

## 백두산 동북부지역 소나무 천연림 biomass 추정모델<sup>1</sup>

김영환<sup>2</sup> · 이돈구<sup>2</sup> · 孟憲宇<sup>3</sup>

### Regression Model for Estimating Biomass of Natural *Pinus densiflora* Forests in Northeast Area of Mt. Paekdu<sup>1</sup>

Jin, Yonghuan<sup>2</sup>, Don Koo Lee<sup>2</sup> and Xianyu Meng<sup>3</sup>

#### 요 약

중국 백두산 북부지역 소나무천연림을 대상으로 임분의 biomass를 추정하기 위하여 5개 등급 밀도별로 각각 7본씩 표본목을 선정하여 벌도한 후 4개의 상대성장식( $W=aD^b$ ,  $W=a(D^2H)^b$ ,  $\log W=a \cdot \log D+cD$ ,  $\log W=a+b \cdot \log(D^2H)+c(D^2H)$ )을 이용하여 부위별로 biomass 추정식을 유도하였다. 밀도가 다른 임분에서 부위별로 적합한 biomass 추정식 유형이 다르게 나타났는데 줄기, 수피 및 지상부 전체 biomass량을 추정하는 경우,  $\log W=a+b \cdot \log(D^2H)+c(D^2H)$ 식이 결정계수는 높고 상대오차 추정치는 낮게 나타나 적합도가 높았다. 가지, 잎 biomass량 및 엽면적의 경우는  $\log W=a+b \cdot \log D+cD$ 식이 상관계수가 높고 상대오차 추정치는 낮게 나타나 적합하였다.

#### ABSTRACT

This study was carried out to develop the regression model for estimating biomass of natural *Pinus densiflora* forests by stand density in northeast Chinese area of Mt. Paekdu. Four allometric regression models( $W=aD^b$ ,  $W=a(D^2H)^b$ ,  $\log W=a+b \cdot \log D+cD$  and  $\log W=a+b \cdot \log(D^2H)+c(D^2H)$ ) were used to estimate biomass for each of the tree components. The suitable regression model for estimating biomass of stem, bark and whole tree above ground was  $\log W=a+b \cdot \log(D^2H)+c(D^2H)$ , and that for biomass of branch, needle and needle area,  $\log W=a+b \cdot \log D+cD$  for all of the stand density classes.

*Key words* : *Pinus densiflora*, natural forests, stand density, regression model

<sup>1</sup> 접수 1998년 10월 2일 Received on October 2, 1998.

<sup>2</sup> 서울대학교 농업생명과학대학 산림자원학과(Dept. of Forest Resources, College of Agriculture and Life Science, Seoul Natl. Univ., Suwon, Korea. 441-744.)

<sup>3</sup> 북경임업대학교 산림자원과환경대학, 중국(College of Forest Resources & Environment, Beijing Forestry University, Beijing, China, 100083)

## 서론

산림은 지구상에서 단위면적당 순광합성량이 가장 높다고 알려진 생태계로서 지금까지는 주로 임목의 수간부위의 이용에만 중시하여 왔다. 그러나 산림생태계에서 현존 임분의 이용을 극대화하고 산림자원을 효율적으로 이용하기 위해서는 과거에 주요 이용대상이었던 수간부 이외에도 가지, 뿌리, 잎, 수피 등 cellulose 및 기타 물질이 포함된 이용 가능한 모든 부분의 물질 생산량에 대한 추정이 필요하다. 또한 지구상의 인구의 급속한 증가와 화석 에너지 자원의 무분별한 이용 및 공급 부족으로 산림자원을 포함한 자연자원의 제한적인 개발 이용을 요구하고 있는 시점에서 산림자원의 효율적인 이용을 위하여 임목의 각 부위의 biomass생산량에 관한 연구는 필수적이다<sup>3)</sup>. 산림생태계에 대한 물질 생산에 관한 연구는 1970년대이후 목재수요의 증가와 에너지 공급 부족 등 현상으로 더욱 촉진되고 있는 실정이다<sup>4)</sup>. 임목의 연료적 가치와 임목으로부터 alcohol 생산의 타당성이 재평가되면서 임목의 각 부위별 열량 및 alcohol 생산량 추정, 그리고 단위면적당 목재수 및 에너지 생산량을 극대화하기 위한 단벌기 조림기술이 시도되었고 임목의 생중량 또는 건중량을 단위로 하는 산림생태계의 biomass생산에 관한 연구도 활발히 진행되고 있다<sup>1,3,13,14)</sup>.

