

## 광도와 토양수분 구배(勾配)에 따른 참나무류(*Quercus serrata*, *Q. mongolica*, *Q. variabilis*) 치수(稚樹)의 발아 및 성장

변무섭

전북대학교 농과대학 농업과학기술연구소  
(2000년 9월 28일 접수)

## Germination and Growth of Oaks (*Quercus serrata*, *Q. mongolica*, *Q. variabilis*) Seedlings by Gradient of Light Intensity and Soil Moisture

Mu-Sup Beon

Institute of Agricultural Science & Technology, College of Agriculture,  
Chonbuk National University, Chonju 561-756, Korea  
(Manuscript received 28 September 2000)

### ABSTRACT

This study was carried out to analyze ecophysiological responses for seedling of *Quercus serrata*, *Quercus mongolica* and *Quercus variabilis* that are the typical species of deciduous broadleaved forests in Korea. And executed experiments in the climatic control room to provide necessary information to ecological forest management and methods of natural regeneration through the analysis of seedling responses. The details of experimental analysis were growth processes of 4 months after seeding that vary with the condition of three light intensity[relative light intensity(RLI) 8%, 20%, 52%] and three soil moisture[water suction(WS)  $\Psi=100$  hPa,  $\Psi=280$  hPa,  $\Psi=330$  hPa] gradient, growth factors after harvesting and the nutrition condition of leaves. The results of this study are followings: 1) Early growth was prosperous after germination for the species which have more weight of acorn. 2) The formation of lammas shoot was favourable with *Q. variabilis* and *Q. mongolica*. And the rate of the occurrence was the highest in the RLI 20%, and it was remarkably reduced in the RLI 8%. 3) As the height growth of seedling of all 3 species were greater in the RLI 20% and 8% than that of the RLI 52%, they showed strong shade tolerance. 4) The increase of light intensity promoted the diameter at root collar growth, and development of main and lateral roots with all 3 species. 5) It showed that the increase of light intensity in the experimental radiation condition raised special leaf area weight(mg/cm<sup>2</sup>) and leaf area productivity(mg/cm<sup>2</sup>). Consequently, these resulted in the increase of leaf thickness and total dry biomass per the unit area of leaf. 6) As the increase of light intensity, the minerals contents of leaves such as N, P and K were lowered, and the increase of soil moisture resulted in the increase of P, K, Ca and Mg.

**Key words** : oaks seedlings, germination, lammas shoot, shade tolerance, leaf nutrient

### I. 서 론

참나무류인 졸참나무(*Quercus serrata*), 신갈나무(*Quercus mongolica*), 굴참나무(*Quercus variabilis*)는 한국의 산림생태계에서 주요 우점군(優占群)으로 출현

하며, 잠재자연식생으로서도 그들의 대표성이 인정되고 있다(Kim, 1990; Yim, 1995). 이들 수종들은 심근성으로 환경 적응력이 강하며 낙엽은 임지의 비옥화에 크게 기여하고 목재의 이용가치도 매우 높은 우리 고유의 향토 수종이다. 다양한 산림의 기능과 생태적

으로 안정되며 지속적으로 생산이 가능한 산림 경영체계의 추구라는 21세기 산림정책에 부합하여 참나무류에 대한 중요성은 날로 높아지고 있는 실정이다. 따라서 경제적이고 환경적인 가치가 있는 졸참나무, 신갈나무, 굴참나무에 대한 생태·생리학적인 기초 연구가 필요하다고 할 수 있다.

산림에서 수목의 성장은 기후, 토양, 지형 등에 의한 자연적 입지환경에 크게 영향을 받는다. 그러한 입지환경 중에서 수목생장에 결정적인 역할을 하는 인자로서 광선, 온도, 수분, 양분, 이산화탄소 등을 들고 있다(Mitschlich, 1981; Larcher, 1994). 특히 입내에 도달하는 광선은 천연갱신의 가능성을 결정짓는 가장 중요한 요소가 된다(Röhrig and Gussone, 1992). 하지만 우리 나라와 같이 복잡한 산악형태의 산림에서 갱신치수 성장과 관련 있는 미기후적인 요소를 파악하기에는 구명해야할 사실이 많다. 직접 숲 내에서의 갱신치수에 대한 연구는 현장의 입지요소 및 타 식물과의 경쟁관계를 파악하는데 매우 중요하지만, 여러 인자가 복합적으로 나타날 가능성이 많다. 따라서 한 영향인자만을 정확하게 파악하기 위해서는 기후조절이 가능한 생육조정실에서의 실험이 효과적이라고 할 수 있다.

