

잣나무 유림의 수령에 따른 생산량 및 태양에너지 이용효율 비교

김용택 · 이승우 · 김준호

(서울대학교 자연과학대학 식물학과)

A Comparison of Production and Solar Energy Utilization among Young *Pinus koraiensis* Plantations of Different Ages

Kim, Yong-Taeg, Seung-Woo Lee and Joon-Ho Kim

(Dept. of Botany, Seoul Nat'l. Univ.)

ABSTRACT

Phytomass, annual net production, respiration, annual gross production and litter fall were estimated in young Korean pine (*Pinus koraiensis*) plantations reforested 1, 2, 3, 6, 9 and 11 years ago, respectively. The estimated phytomasses in terms of allometry were 0.07, 0.44, 0.58, 13.37, 32.26 and 48.42ton/ha for standing phytomass and 0.07, 0.31, 0.82, 4.39, 7.43 and 9.12ton/ha/yr for annual net production and those of understory with harvest method were 3.70, 4.52, 5.28, 6.72, 7.56 and 5.72ton/ha for standing phytomass and 5.01, 4.71, 5.53, 6.15, 4.51 and 2.08ton/ha/yr for annual net production at 1, 2, 3, 6, 9 and 11 year old plantation, respectively. Although the standing phytomass of understory increased gradually until 9 years thereafter decreased, that of white pine increased suddenly from 6 years after reforestation. The ratios of the annual net production of understory to that of white pine were 71.57, 1.48 and 0.23 at 1, 6 and 11 year old plantations, respectively. The net production in calorie value for whole vegetation of the plantations increased until 9 years thereafter decreased; i.e. 224, 221, 280, 466, 527 and 494×10^5 kcal/ha/yr at 1, 2, 3, 6, 9 and 11 year old plantation, respectively. The ratio of annual net production to annual gross production of the understory was lower than that of the pine at the same plantation age. Efficiency of solar energy utilization for net production by the pine was lower than that by understory until six year old plantation but that was *vice versa* over 9 year old plantation. That for gross production by the pine was lower than that by the understory at all plantations.

緒 論

삼림생태계에서 벌목한 후의 유기물 축적과정은 재구성기(reorganization), 증가기(aggradation), 전환기(transition) 및 안정기(steady state)의 4단계를 거치는데, 초기의 약 20년간의 재구성기에는 식물량(phytomass)이 증가하지만 총유기물량은 감소한다(Borman and

본 연구는 1985년 文敎部 基礎科學育成研究造成費의 지원으로 이루어진 것임.

Likens, 1979). 휴경지에서도 휴경한 후 20년간 1차 순생산량, 식물량 및 낙엽량이 증가한 후 다시 감소된다(Toky and Ramakrishnan, 1983). *Pinus eliottii* 조림지에서 임목의 1차 순생산량은 26년 후에, 임상식물은 5년 후에 최대에 이른 후 다시 감소하였다(Gholz and Fisher, 1982). 한편 한국에서 상대생장법을 이용하여 조림지와 자연림의 식물량과 순생산량이 추정된 바 있다(김, 1971, 1976; 채와 김, 1977; 김 등, 1977). 최근 한국에는 자연림을 벌목한 후 특정 수종을 식재한 조림지가 확대되고 있는데 특히 중부 지방에서는 잣나무가 많이 조림되고 있다. 예를 들면 경기도내 조림면적의 약 50%를 잣나무가 차지하고 있다.

본 연구의 목적은 잣나무를 조림한 후 재구성기인 11년까지의 임상식물과 조림목의 식물량, 호흡량, 연순생산량, 연총생산량 및 태양에너지이용효율의 시간 경과에 따른 변화를 밝히는 데 있다.

調査地 概況

본 연구는 경기도 남양주군 수동면 수산리 물막골(37°40'~37°45'N, 127°15'~127°20'E)에 소재한 1, 2, 3, 6, 9 및 11년 잣나무조림지에서 수행되었다(Fig. 1). 각 조사지소는 소나무 또는 신갈나무림을 개별(clear cutting) 한 후 3년생 잣나무 묘목을 평균밀도 2,986본/ha(평균 개체간의 거리, 1.83 m)로 심은 0.5 ha 이상의 조림지에 정하였다. 1년 조림지는 1984년 가을에 신갈나무림을 벌목하고 1985년 봄에 잣나무를 심었고 평균경사 35°의 북동사면으로서 임상에는 큰까치수영, 큰기름새 및 국수나무가 우점하였고 벌목전 신갈나무 숲의 잔존유기물이 많았으며 급경사지에는 빗물에 의하여 토양침식이 일어났다. 2년 조림지

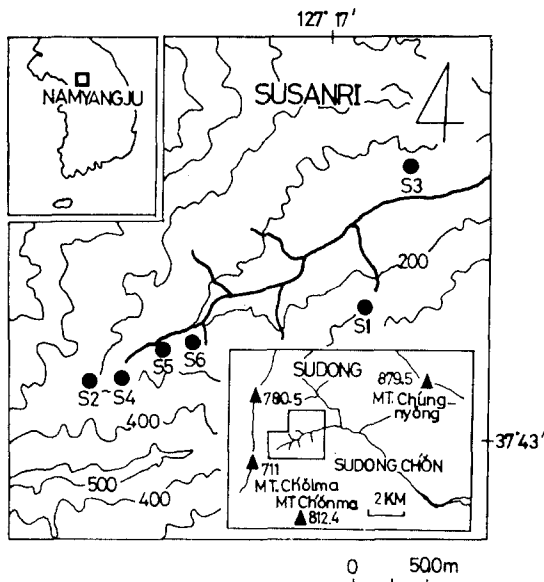


Fig. 1. A map showing study area. Closed circles indicate study sites, S1: 1 year-old, S2: 2 year-old, S3: 3 year-old, S4: 6 year-old, S5: 9 year-old, S6: 11 year-old plantation.