임분의 biomass추정방법에는 여러 가지가 있다<sup>2)</sup>. Satoo(1970)<sup>13)</sup>는 성장특성을 가지는 두 변량[흉고직경(D) 또는 흉고직경(D)과 비교재적(D<sup>2</sup>H), 임목의 전체 또는 부위별 건중량(W)] 사이에 지수식( $y=ax^b$ ) 상대성장 관계가 존재하고 상대성장식을 이용하여 임분의 biomass생산량을 추정하는 방법이 일반적으로 적합성이 높다고 하였다. Whittaker와 Marks (1975)<sup>19)</sup>도 상대성장식에서 흉고직경(D) 또는 흉고직경(D)과 비교재적(D<sup>2</sup>H)을 독립변수로 한다고 하였고 Alban 등(1978)<sup>6)</sup>은 상대성장식을 직선관계로 변형시키면 추정오차를 줄일 수 있다고 하였다. 따라서 임분별로 회귀식을 유도하면 모든 개체목의 흉고직경(D) 또는 흉고직경(D)과 비교재적(D<sup>2</sup>H)을 측정만 후 회귀식을 이용하여 임분의 biomass 총생산량을 추정할 수

있고 다른 지역의 유사한 임분에서도 이용할 수 있다.

소나무는 한국, 일본의 전 지역과 중국 요녕반도, 산둥반도 및 백두산 동북부지역에 비연속적으로 분포되어 있는 수종으로서 건조하고 척박한 토양에 대한 내성이 강하고 환경에 대한 적응성도 강하다. 백두산 동북부 지역에서 소나무는 성장속도가 빠르고 재질도 양호하여 우량한 목재를 생산할 수 있을 뿐만 아니라 산촌지역의 생태계 안정을 유지하고 지속적인 농업 및 경제림의 고수확을 유지하는데 있어서도 매우 중요한 역할을 한다<sup>5,7,14)</sup>. 따라서 본 연구의 목적은 백두산 동북부지역에 분포한 소나무 천연림을 대상으로 밀도에 따른 물질생산구조 및 물질생산량을 파악하기 위한 임분의 biomass량 추정식을 유도하는 것이다.

## 재료 및 방법

### 2.1 조사지 개황

소나무 천연림이 집중적으로 분포한 백두산 동북부 지역 용정, 화랑, 안도 등 3지역의 5개 임장을 조사대상지로 하였다. 조사지역은 지리적으로 북위 42°46' ~ 43°01', 동경 128°53' ~ 129°32'에 위치하고 중온대 대륙성 습윤계절풍 기후대에 속한다. 동해와 가깝고 계절풍의 영향을 많이 받아 봄에는 건조하고 바람이 많이 불고 추운 겨울이 오랫동안 지속된다. 연평균 강수량은 480.4~520mm이고 10℃ 이상의 적산온도는 2365.5~2800℃이며 토양은 암갈색 산림토양에 속한다.

조사지역 소나무 천연림은 모두 단일수종으로 구성된 40년생 정도의 순림으로서 울폐도는 0.6이상이고 밀도는 250~2000본/ha이며 임연부에는 신갈나무, 사시나무 등이 부분적으로 혼효되어 있다. 소나무 천연림내 식생은 비교적 단순하여 주로 싸리(*Lespedeza bicolor* Turcz.), 철쭉(*Rhododendron dauricum* L.), 조팝나무(*Spiraea ussuriensis* A.) 등 관목류와 *Spodipogon sibiricus* Trin, *Carex callitricihos* V. Krecz, *Patrinia scabiosaefolia* Fisch. et Trew, *Areemisia gmelenii* Web. et Steehm, *Aeractylodes japonica* Koidz. et Kitam. 등 초본류로 구성되어 있다.

## 2.2 조사방법

### 2.2.1 조사구 및 표본목 선정

조사지역내 입지특성이 비슷한 소나무 천연림에서 40×50m<sup>2</sup>크기의 조사구를 41개 설치하고 매목조사를 하였다. 임분의 본수밀도에 따라 임분을 ≤550본/ha(I), 551 ~850본/ha(II), 851~1050본/ha(III), 1051~1350본/ha(IV), ≥1350본/ha(V) 등 5 등급으로 나누어 각 밀도급별로 조사구를 1개씩 선정하고 각 조사구에서 표준목이 흉고직경급별로 고르게 분포하도록 하고 각각 7본씩 총 35본을 선정하였다. 조사지의 임분특성은 표 1과 같다.