그 동안 우리 나라 참나무류의 생태 및 임분구조에 대한 연구는 비교적 활발하게 진행되어 왔고(신만용 등, 1992; 송호경 등, 1995; 임경빈 등, 1995), 생육환경에 대한 생리실험도 부분적으로 이루어져 왔다(김지문 등, 1984; 임업연구원, 1988, 1989, 1990). 그러나 참나무류의 갱신법에 대한 체계적인 연구가 아직도 미미하고, 특히 천연갱신법을 고려한 생태·생리학

적 연구는 매우 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 수목성장에 가장 중요한 환경인자들로 여겨지는 광도와 토양수분의 구배에 따라 상기 수종들의 종자발아과정과 치수(稚樹)의 성장과정을 분석하는데 주목적이 있고, 아울러 이를 토대로 천연갱신법을 고찰하기 위한 기초자료를 제공하는데 있다.

## II. 재료 및 방법

공시재료인 졸참나무(*Quercus serrata*), 신갈나무(*Quercus mongolica*), 굴참나무(*Quercus variabilis*)의 종자는 경상북도 울진군 서면의 천연보호림 내에서 10월초에 채집하였다. 채집한 종자는 선별하여 냉장고(+4°C)에 보관하고, 그들의 중량, 길이, 너비, 함수율을 측정하였다(Table 1). 발아를 돕기 위하여 넓은 플라스틱 용기에 물을 적신 필터를 깔고 그 위에 종자들을 넣고 항온기(25°C)에서 발아를 촉진 시켰다. 발아처리된 종자들의 유근이 평균 5 mm 정도 자란 것들을 균일한 성분의 배양토가 담긴 플라스틱 용기(18×18×18 cm)에 5개씩 심어 각각 졸참나무 180개체, 신갈나무 270개체, 굴참나무 360개체의 유묘(幼苗)를 생성하였다.

공시 배양토로는 이탄토(흑이탄20%, 백이탄50%, 부식15%, 점토15%)와 세사(細砂)를 8:1의 비율로 혼합하여 사용하였다. 세사(細砂), 이탄토 및 배양토의 화학적 성질은 Table 2에 나타나 있다. 플라스틱 용기에 균일한 양(2,650 g)의 배양토를 채운다음, 파종전에 충분히 관수 하였다.

생육실험은 독일 괴팅겐대학 조림및산림생태연구소

**Table 1.** Biometric characters of acorns of *Q. serrata*, *Q. mongolica* and *Q. variabilis*

	fresh weight (mg)	width (mm)	length (mm)	dry weight (mg)	the ratio of contained water(%)
<i>Q. serrata</i>	915 ± 245	10.1 ± 1.4	18.0 ± 1.9	631 ± 173	31 ± 4.6
<i>Q. mongolica</i>	2808 ± 302	16.1 ± 0.8	21.4 ± 1.0	1800 ± 169	36 ± 2.1
<i>Q. variabilis</i>	4688 ± 659	19.4 ± 1.6	20.4 ± 0.8	3198 ± 503	32 ± 2.0

**Table 2.** Chemical properties of the soil materials

	C (%)	N (%)	C/N	K ----	Ca ----	Mg (mg/g)	P ----	Si ----
Sand	1.18	0.01	111.94	2.68	29.66	2.78	0.25	410.55
Peat	29.04	0.70	41.56	12.70	20.98	5.97	1.09	199.81
Sand+Peat	18.45	0.40	45.47	5.15	27.01	3.24	0.60	267.83

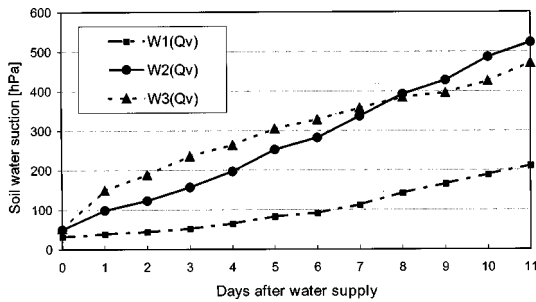


Fig. 1. Daily soil water suction [hPa] at 15 cm soil depth in three soil moisture gradients [W1=WS 100hPa, W2=WS 280hPa, W3=WS 330hPa] in containers with *Q. variabilis* (Qv).