는 1983년 가을에 신갈나무림을 벌목하고 1984년 봄에 묘목을 심었고 평균경사 30°의 남동사면으로서 우점 하는 임상식물은 산딸기, 큰기름새 및 떡갈나무 등이었다. 토양의 A층은 약 7 cm 두께로 흑색이었다. 3년 조림지는 1982년 가을에 소나무림을 벌목하고 1983년 봄에 묘목을 심었고 평균경사 30°의 남동사면으로 임상식물은 떡갈나무, 개암나무 및 참싸리 등이 우점하며, 벌목 후 산불이 발생한 흔적이 있었다. 토양은 표토가 적갈색으로 척박하게 보였다. 6년 조림지는 1979년 가을에 신갈나무림을 벌목하고 1980년 봄에 묘목을 심은 평균경사 25°의 북동사면으로서 임상식물은 병꽃나무가 우점하였으며 관목밀에 고사리가 무성하고 잣나무에 의하여 피음되기 시작하였다. 토양 A층은 16 cm이었다. 9년 조림지는 1976년 가을에 신갈나무림을 벌목하고 1977년

봄에 묘목을 심었고 평균경사 25°의 북사면으로 임상식물은 병꽃나무, 국수나무 등이 우점하였다. 11년 조림지는 1974년 가을에 신갈나무림을 벌목하고 1975년 봄에 묘목을 심었고 평균경사 25°의 북동사면으로서 임상식물은 병꽃나무와 국수나무가 우점하였다.

연구 방법

임상식물의 현존량, 순생산량 및 낙엽소실률 임상식물의 현존량을 구하기 위하여 조림지마다 5개의 1×1 m 방형구내에 포함된 지상부를 절취하고 잎, 줄기 및 고사체로 분리하여 80°C 건조기에서 향량이 될 때까지 건조시킨 후 칭량하였다.

임상식물의 순생산량은 연최고현존량(W_{max})과 연최소현존량(W_{min})의 차에 연고사체량(D_n)을 합한 값으로 간주하였다. 임상식물의 낙엽량을 구하기 위하여 임상식물이 절취된 1×1 m의 방형구 내에 50×50 cm 방형구를 놓고 낙엽을 채취하여 2 mm 체로 토양입자를 물로 씻어내고 건조시킨 후 칭량하였다. 낙엽소실률(instantaneous disappearance rate)은 전년도 건조낙엽 20 g이 든 litter bag을 2년 조림지 임상에 방치하고 1986년 5월에서 동년 8월까지 3회에 걸쳐 회수하여 구하였다. 한편 월별 낙엽량과 낙엽소실률을 이용하여 생육기간 중의 고사체량을 계산하였다(Wiegert and Evans, 1964; Ryu and Kim, 1985).

잣나무의 생산량 추정 잣나무의 현존량은 상대생장법(allometry)에 의하여 추정되었다(Kira and Shidei, 1967). 1, 2 및 3년 조림지의 임목은 지표면상의 직경(D_0)과 수고(H)를 6, 9 및 11년 조림지의 임목은 흉고직경(D_{130})과 H 를 측정하여 임목별로 D^2H 를 계산하고 이 값의 범위 내에 있는 표준목을 선정 및 벌목하여 각 임목의 줄기(W_s), 가지(W_b) 및 잎(W_l)의 건조량과 D^2H 간의 관계에서 상대생장식(allometric formula)을 구하였다. 이 식에 각 조림지 별 임목의 평균 D^2H 값을 대입하여 조림지 별 현존량을 산출하였다. 연순생산량(W_{pn})은 당년의 현존량(W_{pt})과 전년도 현존량(W_{pt-1})의 차(W_p)에 당년의 낙엽량(W_{pd})을 합하여 산출하였고 연총생산량(W_{pg})은 W_{pn} 에 연간 호흡소실량(R)을 합하여 얻었다.

호흡량의 추정 임상식물과 잣나무의 호흡소실량을 추정하기 위하여 1, 2 및 3년 조림지 임상의 우점종인 큰기름새(*Spodiopogon sibiricus*)의 지상부와 지하부를, 6, 9 및 11년 조림지 임상의 우점종인 병꽃나무(*Weigela subsessilis*)의 뿌리, 줄기 및 잎을, 그리고 잣나무의 잎, 가지 및 직경급별로 절단된 줄기의 원판(disk)의 호흡률을 측정하였다. 각 재료의 호흡률은 항온에서 재료가 든 호흡상의 입구에 일정한 속도로 CO₂가 제거된 공기를 넣어주고 적외선가스분석기(IRGA: Yanaco air 200)를 사용하여 출구에서 나오는 공기의 CO₂농도를 측정하여 단위건물량당의 CO₂ 방출속도에서 호흡률을 계산하였다(Šesták et al., 1971; 이, 1984; Kim et al., 1986).

(1) 잣나무 줄기의 호흡소실량의 추정

잣나무의 호흡률은 그 연령, 임관의 층 및 줄기의 직경급에 따라 다르다(Negishi, 1974; Satoo, 1982; Yoda, 1983). 잣나무 줄기당 연간 호흡소실량을 추정하기 위하여 다음과 같은 일반식을 유도하였다.

$$RI(H) = \lim_{k \rightarrow 1} \sum_{k=1}^n \pi(f(Y))^2 \cdot Y/k \cdot R(Y) \cdot D(Y) \\ = \int_0^H \pi(f(x))^2 \cdot R(x) \cdot D(x) dx \dots\dots\dots(1)$$

단 $Y=H/n \cdot k$.

$RI(H)$: 일정온도조건에서 높이 H 인 나무 줄기에서 단위시간당 방출되는 CO_2 량

$f(x)$: 임의의 높이 x 에서의 줄기의 반지름

$R(x)$: 임의의 높이 x 에서의 줄기의 단위건물량당 호흡속도

$D(x)$: 임의의 높이 x 에서의 줄기의 비중 줄기가 원추체라고 가정하면 식 (2)가 성립한다.

$$f(x) = - (D_0/2)/Hx + (D_0/2) \dots \dots \dots (2)$$

여기에서 D_0 는 지표면에서의 줄기의 직경이다.

