quercus serrata*, E; *Quercus variabilis*

> 중간피음처리구인 실험구 II > 강피음처리구인 실험구 III 순으로 각 수종간 총 엽록소의 함량이 높은 것으로 나타났다. 수종간에 있어서는 상수리나무 1-1묘가 8.01~8.81mg/g로 가장 높은 함량을 보였고, 굴참나무가 6.34~7.14mg/g로 상대적으로 낮은 총 엽록소 함량을 나타냈다. 이는 선행 연구 결과를 비교하여 볼 때 참나무 묘목을 자연광을 100%로 하고 자연광의 75%, 50%, 25%로 피음 처리 해주었을 때 자연광의 25%의 실험구의 참나무 묘목의 엽록소 a와 b 그리고 총 엽록소 함량이 다른 광도 조건 아래 참나무 묘목의 엽록소 함량보다 모두 낮게 나타난 결과와 같은 경향을 보였고^{1, 8, 9)}, 이는 생리적으로 강한 피음에 의한 광선의 부

족은 엽록소의 함량에 영향을 주며 결국 엽록소의 활성을 낮추어 궁극적으로 광합성의 저하를 유도하여 개개 수목의 생장이 좋지 않은 결과로 나타난 것으로 생각된다^{20, 21, 26)} 본 연구에서도 주요 참나무 수종이 적절한 광도 아래의 총 엽록소 함량은 상대적으로 피음의 강도가 강한 처리구에 비해 높은 엽록소 함량을 나타냈다. 또한 엽록소 a와 b의 비율은 전반적으로 2~3배의 차이를 보였으며 총 엽록소 함량 변화와 유사한 경향을 나타냈다. 이는 엽록소 함량은 자연광이 낮은 실험구에서 가장 좋지 않은 결과를 보였으며 이는 광도가 낮아지면 엽록소 함량도 낮아져 결국 수목의 생장에 지대한 영향을 미치는 것으로 판단된다^{9, 14, 23, 25, 27, 28, 30)}.

참 고 문 헌

1. 권기원, 김선아, 이돈구. 1996. 인공 피음 처리 하에서 자라는 몇가지 침엽수 및 활엽수 잎의 엽록소 함량에 미치는 광도 효과. 충남대학교 환경 문제연구소. 14:42-49.
2. 권기원, 최정호, 김선아, 송영문. 1997. 천연갱신 보완을 위한 임간 묘포 조성, 묘목 생산 및 식재 기술 방안. 국유림 경영 현대화 산학 협동 실연 연구보고서(VIII), 산림청 pp 196-229.
3. 김선아, 최정호, 권기원. 2002. 광환경 차이에 의한 활엽수종 유묘의 성장과 물질생산에 관한 연구. 임산에너지. 21(3):46-53.
4. 김영채. 1988. 무기적 환경요인이 잣나무 유묘의 생육에 미치는 영향에 관한 연구 (VII) -이식상에서의 중량생장에 관한 피음 처리 영향-. 한국임학회지. 77(1):100-108.
5. 김영채. 1989. 잣나무 묘목의 생육환경에 따른 성장 해석 연구. 한국임학회지. 78(3):314-321.
6. 김종진 홍성각, 홍한표. 1998. 소나무, 낙엽송 및 자작나무의 시설 양묘시 적정 광주기 및 장일 처리 보조광의 적정 광도 구명. 산림과학논문집. 58: 135-145.
7. 김종진. 2000. 광도가 곰솔 유묘의 성장과 물질생산에 미치는 영향. 임산에너지. 19(1):7-12.
8. 우수영, 이돈구. 1992. 광도와 양료 조건을 달리 했을때 상수리나무 묘목의 광합성과 Ribulose-diphosphate carboxylase의 활성에 미치는 영향. 한국임학회지. 81(1):11-20.
9. 우수영, 이동섭, 권오규. 1999. 인공 피음처리에 따른 전나무의 성장과 엽록소 함량 변화에 관한 연구. 한국농림기상학회지. 1(2):97-102.
10. 이경준. 1997. 수목생리학. 서울대학교 출판부. pp. 30-80.
11. 이돈구의 8인. 1994. 국유림 경영 현대화 산학 협동 실연 연구 보고서(V). 산림청 pp 314.
12. 조재형, 홍성각, 김종진. 2000. 피음이 층층나무 1년생 유묘의 성장에 미치는 영향. 임산에너지. 19(1):20-29.
13. 최정호, 권기원, 정진철. 2002. 인공피음처리가 주요 활엽수종의 성장과 물질생산에 미치는 영향. 임산에너지. 21(1):65-75.
14. 최정호. 2001. 인공피음이 주요수종의 성장 및 수분특성과 광합성에 미치는 영향. 충남대학교 대학원 박사학위논문. pp. 35-38.
15. 谷本丈夫. 1975. 林木の生長に及ぼす人工庇陰の影響(I). 日林誌. 57(12):407-411.
16. 谷本丈夫. 1976. 林木の生長に及ぼす人工庇陰の影響(II). 日林誌. 58(5):155-160.
17. 三那三郎, 四手井綱英. 1965. 陽光量と樹木の生育に関する研究(I) 2,3の落葉廣葉樹苗木の庇蔭効果について. 日林誌. 47(1):9-16
18. 荒木眞之. 1969. 庇陰下におけるカラマツ苗の大小差と生長. 日林誌. 51(6):143-149
19. Arnon, D. I.. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts, polyphenol-oxidase in *Beta vulgaris*, Plant Physiol. 24:1-15.
20. Bjorkman, O. and P. Holmgren, 1966. Photosynthetic adaptation to light in plants native to shaded and exposed habitats, Plant Physiol., 19:854-859.
21. Hiscox, J. D. and G. F. Israelstam. 1978. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. Can. J. Bot. 57:1332-1334.
22. Jackson, L. W. R. 1967. Effect of shade on leaf structure of deciduous tree species. Ecol. 48:498-499.
23. Kimmins, J. P. 1997. Forest Ecology. The University of British Columbia, Macmillan Publishing Company. 168p.
24. Kolb, T. E. , and K. C. Steiner. 1990. Growth and biomass partitioning of northern red oak and yellow-poplar

- seedlings : Effects of shading and grass root competition. Forest Science. 36:34-44
25. Kozlowski, T. T., P. J. Kramer, and S. G. Pallardy. 1991. The Physiological Ecology of Woody Plants. A. P.. N. Y. 811pp.
26. Loach, K. 1970. Shade tolerance in tree seedlings 1. Growth analysis of plants raised under artificial shade. New Phytol. 69:273-286.
27. Nygren, M. and S. Kellomaki. 1984. Effects of shading on leaf structure and photosynthesis in young Birches, *Betula pendula* Roth, and *B. pubescens* Ehrn, Forest Ecol. and Management. 7:119-132.
28. Robert H. Jones, and Kenneth W. McLeod. 1990. Growth and photosynthetic responses to a range of light environments in Chinese Tallowtree and Carolina Ash Seedlings. Forest Science. 36:851-862
29. Shouichi, Y., F. Douglas, H. C. James, and A. G. Kwanchai. 1976. Laboratory manual for physiological studies of rice. The international rice research institute. 110p
30. Sims, D. A. and R. W. Pearcy. 1992. Response of leaf anatomy and photosynthetic capacity in *Alocasia macrorrhiza*(Araceae) to a transfer from low to high light. Amer. J. Bot. 79(4):449-455.