의 생육조정실에서 실시하였다. 생육조건은 광합성유효광(Photosynthetically Active Radiation)을 나지의 전광조건(ca.  $420 \mu\text{Em}^{-2}\text{sec}^{-1}$ )과 비교해서 광도[Relative Light Intensity(RLI) 8%(= $40 \mu\text{Em}^{-2}\text{sec}^{-1}$ ), 20%(= $100 \mu\text{Em}^{-2}\text{sec}^{-1}$ ), 52%(= $220 \mu\text{Em}^{-2}\text{sec}^{-1}$ )]를 달리하는 3개의 생육조정실과 각 생육조정실에 3단계의 토양수분포텐셜[Soil Water Suction(WS)  $\Psi_1=100$  hPa,  $\Psi_2=280$  hPa,  $\Psi_3=330$  hPa; 물 공급량을 서로 다르게 처리한 후 재충수 할 때까지의 일일 측정치의 평균] 구배(勾配)를 두었다(Fig. 1). 각 처리마다 졸참나무는 20분(총180분), 신갈나무는 30분(총270분), 굴참나무는 40분(총360분)씩 실험하였다. 각 생육조정실은 낮과 밤의 길이를 14시간과 10시간을 택하였고, 온도와 관계 습도는 낮에  $22^\circ\text{C}$ 와 60%로, 밤에는  $13^\circ\text{C}$ 와 85%로 고정하였다.

생육실험 기간은 파종 후 되도록 원산지의 생육기간과 비슷하게 127일(약 4개월)동안 계속 되었으며, 실험 중 14일마다 토양수분 구배에 따라 물의 양이 다르게 충수(充水)하였고, 처음 발아과정에는 매일 관찰 조사하였으며, 그 뒤는 3일마다 발육상태를 조사 기록 하였다. 127일 후 수확하여 각 개체마다 근원경, 간장(幹長), 근장(根長), 측근(側根)의 수, 엽(葉)의 수와 엽면적(LI-COR기기 사용)을 측정하고, 엽(葉), 줄기, 주근(主根), 측근(側根)의 건조량( $105^\circ\text{C}$ )과 엽(葉)의 화학적 분석(method, s. Meiwes et al. 1984)을 실시하였다.

수집된 데이터는 Statistical Analysis System(SAS) 통계프로그램을 이용하여 일원 및 이원 분산분석(PROC ANOVA I, II)을 실시하였고, 유의성 검정은

Duncan 검정법의 5% 유의수준에서 다중비교를 실시하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 참나무류(*Q. serrata*, *Q. mongolica*, *Q. variabilis*) 종자의 특성

세 수종의 실험용 종자에서 임의추출 한 50개의 평균 생중량은 졸참나무(*Q. serrata*)가  $0.92(\pm 0.25)\text{g}$ , 신갈나무(*Q. mongolica*)가  $2.81(\pm 0.30)\text{g}$ , 굴참나무(*Q. variabilis*)가  $4.69(\pm 0.66)\text{g}$ 을 나타냈다. Rohmeder (1972)는 참나무류 도토리 중량이 발아 후 약 3년까지 묘목 성장에 큰 영향을 미치지 때문에 커다란 의미를 지닌다고 하였다. 참나무류의 종자저장은 다른 임목종자에 비하여 그 취급이 어려운 것 중의 하나이며, 저장적온은  $2\text{-}5^\circ\text{C}$ 로 알려져 있고, 종자의 발아력은 도토리 함수율이 크게 영향을 미친다(Rohmeder, 1972; 임경빈 등, 1995). Rohmeder (1972)는 유럽산 참나무(*Q. petraea*) 발아시험에서 47% 함수율을 가진 종자의 발아율은 100%인 반면에, 36% 함수율에서는 발아율이 70%로 떨어졌음을 보여주었다. 임경빈 등 (1995)도 상수리나무(*Q. acutissima*)의 발아율 실험에서 30% 함수율 이하에서 발아력이 급격히 저하됨을 보여주고 있다. 본 실험에서는 함수율이 비교적 낮았던 졸참나무(*Q. serrata*)가 발아처리에도 불구하고 유근의 발근율이 저조하였으나, 졸참나무와 비슷한 함수율을 나타낸 굴참나무(*Q. variabilis*)와 비교적 양호한 함수율을 보여준 신갈나무(*Q. mongolica*)에서는 발근율이 좋았다.