한편 20°C에서 $R(x)$ (mg CO_2 /g DW/hr)와 $f(x)$ (cm)의 관계에 다음의 멱함수($y=ax^b$)가 적용되었다(Fig. 2).

$$R(x) = 0.0542(2 \cdot f(x))^{-0.9748} \quad (r=0.9787) \dots \dots \dots (3)$$

$D(x)$ 에 목재의 평균비중 $d=0.51$ g/cm³을 적용하고 식 (1)에 식 (2)와 (3)을 대입하고 적분하면 식 (4)가 성립한다.

$$RI(H) = \pi ad D_0^{2+b} H / (3+b) / 4 \dots \dots \dots (4)$$

한편 D_0 (cm)와 H (cm)의 관계에 다음 1차식이 적용되었다.

$$D_0 = 0.0189H - 0.2295 \quad (r=0.9848) \dots \dots \dots (5)$$

식 (4)에 (5)를 대입하면 최종적으로 식 (6)이 얻어진다.

$$RI(H) = 0.0107 (0.0189H - 0.2295)^{1.0257} \text{ (mgCO}_2\text{/a stem/hr)} \dots \dots \dots (6)$$

20°C에서 ha당 1일간의 호흡량(Rd , g CO_2)은 다음과 같다.

$$Rd = RI(H) \cdot (\text{ha당의 밀도}) \cdot 24 \cdot 1000 \dots \dots \dots (7)$$

ha당 연간 총 호흡량(R_y)은 식 (8)과 같다.

$$R_y = \sum_{i=1}^{12} RdQ_i \cdot ((T_i - 20) / 10)^{M_i} \dots \dots \dots (8)$$

Q : Van't Hoff의 온도계수(Q_{10})

T_i : 월 평균 기온(°C)

M_i : 각 월당 일수(day)

잣나무의 경우 Q_{10} 값은 각 직경급별로 커다란 차이가 없었으므로 각 측정치의 산술평균인 1.68을 적용하였다.

(2) 임상식물의 연호흡량추정

임상식물의 기관별 호흡률을 4~9월에 5~35°C 사이에서 측정하여 기관별로 Q_{10} 값과 온도—호흡률의 관계식을 구하였다. 각월 평균기온을 관계식에 대입하고 각 기관별 현존량을 곱하여 월 호흡량을 추정하였다. 연호흡량은 각 월 호흡량을 합하여 구하였는데 이때 0°C 이하 달의 호흡량은 무시하였다.

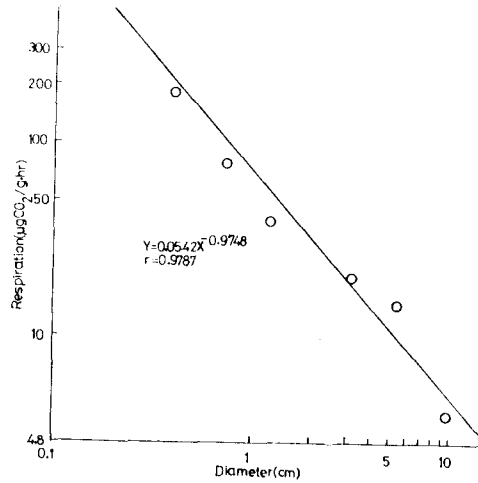


Fig. 2. Relationship between respiration at 20°C and diameter in stem disk of *Pinus koraiensis*.

열량측정 건조시킨 식물체와 낙엽의 분말 0.5 g을 pellet로 만들어 단열식 열량측정기 (Adiabatic calorimeter, Parr)로 열량을 측정하였다(Paine, 1971).

태양에너지 이용효율 태양에너지이용효율은 중앙기상대 서울측후소의 10년간(1977~1986)의 태양방사량을 광합성유효방사량(48%)으로 환산하여 그중 식물이 고정하는 에너지효율로서 계산하였다(Šesták *et al.*, 1971).

結果 및 論議

잣나무의 생장특성 조립된 잣나무의 수고와 수관폭의 생장은 조립연도에 비례하는데 수고는 1 및 6년 조립지에서 각각 0.4 및 0.3 m이었고, 수관폭은 각각 0.3 및 2.0 m이었다 (Fig. 3). 잣나무 수관에 의한 지표면의 피복율은 1, 3, 6년에서 각각 2, 14, 88%에 이르고 11년에서 잣나무수관이 지면을 완전히 점유하였고 개방면적은 피복면적에 반비례하여 좁아졌다(Fig. 3). 1년과 6년의 임상식물의 생산구조도를 비교할 때 전자는 협엽초본형으로서 잎이 하부에, 후자는 중간부위에 밀집하는 차이가 있었다(Fig. 4). 이 결과와 잣나무 수관의 피복면적 증가속도로 미루어 볼 때 1년 조립지의 잣나무 묘목은 그 주변의 임상식물에 의하여 피음되지만 6년 이상의 잣나무는 오히려 임상식물을 피음하고 있다. 그리고 수관폭의 증가속도로 볼 때 3년 조립지까지 잣나무간의 간섭이 없었지만 6년부터 간섭이 일어나기 시작하여 9년에서 더욱 커졌다.

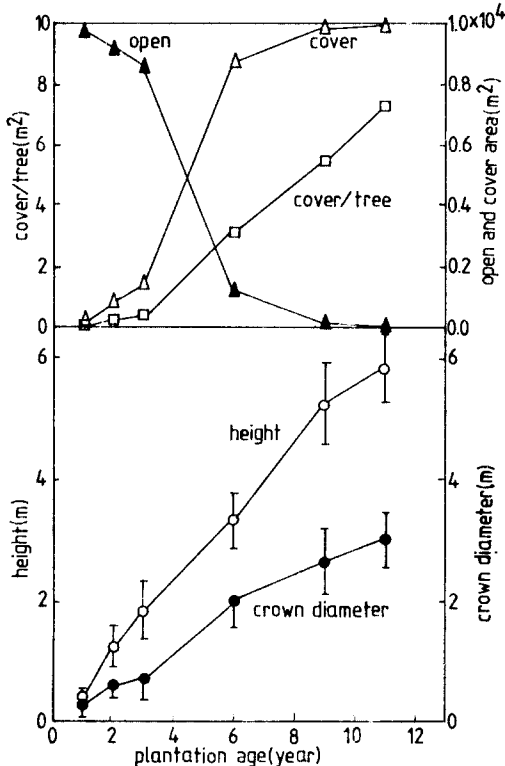


Fig. 3. Growth habits in diameter and coverage of crown and tree height, and open area of *Pinus koraiensis* plantation with different age.

현존량 잣나무의 현존량추정을 위한 1, 2 및 3년 조립지에서 임목당의 W_s , W_b , W_t 및 개체의 건조중(W_i)에 대한 상대생장식은 다음과 같았다(Fig. 5A). 여기서 D 는 지표면에서의 직경이다.

$$\begin{aligned} \log W_s &= 0.7694 \log(D^2 H) - 0.6428 \\ \log W_b &= 0.8466 \log(D^2 H) - 1.7456 \\ \log W_t &= 0.6331 \log(D^2 H) - 0.3042 \\ \log W_i &= 0.7169 \log(D^2 H) - 0.6953 \end{aligned}$$

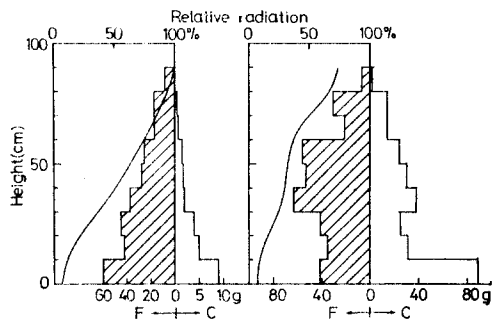


Fig. 4. Production structure of understory in 1 year-old (left) and 6 year-old (right) *Pinus koraiensis* plantations. F: photosynthetic part, C: non-photosynthetic part.