#### 2. 참나무류(*Q. serrata*, *Q. mongolica*, *Q. variabilis*) 종자의 발아

발아과정에서 세 수종 모두 1차엽(primary leaf)이 나오기까지는 광도 및 토양수분구배에 따른 성장력의 차이는 없었다. 이것은 발아과정에서 필요한 에너지는 거의 종자 내에 저장되어 있는 조직(배유 혹은 자엽)으로부터 공급받는다라는 이론과 일치하고 있다(Khan, 1977; Lyr et al., 1992). 파종한 세 수종 모두 지하자엽형 발아(地下子葉型 發芽, hypogeous germination)의 방식으로 평균 25일(*Q. variabilis*)에서 34일(*Q. serrata*)후에 상배축(epycotyl)이 지상으로 나오기

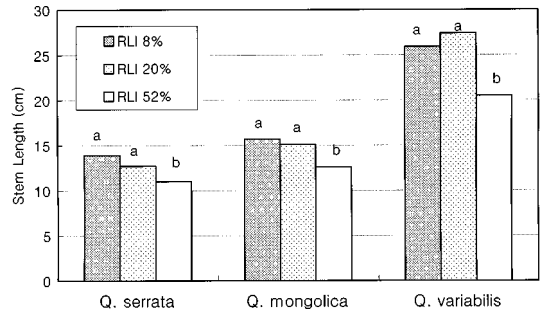
**Table 3.** Daily mean till the arrival phase by development process after seeding of *Quercus* species (Duncan Test among species by the each phase)

	S1	S2	S3	S4
<i>Q. serrata</i>	33.5 b	38.4 c	43.6 c	48.9 c
<i>Q. mongolica</i>	32.9 b	36.3 b	40.3 b	44.5 b
<i>Q. variabilis</i>	24.8 a	28.8 a	32.7 a	36.9 a

S1: epicotyl visible. S2: epicotyl over 1 cm upright. S3: primary leaf germinant. S4: fully developed first primary leaf

시작하였다. Table 3은 파종 후 시간적인 발아단계를 보여주고 있는데, 수종간에 있어서 분명한 차이를 나타내고 있다. Table 3에 따르면, 종자 중량에 비례하여 굴참나무가 신갈, 졸참나무보다 약 7-10일 정도 발아가 빠르게 진행되었음을 알 수 있었다. 한편, 임업연구원(1988)은 참나무 발아시험에서 상수리나무(*Q. acutissima*)는 파종 후 19일, 졸참나무(*Q. serrata*)는 23일째에 상배축이 형성됨을 밝혔고, Müller-Using (1991)에 따르면 유럽산 참나무(*Q. petraea*)는 파종후 23-42일에 줄기가 형성되었다.

참나무류 치수들의 성장 과정중에 특징의 하나가 바로 하아지(夏芽枝, Lammas shoot)의 형성이다(Hoffmann, 1967; Ziegenhagen, 1989; Müller-Using, 1991). 하아지(夏芽枝)란 다음해에 자라야할 정아가 당년에 미리 자라게 되는 경우를 말하는데(Bartels, 1993; 이경준, 1995), 본 실험에서는 하아지(夏芽枝)형성이 도토리 중량과 광도에 관련이 있음을 보여주었다. 세 수종간 비교에서는 가장 무거운 종자를 가진 굴참나무에서 25%, 신갈나무에서 14%, 졸참나무에서는 겨우 4%의 발생율을 보여주었다. 광도에 따른 비교에서는 굴참나무(*Q. variabilis*)와 신갈나무(*Q. mongolica*)에서 RLI 20%에서 발생율이 가장 높았으며 RLI 8%에서는 현저히 감소하였다. 이는 평균 3g의 중량을 가진 유럽산 로부아 참나무(*Q. robur*)의 발아 및 성장실험(Ziegenhagen, 1989) 결과와 유사하게 나타났다. 이 실험에 따르면 전광에서 37%, RLI 50%에서 52%, RLI 25%에서 64%, RLI 10%에서 21%의 발생율을 나타냄으로서, *Q. robur*는 RLI 25%에서 최적의 하아지(夏芽枝) 형성율을 보였다. 하아지(夏芽枝)형성은 수고의 2차 성장을 의미하기 때문에 성장 분석에서 매우 중요한 사항으로 평가된다. 이는 무거운 도토리일수록 내



**Fig. 2.** Mean stem length of *Quercus* spp. seedlings after four months growth under three different light intensities ( $\alpha=5\%$  level).

음성에 강하고, 이러한 내음성은 종자내의 자엽이나 배유의 영향을 받는다고 판단된다.

### 3. 참나무류(*Q. serrata*, *Q. mongolica*, *Q. variabilis*) 실생묘(實生苗, seedling)의 성장

Fig. 2는 졸참나무(*Q. serrata*), 신갈나무(*Q. mongolica*), 굴참나무(*Q. variabilis*)의 실생묘(實生苗)를 각각 RLI 52%, 20%, 8%의 생육조정실에서 4개월 동안 생육했을 때의 평균 묘고 성장량을 보여주고 있다. 묘고(苗高)생장은 세 수종 모두 RLI 20%와 8%에서 RLI 52%에서보다 탁월한 신장생장을 나타냄으로써 강한 내음성을 보여주었다. 이러한 참나무류 실생묘 수고생장의 내음성은 유럽산 참나무류인 *Q. robur*와 *Q. petraea*에서도 자주 확인된 바 있다(Ovington and MacRae, 1960; Röhrig, 1967; Ziegenhagen, 1989).