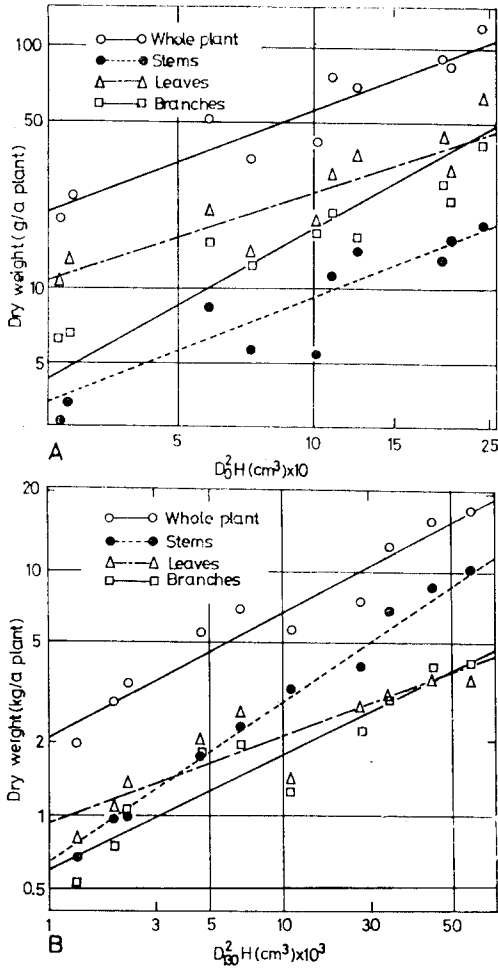


Fig. 5. Allometric relations of dry weight of stems (W_s), leaves (W_l), branches (W_b) and whole plant (W_t) to D_0^2H or D_{130}^2H . A: 1, 2 and 3 year-old plantations, B: 6, 9, 11 year-old plantations.

잣나무의 6, 9 및 11년 조림지에서 얻은 상대생장식은 다음과 같았다(Fig. 5B). 여기서 D 는 흉고직경이다.

$$\log W_s = 1.517 \log(D^2H) + 0.692$$

$$\log W_b = 0.497 \log(D^2H) + 2.880$$

$$\log W_l = 0.367 \log(D^2H) + 4.250$$

$$\log W_t = 0.540 \log(D^2H) + 3.816$$

잣나무의 기관별 상대생장계수의 크기는 1~3년 조림지에서 W_b , W_l , W_s 순으로 W_s 가 가장 적었으나 6~11년 조림지에서는 W_s , W_b , W_l 의 순으로 W_s 가 가장 컸다. 이러한 결과는 동일한 밀도에서 조림지 연령이 많아짐에 따라 수목간 간섭으로 가지와 잎의 생장은 억제되지만 줄기의 생장은 상대적으로 덜 억제됨을 나타내고 있다(권, 1982). 잣나무 기

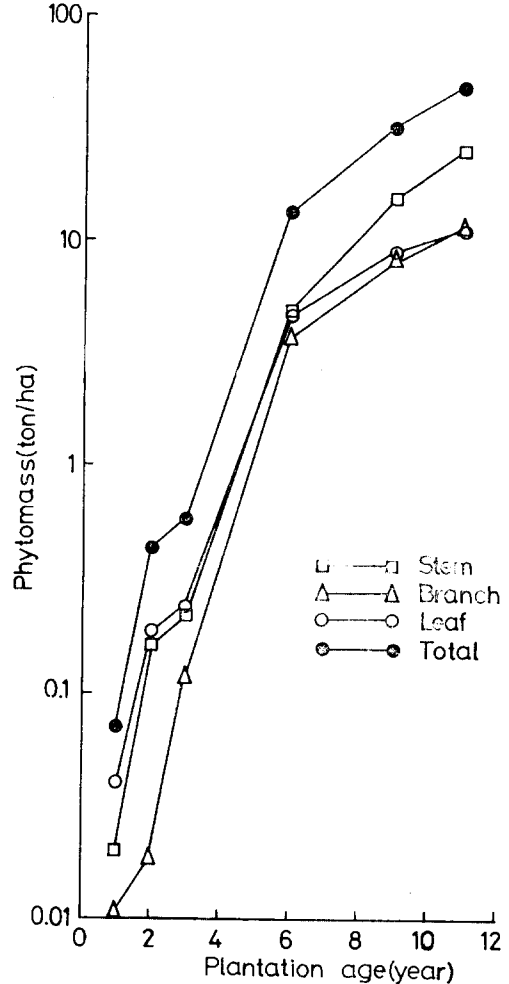


Fig. 6. Aboveground standing phytomass in each organ of *Pinus koraiensis* plantations with different age.

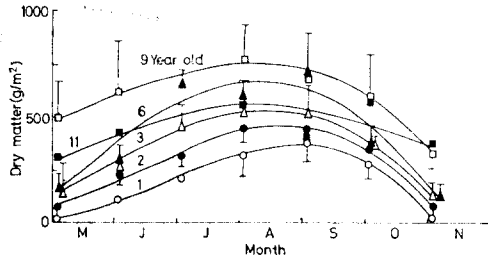


Fig. 7. Seasonal changes of aboveground dry matter of understory at differentiated plantations.