줄기의 직경생장은 묘고생장에 비해 일반적으로 광도에 비례하여 민감하게 반응하는 것으로 알려져 있다(Burschel and Schmaltz, 1965; Beon, 1993). 본 연구에서도 광도가 낮아짐에 따라 세 수종 모두에서 근원경(根元徑)이 작아지는 뚜렷한 경향을 입증할 수 있었다(Fig. 3). 한편 뿌리의 발달 역시 광량에 민감하게 반응하였다. 주근(主根)의 길이 성장과 측근(側根)의 발달도 광도에 비례하여 나타났고, 광선이 부족할수록 뿌리의 발달이 억제됨을 알 수 있었다.

치수의 생물량(生物量, biomass)은 성장 분석시 가장 중요한 요인 중에 하나이고, 양묘장에서는 중요한 상품가치 기준으로 활용된다. 본 연구에서의 생물량은 건중량(105°C)으로 나타내었다. 전생물량에서는 수고

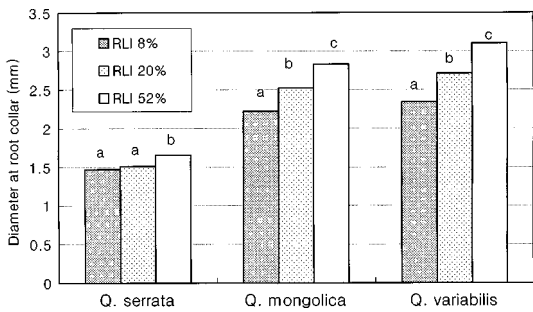


Fig. 3. Mean diameter at root collar of *Quercus* spp. seedlings after four months growth under three different light intensities. ( $\alpha=5\%$  level).

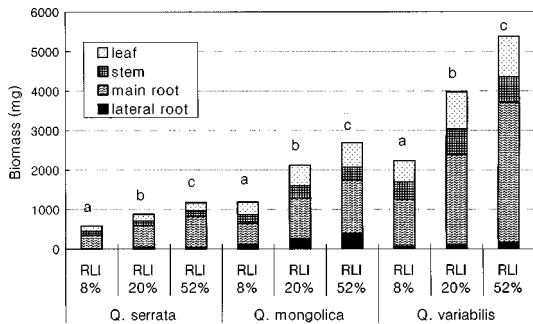


Fig. 4. Mean biomass of *Quercus* spp. seedlings after four months growth under three different light intensities. ( $\alpha=5\%$  level).

생장과는 달리 세 수종 모두에서 광도에 비례하여 생물량이 뚜렷하게 증가함을 보여주었다(Fig. 4). 이것을 다시 식물 부위별로 살펴보면, 뿌리부분이 잎과 줄기 부분에서 보다 더욱더 광도에 민감하여서, 광도가 증가할수록 T/R율은 점점 낮아짐을 알 수 있었다(Table 4). 줄기부분은 광도가 RLI 약 10% 이하로 떨어져야 비로소 생물량도 급감하여, 참나무류의 치묘(稚苗)는 상당히 내음성이 강한 것으로 나타났다. 특히 이것은 도토리의 무게와 직접적인 관련이 있어 줄참나무<신갈나무<굴참나무의 순으로 내음성이 강하게 나타났다.

유럽산 참나무류(*Q. robur*, *Q. petraea*)의 1-2년 실험 묘에서도 비슷한 결과를 보였다(Ovington and MacRae, 1960; Jarvis, 1964; Ziegenhagen, 1989).

수종간 비교에 있어서는 도토리 중량에 비례하여 전 건중량도 거의 일치를 보여주었으나, 단지 측근의 중량에 있어서 뚜렷하게 신갈나무가 굴참나무보다 2배 이상 발달하였다. 이것은 신갈나무의 강한 근맹아력과 관련이 있는 것으로 판단된다. 토양수분 구배에 따른 성장분석에서는 100 hPa에서 330 hPa에 따른 토양수분의 감소는 세 수종 모두에서 뿌리 발달의 증가를 가져 왔다.

한편 광도에 따른 잎의 형태적 발달을 간접 측정하기 위하여 개체당 엽면적 중량지수 [mg/cm<sup>2</sup>, 개체당 엽무게(mg)의 엽면적(cm<sup>2</sup>)에 대한 비율]를 조사한 결과, 광도의 증가는 세 수종 모두에서 엽면적 중량지수가 점점 높아져 있듯이 점점 두꺼워 짐을 알 수 있었다. 따라서 이러한 현상은 음엽에서 양엽의 특징으로 변화되고 있음을 나타낸다. 또한 개체당 엽면적 생산성지수[mg/cm<sup>2</sup>, 개체당 건중량(mg)의 엽면적(cm<sup>2</sup>)에 대한 비율]에서도 광도의 증가는 세 수종 모두에서 엽면적 생산성지수가 점점 높아져, 단위 엽면적당 물질 생산량이 더욱 증가함을 알 수 있었다(Table 4).

4. 참나무류(*Q. serrata*, *Q. mongolica*, *Q. variabilis*)의 엽(葉) 성분분석

수목의 엽분석은 수목의 영양 상태를 진단할 수 있고 임지의 지위를 간접적으로 파악할 수 있으며 또한 시비를 결정하는 중요한 측정 수단이 된다(Ulrich, 1986). 식물에서 영양원소의 함량이나 분배는 식물 내부(종 또는 원산지 등), 시기별(계절적) 차이 및 외부요소(입지조건 등)들에 의하여 영향을 받는다. 이러한 외부 요소들은 무엇보다 기후적 요인(광선, 온도, 강수, 증산 등)과 토양의 이·화학적 요인 등이다. 이러한 잎들은 산림생태계의 물질순환에서 중요한 역할을 담

Table 4. Mean stem root ratios, special leaf area weight and leaf area productivities of *Quercus serrata*(Q.s.), *Q. mongolica*(Q.m.) and *Q. variabilis*(Q.v.) seedlings

	stem root ratio (mg/mg)			special leaf area weight (mg/cm <sup>2</sup> )			leaf area productivity (mg/cm <sup>2</sup> )		
	Q.s.	Q.m.	Q.v.	Q.s.	Q.m.	Q.v.	Q.s.	Q.m.	Q.v.
RLI 52%	0.47 b	0.69 b	0.42 c	4.80 a	6.00 a	6.81 a	28.1 a	26.9 a	35.6 a
RLI 20%	0.54 b	0.80 b	0.74 b	3.92 b	4.46 b	4.33 b	21.2 b	19.4 b	20.4 b
RLI 8%	0.74 a	1.01 a	1.03 a	3.22 c	3.42 c	3.48 c	14.4 c	13.2 c	14.5 c

**Table 5.** Mean element concentrations in the leaves of *Quercus* species (n=9)

	C (%)	N (%)	C/N	Ca ----	Mg -----	K (mg/g)	P -----	Si ----
<i>Quercus serrata</i>								
RLI 52%	43.5	2.4 c	18.5 a	35.9 b	3.5 c	22.4 b	2.4 c	6.2 b
RLI 20%	42.4	2.6 b	16.3 b	41.0 a	4.9 a	22.1 b	2.8 b	8.0 a
RLI 8%	44.0	3.0 a	14.9 c	36.3 b	3.9 b	28.3 a	3.6 a	7.9 a
WS 100hPa	42.8 b	2.6 b	16.6	37.1 b	5.0 a	25.0	3.2 a	6.9 b
WS 280hPa	42.7 b	2.6 b	16.5	40.2 a	4.1 b	24.8	3.2 a	8.2 a
WS 330hPa	44.3 a	2.7 a	16.6	35.8 b	3.2 c	23.0	2.4 b	7.1 b
<i>Quercus mongolica</i>								
RLI 52%	44.1	2.2 c	19.8 a	32.4 b	3.8 b	15.7 c	2.3 c	5.1
RLI 20%	43.5	2.5 b	17.2 b	32.3 b	4.1 a	17.5 b	2.6 b	5.3
RLI 8%	43.2	3.1 a	14.1 c	34.5 a	3.6 b	24.0 a	3.8 a	5.5
WS 100hPa	42.0 c	2.5 c	17.3	39.8 a	5.2 a	21.5 a	3.9 a	5.2
WS 280hPa	43.8 b	2.6 b	16.9	30.8 b	3.6 b	20.1 b	2.8 b	5.5
WS 330hPa	44.9 a	2.7 a	16.9	28.6 c	2.6 c	15.6 c	2.1 c	5.2
<i>Quercus variabilis</i>								
RLI 52%	44.7	2.52 b	17.7 b	30.8 a	3.10 a	13.6 c	2.2 c	4.9 a
RLI 20%	45.1	2.45 c	18.5 a	28.5 b	2.88 b	14.7 b	2.3 b	3.8 b
RLI 8%	44.5	2.79 a	16.0 c	31.2 a	3.06 ab	20.1 a	3.1 a	4.9 a
WS 100hPa	43.5 c	2.4 c	18.5 a	35.8 a	3.4 a	18.2 a	3.5 a	5.0 a
WS 280hPa	44.6 b	2.7 b	16.9 b	29.8 b	3.0 b	14.9 b	2.2 b	4.9 a
WS 330hPa	46.2 a	2.8 a	16.7 b	25.0 c	2.7 c	15.3 b	1.9 c	3.7 b