관별 현존량 생장을 보면 잎의 현존량은 1~3년에서 줄기의 것을 능가하였지만 6년에서 줄기가 잎을 앞서기 시작하여 11년에 2배 이상이 되었다. 잣나무 지상부현존량은 1, 2, 3, 6, 9 및 11년 조림지에서 각각 0.07, 0.44, 0.58, 13.37, 32.26 및 48.42 (ton/ha) (1 : 6 : 8 : 191 : 461 : 692)으로서 1~6년에서 지수생장을 하였만 그 이후에는 생장률이 둔화되었다(Fig. 6). 임상식물 지상부현존량의 계절변화를 보면 봄의 생장 초기와 가을의 생장 말기에 최저량을, 8혹은 9월에 최고량을 나타내었다(Fig. 7). 조림연령에 따른 지상부 최고현존량(W_{max})은 1, 2, 3, 6, 9 및 11년 조림지에서 각각 370, 452, 528, 672, 756 및 572 g DW/m² (100 : 122 : 143 : 182 : 204)이었다. 초본군락으로 구성된 1년조림지의 W_{max} 은 730 g DW/m²로 휴경지의 그것과 비슷하였다(Wiegert and Evans, 1964). 조림연도에 따라 임상식물을 초본과 관목(줄기와 잎)으로 구분하여 현존량을 측정 한 결과, 조림연도의 증가에 따라 초본은 1년에 최고로 된 후 3년 부터 감소하고, 관목의 잎과 줄기는 6년과 9년에 최고로 되고, 양자를 합산한 총현존량은 9년 까지 증가하고 그 이후 감소하였다(Fig. 8). *Pinus eliottii* 조림지의 임상식물은 조림 5년 후에 최대현존량을 나타내었다(Gholz and Fisher, 1982). 조림연령에 따른 잣나무 지상부현존량(W_p)에 대한 임상식물지상부현존량(W_u)의 비 W_u/W_p 는 1, 2, 3, 6, 9 및 11년 조림지에서 각각 52.86, 10.47, 9.10, 0.50, 0.21 및 0.12로서 잣나무현존량이 1년에서는 임상식물보다 작았지만 6년 이후에 많아졌다(Fig. 9).

낙엽소실률 2년 조림지에 설치한 낙엽

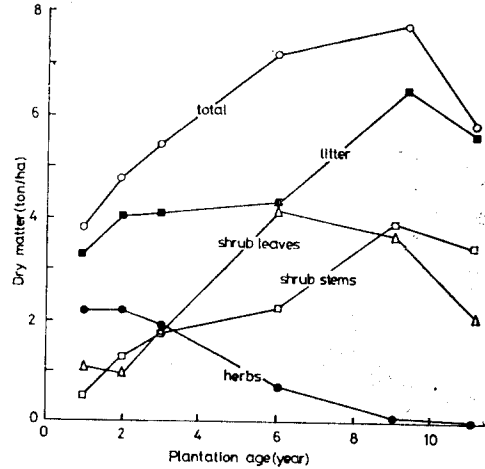


Fig. 8. Accumulation of litter and understory phytomass at *Pinus koraiensis* plantations with different age.

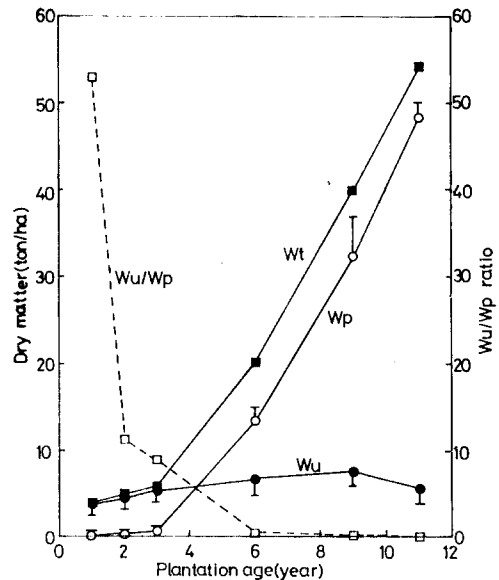


Fig. 9. Changes of aboveground phytomass of understory (W_u), *Pinus koraiensis* and whole vegetation (W_t) and the ratio of understory to *P. koraiensis* in dry weight (W_u/W_p) with different plantation age.

Table 1. Instantaneous rates of disappearance of litter from litter bags containing 20 g DW

Interval	Difference of weight (g)	Disappearance rate (mg/g/day)
May 9~June 7	4.1±0.6	7.9
June 7~July 9	3.2±1.1	7.0
July 9~Aug. 20	2.6±0.8	5.5

주머니 속의 낙엽소실물은 5, 6, 7 및 8월에 각각 7.9, 7.0 및 5.5 mg/g/일이었다(Table 1). 이 결과는 동일 기간에 묵밭에서 측정된 낙엽소실량과 비슷하고(Wiegert and Evans, 1964), 해안간척지의 것보다 작았다(Ryu and Kim, 1985). 낙엽소실물을 이용하여 임상식물의 낙엽량(Dead material, W_{ud})을 계산한 결과 1, 2, 3, 6, 9 및 11년 조림지에서 각각 131, 101, 162, 84, 19 및 35 g/m²이었다. 낙엽량은 연순생산량의 계산에 이용되었다.

Table 2. Annual net production (ton/ha/yr) in dry weight of aboveground of *Pinus koraiensis* plantation with different age

Plantation age (yr)	Phytomass				Dead material (D_p)	Annual net production ($P_{np} = P_{nt} + D_p$)
	Stem (P_{ns})	Branch (P_{nb})	Leaf (P_{nl})	Total (P_{nt})		
1	0.02	0.01	0.03	0.06	0.01	0.07
2	0.06	0.16	0.08	0.30	0.01	0.31
3	0.14	0.48	0.18	0.80	0.02	0.82
6	1.57	1.18	1.51	4.26	0.13	4.39
9	3.46	1.53	1.31	6.30	1.13	7.43
11	4.98	1.76	1.32	8.09	1.03	9.12

연순생산량 잣나무 지상부의 연순생산량(P_{np})은 줄기(P_{ns}), 가지(P_{nb}), 잎(P_{nl}) 및 고사체량(D_p)을 합한 값으로 간주하였다. P_{np} 는 1, 2, 3, 6, 9 및 11년 조림지에서 각각 0.07, 0.31, 0.82, 4.39, 7.43 및 9.12 ton/ha/yr (1 : 4 : 11 : 60 : 101 : 125)으로 증가하였다(Table 2 및 3, Fig. 10). 임상식물의 지상부 연순생산량(P_{nu})은 현존량의 계절변화(Fig. 7)에서 W_{max} 와 W_{min} 의 차를 연생체증가량(W_{uf})으로 하고 이 값에 임상식물의 연고사체량(D_w)을 합한 값으로 간주하였는데 1, 2, 3, 6, 9 및 11년에서 각각 5.01, 4.71, 5.53, 6.15, 4.51 및 2.08 ton/ha/yr (100 : 94 : 110 : 123 : 90 : 42)으로 6년에서 최고로 되었고 2~6년 사이는 4.71~6.15 ton/ha/yr로 큰 차이가 없었으며 11년에서 감소하였다(Table 3 및 Fig. 10). 이 결과는 *Pinus eliottii* 조림지에서 임상식물의 연순생산이 5년 후에 최고로 되었다가 감소되고, 조림목이 13년까지 급속히 성장한 결과와 그 경향에 있어서 일치하였다(Gholz and Fisher, 1982). 조림지 임상식물의 연순생산량은 1~2년의 초본과 3~9년의 관목 등 우점식물의 생활형과는 관계없이 거의 일정하지만 잣나무 수관에 의한 피복율이 100%에 이룬 11년에서 감소하였다. 조림연령에 따른 잣나무에 대한 임상식물의 연순생산량의 비 P_{nu}/P_{np} 는 1, 2, 3, 6, 9 및 11년에서 각각 71.57, 15.71, 6.83, 1.48, 0.61 및 0.32로 낮아졌다(Fig. 10). 즉 연순생산량은 1~3년 사이에는 임상식물이 잣나무보다 우세하고 6년에서 양자가 비슷하며, 9~11년에서 후자가 오히려 우세하였다.