당하고 있으며, 토양의 이·화학적 성질에 직접 간여하게 되는 것이다. 본 연구에서는 생육조정실에서의 광도와 토양수분구배에 따른 잎의 영양원소의 함량을 비교·분석하였다. 광도의 증가는 잎의 주요 3요소인 질소(N), 인(P), 칼륨(K)의 함량이 낮아지는 경향의 통계적 유의성을 보였다. 한편 토양수분의 증가는 인(P), 칼륨(K), 칼슘(Ca), 마그네슘(Mg)의 함량이 높아지는 경향을 나타내었다. Hunger(1977)는 건조와 습한 지역의 독일가문비나무 잎을 대상으로 실험하여 위와 비슷한 결과를 보여주었다. 이는 적습한 토양의 입지가 건조 토양의 입지보다도 뿌리의 무기물 흡수가 용이하기 때문이라고 밝히고 있다. 참나무류 수종간의 차이에서는 주 원소(N, P, K, Ca, Mg)의 함량이 졸참나무> 신갈나무> 굴참나무 순으로 나타나, 성장력이 약할수록 잎에 영양 염류의 함량이 높게 나타남을 보여주었다.

#### IV. 적 요

한반도 낙엽활엽수림의 우점종으로 대표되는 졸참나무(*Quercus serrata*), 신갈나무(*Q. mongolica*), 굴참나무(*Q. variabilis*)의 종자 발아 및 성장관계 실험에서 다음과 같은 결론을 도출하였다. 도토리 중량이 무거운 굴참나무가 초기 성장력에서 다른 두 수종에 비해 왕성하였고, 이는 도토리 중량이 참나무류 초기 성장에 지대한 영향을 미치는 것으로 파악되었다. 참나무류의 하아지(夏芽枝, Lammas shoot)형성과 묘고(苗高)생장에서 세 수종 모두 RLI(relative light intensity) 20%에서 RLI 52%에서 보다 높은 하아지 형성과 및 탁월한 신장생장을 나타냄으로써 상당히 강한 내음성을 보여주었다. 본 실험광도의 조건에서 광도의 증가는 세 수종 모두에서 다른 성장인자 보다 근원경(根元徑) 및 주근(主根)과 측근(側根)의 발달을 더욱

더 촉진 시켰고, 개체당 엽면적 중량지수( $\text{mg}/\text{cm}^2$ )의 증가로 나타나 음엽에서 점점 양엽의 특성을 보여주었으며, 개체당 엽면적 생산성지수( $\text{mg}/\text{cm}^2$ )는 점점 높아져 단위 엽면적당 전 건중량이 더욱 증가함을 보여주었다. 엽(葉)의 성분분석에서는 광도의 증가로 잎의 질소(N), 인(P), 칼륨(K)의 함량은 낮아지고, 토양수분의 증가는 잎의 인(P), 칼륨(K), 칼슘(Ca), 마그네슘(Mg)의 함량을 높여 주었다. 이상의 결과에서 참나무류의 천연갱신을 위한 작업법으로 초기에는 모수(母樹)의 보호 아래 나지(裸地)의 20-30% 광도 수준으로 산벌갱신(傘伐更新)작업법이 추천되며, 소나무와 혼효림 조성을 위한 군상작업(群狀作業)에서도 내음성이 비교적 강한 참나무류를 음지쪽에, 소나무는 양지쪽을 택하여 천연갱신을 유도한다면 좋은 결과를 얻으리라 사료된다.