호흡소실량 잣나무의 잎과 가지의 호흡소실량은 각각의 호흡률—온도관계를 지수함수에

Table 3. Annual net production (ton/ha/yr) in dry weight of aboveground of *Pinus koraiensis* (P_{np}), understory (P_{nu}) and whole vegetation (P_{nt}) and the ratio of P_{nu} to P_{np} with different age

Plantation age (yr)	Pine (P_{np})	Understory (P_{nu})	Whole vegetation ($P_{nt}=P_{nu}+P_{np}$)	% of P_{nu}/P_{np}
1	0.07	5.01	5.08	71.57
2	0.31	4.71	5.01	15.70
3	0.82	5.53	6.34	6.83
6	4.39	6.15	10.55	1.48
9	7.43	4.51	11.94	0.61
11	9.12	2.08	11.20	0.23

적용한 호흡방정식 $R=0.289 \exp(0.052t)$ 와 $R=0.025 \exp(0.0567t)$ 에서 얻은 $Q_{10}=2.10$ 과 1.76 을 적용하였다. 잣나무 줄기의 호흡소실량은 Fig. 2를 기초로하여, 수고, 목재비중 및 밀도를 식 (1)~(7)에 적용하고 월 평균기온을 식 (8)에 적용하여 월 호흡소실량을 계산하여 연호흡소실량으로 합하였다. 임상식물의 호흡은 대부분 3월부터 생육기 말까지 측정하였지만 출엽기가 늦은 큰기름새는 5월 초순부터, 병꽃나무잎은 4월하순부터 측정하였다. 20°C에서 호흡률은 큰기름새의 잎이 5월에 6.4, 병꽃나무잎이 5월에 4.4 mg CO₂/g/hr로 각각 최대를 나타내고 그후 생육기 말까지 계속 감소하였다. 다른 기관의 호흡률도 잎에서와 같이 5월에 최대에 이르렀다(Fig. 11). 이와 같이 유엽기에 호흡률이 높은 원인은 세포에 원형질이 많기 때문이다(채와 김, 1977). 임상식물의 기관별 월호흡식(김, 1987)에 월평균온도와 월별현존량을 적용하여 월호흡량을 계산한 결과를 Table 4에 종합하였다.

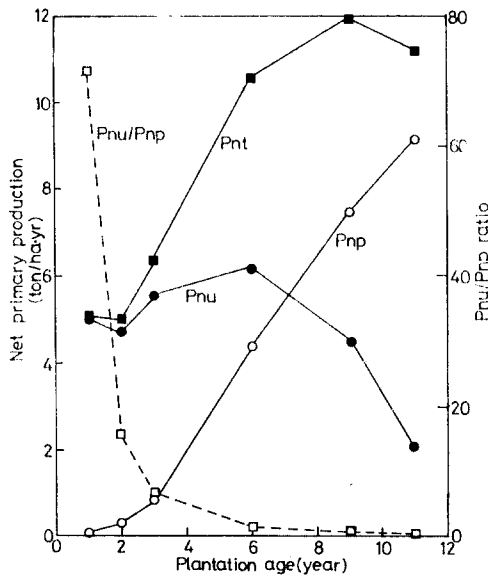


Fig. 10. Changes of annual net production of understory (P_{nu}), *Pinus koraiensis* (P_{np}) and whole vegetation (P_{nt}) and the ratio of P_{nu} to P_{np} with different ge.

호흡에 의하여 방출되는 CO₂를 칼로리량으로 환산하기 위하여 Table 4의 호흡소실량에 2,801 cal/gCO₂를 적용하여(Odum, 1971), 잣나무와 임상식물의 연호흡소실량을 계산한 결과는 Table 5와 같다. 잣나무의 연호

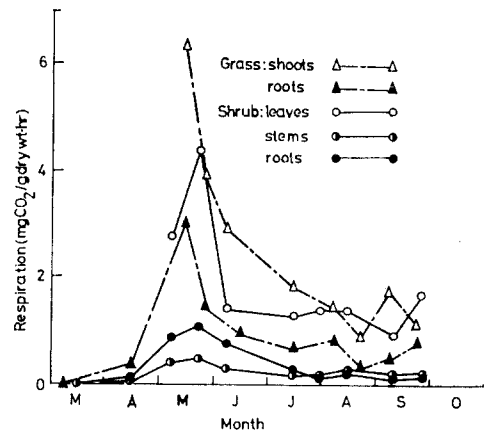


Fig. 11. Seasonal changes of respiration rate at 20°C in various organs of grass (*Spodiopogon sibiricus*) and shrub (*Weigela subsessilis*).

Table 4. Respiration ($\text{gCO}_2/\text{m}^2/\text{month}$) of understory at six *Pinus koraiensis* plantations and monthly mean air temperature ($^{\circ}\text{C}$)

Month	Mean air temp. ($^{\circ}\text{C}$)	Respiration					
		Plantation age (yr)					
		1	2	3	6	9	11
Jan.	-5.4	—	—	—	—	—	—
Feb.	-3.3	—	—	—	—	—	—
Mar.	4.9	0.1	0.4	0.6	0.6	1.4	1.7
Apr.	11.9	1.0	5.1	8.5	8.8	20.2	24.8
May	18.1	193.7	374.7	168.8	286.9	450.8	362.6
Jun.	22.1	435.6	436.3	340.3	294.5	278.0	343.6
Jul.	25.3	573.7	693.3	704.3	468.0	512.6	431.7
Aug.	26.3	454.2	621.7	699.7	550.1	757.5	479.9
Sep.	20.2	328.4	322.1	356.6	329.9	210.3	104.1
Oct.	14.7	181.2	222.1	146.8	194.7	157.8	205.5
Nov.	5.6	0.1	0.4	0.6	0.6	1.4	1.7
Dec.	-3.4	—	—	—	—	—	—
Annual total		2,168.0	2,676.1	2,426.2	2,134.1	2,390.0	1,955.6
(Kcal/ha/yr) $\times 10^5$		607.0	749.3	679.3	597.5	669.2	547.6

흡소실량은 조림연령에 비례하여 증가하였으며 임상식물의 것은 잣나무보다 2 내지 3 단위 높은 양이었다. 이와 같이 임상식물의 호흡소실이 많은 이유는 가지가 가늘어 호흡률이 높았기 때문이다(Yoda, 1983).

식물체의 칼로리량 임상식물의 잎과 줄기의 g당 칼로리량은 조림연령에 비례하고 여름과 가을에 높아지는 경향이 있었다(Fig. 12). 그러나 잎과 줄기의 칼로리량은 4,274~4,587과 4,300~4,502 cal/g로서 7%와 5%의 차이가 있을 뿐이었다. 따라서 실제로 잎과 줄기의 현존량에 적용할 때 이들의 평균값인 4,416 cal/g을 적용하였다.

연총생산량 잣나무와 임상식물의 단위면적당 연순생산량(P_n) (Table 2와 3)과 연호흡소실량(R) (Table 5)을 합한 후 칼로리량으로 환산한 값을 연총생산량(P_g)으로 나타내었다.

Table 5. Annual net production (P_n), gross production (P_g), respiration loss (R) and ratio (%) of P_n to P_g for *Pinus koraiensis* and understory with different plantation age

Plantation age (yr)	Pine				Understory				Whole vegetation	
	P_{np}	R_p	P_{gp}	P_{np}/P_{gp}	P_{nu}	R_u	P_{gu}	P_{nu}/P_{gu}	P_{nt}	P_{gt}
1	3.2	0.1	3.3	97.0	221.2	607.0	828.2	26.2	224.4	831.5
2	13.2	1.5	14.7	89.8	208.0	749.3	957.3	21.7	221.2	792.0
3	35.9	3.4	39.3	91.3	244.2	679.3	923.5	26.4	280.1	962.8
6	194.1	16.8	210.9	92.0	271.6	597.5	869.1	31.3	465.7	1,080.0
9	328.0	39.5	367.5	89.3	199.2	666.2	868.4	22.9	527.2	1,235.9
11	402.5	52.4	454.9	88.5	91.9	547.2	639.1	14.4	494.4	1,094.0

잣나무의 연총생산량(P_{gp})은 1년 조림지보다 6년이 64배 증가한데 비하여 임상식물의 연총생산량(P_{gu})은 겨우 1.04배 증가하였을 뿐이다. 그러나 양자를 합한 전식물의 연총생산(P_{gt})은 1년보다 6년이 1.3배 증가하였다. 한편 잣나무의 연총생산량에 대한 연순생산의 비, P_{np}/P_{gp} 는 모든 연령에서 약 90%로 높았지만 임상식물의 P_{nu}/P_{gu} 는 20~30%로 낮았다. 이 결과로부터 잣나무는 호흡소실이 적어서 합성한 유기물을 대부분 순생산으로 이용하는 데 비하여 임상식물은 호흡소실이 많아서 순생산량에 적게 이용하는데 특히 조림연령이 높은 11년 조림지의 임상식물은 총생산의 약 86%를 호흡으로 소비하고, 14%를 순생산으로 이용하고 있다.

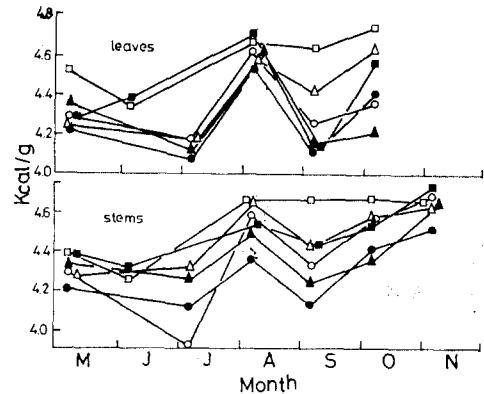


Fig. 12. Seasonal changes of caloric values in leaves and stems of understory. ○: 1 year-old, ●: 2 year-old, △: 3 year-old, ▲: 6 year-old, □: 9 year-old, ■: 11 year-old plantation.

태양에너지 이용효율 조사지로부터 30 km 거리에 위치한 서울중앙관상대의 1년 및 생육기간(5~9월)중의 태양방사에너지는 각각 1,023,860 및 618,900 Kcal/m²로서 광합성유효방사량(PhAR, 전환율 48%)은 491,000 및 297,000 Kcal/m²이었다. 이것을 이용하여 각 조림지의 태양에너지이용효율(E_u)을 계산한 결과는 Table 6과 같다. 생육기간 중 잣나무의 E_u 는 1년의 0.01%에서 11년의 1.36%로 증가되고 임상식물의 E_u 는 1년의 0.74%에서 6년의 0.91%를 최고로 하여 11년의 0.31%로 다시 낮아졌다. 두 식생을 합한 전식생의 E_u 는 1년의 0.76, 9년의 1.78%를 최고로하여 11년의 1.66%로 낮아졌다. 온대지방의 계절성 때문에 생육기 전년의 E_u 는 생육기의 E_u 보다 낮았다. 온대지방에서 밀식하여 재배한 해바라기의 E_u 는 생육기간중 평균 1.50~3.29%(최고 3.45~5.86%, 김 등, 1973), 벼는 1.75~3.63%(김 및 송, 1975) 또는 1.17~1.33%, 대두는 0.60~0.81%, 옥수수는 1.24~1.52%, 사탕무우는 1.18~1.46%(JIBP, 1970)이었다. 생육기간중 1~3년 조림지의 전식생의 E_u 는 대두와 비슷하였지만 6년 이상에서는 다른 재배식물과 비슷하였다.