### 인용문헌

- 김지문, 권기원, 문홍규, 박홍준, 1984: 수분 및 시비처리에 따른 참나무 실생묘의 생육반응. 충남대학교 농업과 학연구소 연구보고 **11**(2), 207-217.
- 송호경, 장규관, 김성덕, 1995: TWINSPLAN과 DCCA에 의한 신갈나무 군집과 환경의 상관관계 분석. 한국임학회지 **84**(3), 299-305.
- 신만용, 임주훈, 전영우, 고영주, 1992: 신갈나무-젓나무 천연 혼효림분의 갱신 및 무육방법. 한국임학회지 **81**(1), 21-29.
- 이경준, 1995: 수목생리학. 서울대학교출판부, 514 pp.
- 임경민, 민영택, 김영모, 한상석, 권혁민, 1995: 참나무. 임목육종연구소, 187 pp.
- 임업연구원, 1988. 참나무자원의 종합이용에 관한 연구(I). 과학기술처, 226 pp.
- 임업연구원, 1989. 참나무자원의 종합이용에 관한 연구(II). 과학기술처, 307 pp.
- 임업연구원, 1990. 참나무자원의 종합이용에 관한 연구(III). 과학기술처, 449 pp.
- Bartels, H., 1993: Gehölkunde -Einführung in die Dendrologie-. Verlag Eugen Ulmer Stuttgart, 336 pp.
- Beon, M. S., 1993: Einfluss von Übershirmung und Kalkung auf die Entwicklung der Buchenverjüngung (*Fagus sylvatica* L.) in Femellöcher. Diplomarbeit der Univ. Göttingen, 131 pp.
- Hoffmann, G., 1967: Wurzel- und Sprosswachstumsperiodik der Jungpflanzen von *Quercus robur* im Freiland und unter Schattenbelastung. *Archiv Forstw.* **16**, 745-749.
- Hunger, W., 1977: Zu den Beziehungen zwischen Wuchleistung und Ernährungszustand der jüngeren Fichte auf Lösslehmstandorten. *Flora.* **166**, 523-536.
- Jarvis, P.J., 1964: The adaptability to light intensity of seedlings of *Quercus petraea*. *Jour. Ecol.* **52**, 545-571.
- Khan, A.A., 1977: The Physiology and Biochemistry of Seed Dormancy and Germination. North Holland Publ. Co., Amsterdam, 447 pp.
- Kim, J. W., 1990: A syntaxonomic scheme for the deciduous oak forests of South Korea. *Abstracta Botanica*, **14**, 51-81.
- Larcher, W., 1994: Ökophysiologie der Pflanzen. Verlag, Ulmer, Stuttgart, 394 pp.
- Lyr, H., H.J. Fiedler and W. Tranquillini, 1992: Physiologie und Ökologie der Gehölze. Gustav Fischer Verlag, Jena-Stuttgart. 620 pp.
- Meiwes, K.J.; N. König; P.K. Khanna; J. Prenzel; B. Ulrich, 1984: Chemische Untersuchungsverfahren für Mineralboden, Auflagehumus und Wurzeln zur Charakterisierung und Bewertung der Versauerung in Waldböden. Ber. Forschungsz. Waldökosysteme, Göttingen, Reihe A, Bd. **7**, 1-67.
- Mitschelich, G., 1981: Wald, Wachstum und Umwelt. Bd. **2**, Waldklima und Wasserhaushalt. Sauerländer, Frankfurt/Main, 402 pp.
- Müller-Using, B., 1991: Eichenwälder im nordöstlichen Mexiko. Schr. Reihe Forstl. Fak. Univ. Göttingen, Bd. **103**, 263 pp.
- Ovington, J.D. and C. MacRae, 1960: The Growth of seedlings of *Quercus petraea*. *Jour. Ecol.* **48**, 549-555.
- Röhrig, E., 1967: Wachstum junger Laubholzpflanzen bei unterschiedlichen Lichtverhältnissen. *Allg. Forst u. Jagdzt.* **138**, 224-239.
- Röhrig, E. and H. A. Gussone, 1992: Waldbau auf ökologischer Grundlage. **2.** Band, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, 6. Auflage, 314 pp.
- Rohmeder, E., 1972: Das Saatgut in der Forstwirtschaft. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, 273 pp.
- Ulrich, B., 1986: Stoffhaushalt von Waldökosystemen, Bioelementhaushalt. Vorl. Skript, Inst. Bodenkunde und Waldernährung der Univ. Göttingen, **6.** Auflage. 343 pp.
- Yim, Y. J., 1995: Composition and distribution of deciduous broad-leaved forests in Korea. In: Vegetation Science in Forestry. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht Boston London, 273-298.
- Ziegenhagen, B., 1989: Die Reaktionen ein- und zweijähriger Stiel- und Traubeneichen auf unterschiedliche Strahlungsverhältnisse. Dissertation Landw. Fak. Univ. Bonn, 208 pp.