Table 6. Utilization efficiency of solar energy (E) of *Pinus koraiensis* (P), understory (u) and whole vegetation with different plantation age

Plantation age (yr)	Pine				Understory				Whole vegetation			
	Growing season		Whole year		Growing season		Whole year		Growing season		Whole year	
	P_{np}/E	P_{gp}/E	P_{np}/E	P_{gp}/E	P_{nu}/E	P_{gu}/E	P_{nu}/E	P_{gu}/E	P_{nt}/E	P_{gt}/E	P_{nt}/E	P_{gt}/E
1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.74	2.79	0.45	1.69	0.76	2.80	0.46	1.69
2	0.04	0.05	0.03	0.03	0.70	3.22	0.42	1.95	0.74	3.27	0.45	1.98
3	0.12	0.13	0.07	0.08	0.82	3.11	0.50	1.88	0.94	3.24	0.57	1.96
6	0.65	0.71	0.40	0.43	0.91	2.93	0.55	1.77	1.57	3.64	0.95	2.20
9	1.10	1.24	0.67	0.75	0.67	2.92	0.41	1.77	1.78	4.16	1.07	2.52
11	1.36	1.53	0.82	0.93	0.31	2.15	0.19	1.30	1.66	3.68	1.01	2.23

摘 要

경기도 남양주군 수동면 수산리 물막골에서 신갈나무 또는 소나무를 벌목하고 잣나무를 조립한 후 1, 2, 3, 6, 9 및 11년 경과한 각 조립지에서 잣나무와 임상식물의 현존량, 연순생산량 및 호흡량을 측정하고 이들을 칼로리량으로 환산하여 연총생산량을 얻었다. 잣나무의 현존량과 연순생산량은 3년까지 완만히 증가하고 그 이후에 급격히 증가하였고, 임상식물의 현존량은 9년조립지에서 최대였고 연순생산량은 6년 조립지에서 최고로 된 후 감소하였다. 잣나무의 단위면적당 연호흡량은 조립연령에 따라 증가하였지만 임상식물의 연호흡량은 조립연령에 따라 다소 감소하는 경향이었고 후자는 전자보다 대단히 많았다. 식물의 연순생산량과 연총생산량은 9년까지 증가하지만 그후 약간 감소하였다. 그 이유는 9년 이후에 임상식물의 순생산량이 현저히 감소되며 잣나무수관이 상호접촉하기 때문이다. 생육기간중 광합성유효방사에너지에 대한 연순생산량으로의 태양에너지이용효율은 조립 후 6년까지 임상식물이 잣나무보다 높았으나 그 이후에는 잣나무가 더 높았다. 연총생산량으로의 이용효율은 조사된 기간내 모든 조립지에서 임상식물이 잣나무보다 높았다.

引 用 文 獻

- Bormann, F.H. and G.E. Likens. (1979). Pattern and process in a forested ecosystem. Springer-Verlag. New York. p. 253.
- 채명인·김준호. (1977). 물오리나무와 상수리나무숲의 생산력 비교. 한생태지, 1 : 57~65.
- Gholz, H.L. and R.F. Fisher. (1982). Organic matter production and distribution in slash pine (*Pinus eliottii*) plantations. Ecology, 63 : 1827~1839.
- Golley, F.B. (1961). Energy values of ecological materials. Ecology, 46 : 901~904.
- Hadley, E.B. and B.J. Kieckhefer. (1963). Productivity of two prairie grasses in relation to fire frequency. Ecology, 44 : 389~395.
- JIBP/PP-Photosynthesis, Local productivity group. (1970). Photosynthesis and utilization of solar energy. Level I experiments. Report III. p. 100.
- 김호열·송승달. (1975). 수도품종의 물결생산과 성장해석에 관한 연구. 한국작물학회지, 20 : 74~86.
- 김준호. (1971). 삼림의 생산구조와 생산력에 대한 연구. I. 디기다소나무 조립지에 대하여. 한식지, 14 : 19~26.
- 김준호. (1976). 삼림의 생산구조와 생산력에 대한 연구. III. 디기다소나무와 디기테다소나무의 비교. 한식지, 19 : 85~91.
- Kim, J.H., K.J. Cho, H.T. Mun and B.M. Min. (1986). Production dynamics of *Phragmites longivalvis*, *Carex scabrifolia* and *Zoysia sinica* stand of a sand bar at the Nagdong river estuary. Korean J. Ecol., 9 : 59~71.
- 김준호·선순화·이석구·김현석. (1977). 은수원사시나무 조립지의 생산구조와 생산성. 한국임학회지, 35 : 9~14.
- 김준호·최현섭·송승달·강상준·오지영·김두영·김봉섭·서용택·진봉희·안진홍. (1973). 한국의 지역에 따른 육상식물의 생산력 비교연구(해마라기 식물의 최고생산량 비교). 과학기술처 보고논문. p. 34.
- 김용택. (1987). 잣나무 유림의 연령에 따른 일차생산성 비교. 서울대학교 석사학위논문. p. 63.
- Kira, T. and T. Shidei. (1967). Primary production and turnover of organic matter in different

- forest ecosystems of the Western Pacific. *Jap. J. Ecol.*, 17 : 70~87.
- 권태호. (1982). 경기도 광주지방 잣나무 인공림의 물질생산에 관한 연구. 서울대학교 석사학위 논문. p. 58.
- 이승우. (1984). 비와 피식물의 생장, 기공저항, 암호흡, 광호흡 및 광합성에 미치는 Triacntanol의 영향. 서울대학교 석사학위 논문. p. 31.
- Negishi, K. (1974). Respiration rates in relation to diameter and age in stem or branch sections of young *Pinus densiflora* trees. *Bull. Tokyo Univ. Forests*, 66 : 209~220.
- Paine, R.T. (1971). The measurement and application of the calories to ecological problems. *Ann. Rev. Ecol. Systematics*, 2 : 145~164.
- Ryu, B.T. and J.H. Kim. (1985). Comparison of estimation method for primary net production at herbaceous coastal marsh vegetation. *Korean J. Ecol.*, 8 : 133~140.
- Satoo, T. (1982). Forest biomass. Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk publ. 152pp.
- Šesták, Z., J. Catský and P.G. Jarvis. (1971). Plant photosynthetic production: Manual of methods. The Hague. p. 818.
- Toky, O.P. and P.S. Ramakrishnan. (1983). Secondary succession following slash and burn agriculture in north-eastern India. *J. Ecol.*, 71 : 735~745.
- Wiegert, R.G. and F.C. Evans. (1964). Primary production and the disappearance of dead vegetation on an old field in Southeastern Michigan. *Ecology*, 45 : 49~63.
- Yoda, K. (1983). Community respiration in a lowland rainforest in a Pason Malaysia. *Jap. J. Ecol.*, 33 : 183~197.

(1988年 4月 15日 接受)