### 2.2.2 표본목의 측정 및 시료채취

밀도급별로 선정된 35본의 임목을 지상부 10cm 위치에서 벌도하고 줄기, 당년생 가지와 전년생 가지, 당년생 잎과 전년생 잎으로 구분하여 각각의 생중량을 측정하였다(정확도 0.1g). 줄기는 2m간격으로 절단하여 생중량을 측정후 각 통나무의 중앙부에서 20cm 두께 원판을 채취하여 현지에서 생중량과 수피 재적을 측정하고 줄기 건중량 측정용 표본으로 하였다. 표본목별로 모든 가지를 잘라 생중량을 측정하고 가지 크기에 따라 그 중에서 5개의 가지를 표본으로 선정하였고 잎은 공간분포 부위에 따라 전체 잎 생중량의 25%를 표본으로 선정하였다. 죽은 가지는 생중량을 측정후 20%정도의 표본을 채취하였다. 모든 표본은 실험실로 운반하여 85℃에서 48시간 건조시켜 건중량을 측정하여 건중량 대 생중량비를 구하였다. 뿌리 부분은 조사하지 않았다.

### 2.2.3 엽면적

선정된 표본목을 대상으로 각 윤생층위별로

당년생 잎과 1년생, 2년생 잎을 구분하여 각각 20개씩 시료를 채취하였다. 침엽의 길이(*l*)와 중앙부위 두께(*a*)를 측정하고 아래의 계산식에 의해 침엽의 표면적(*S*)을 계산하였다<sup>4)</sup>.

$$S = (\pi/2 + 1) \cdot a \cdot l$$

동시에 침엽의 생중량을 측정하고 85℃에서 48시간 건조시킨 후 건중량을 이용하여 침엽 연령별로 건중량과 엽면적 사이의 상관관계를 유도하고 임목의 전체 엽면적을 추정하였다.

### 2.2.4 Biomass량 추정식 및 검증

5개 밀도급별로 선정된 표본목의 건중량 측정 결과를 이용하여 부위별 건중량(*W*)과 임목의 흉고직경(DBH) 또는 수고(*H*)와의 상대성장 관계에 의해 biomass량 추정식을 유도하였다. 본 논문에서는 밀도별로 각 임분에 대해 DBH와 D<sup>2</sup>H를 독립변수로 하여 다음과 같은 상대성장식을 부위별로 유도하였다.

$$W = aD^b \tag{1}$$

$$W = a(D^2H)^b \tag{2}$$

$$\log W = a + b \cdot \log D + cD \tag{3}$$

$$\log W = a + b \cdot \log(D^2H) + c(D^2H) \tag{4}$$

밀도별, 부위별로 유도된 biomass량 추정식의 결정계수(R<sup>2</sup>)를 이용하여 biomass량과 D 또는 D<sup>2</sup>H간의 상대성장 관계를 비교하였다. 또한 41개 조사구 매목조사 결과를 이용하여 임분 밀도급별로 각 추정식의 결정계수를 산출하고 상대오차 추정치를 이용하여 적합도를 검증하였다<sup>17,18)</sup>.

**Table 1.** Characteristics of natural *Pinus densiflora* forests

Stand density*	Mean DBH(cm)	Mean height(m)	Density (trees/ha)	Age(yr.)	Aspect	Slope(°)	Altitude (m)
I	28.0	13.9	521	41	S60W	12	620
II	26.7	14.5	755	43	S26W	16	580
III	24.5	14.4	954	38	S10E	15	540
IV	23.6	15.3	1156	41	S35E	10	650
V	21.4	15.8	1710	39	S44E	14	590

\* I : ≤550trees/ha, II : 551~850trees/ha, III : 851~1050trees/ha, IV : 1051~1350trees/ha, V : ≥1350trees/ha.

## 결과 및 고찰

### 3.1 밀도별 biomass량 추정식의 결정계수

밀도별 7본씩 선정된 표본목 측정치에 의해 유도된 부위별 biomass량 추정식의 결정계수는 표 2와 같다. 표 2에서 밀도별, 부위별로 유도된 4종 biomass량 추정식의 결정계수는 모두 0.85 이상으로서 종속변수(W)과 독립변수(D, 또는 D와 D<sup>2</sup>H) 사이에 비교적 높은 상관관계를 나타냈다. 가지와 침엽의 biomass량, 엽면적의 경우, 밀도별 각 임분에서 모두  $\log W = a + b \cdot \log D + c \cdot D$ 식의 결정계수가 높게 나타났고 줄기, 수피, 지상부 biomass량의 경우,  $\log W = a + b \cdot \log (D^2H) + c \cdot (D^2H)$ 식의 결정계수가 모두 가장 높게 나타났다.

표 2로부터 알 수 있는 바 밀도가 다른 소나무림에서 침엽 biomass량과 침엽의 면적을 추정하는 상대성장식을 제외한, 줄기, 가지, 수피 및 지상부 biomass량을 추정하는 상대성장식의 결정계수는 모두 0.89 이상으로서 추정식의 적합도는 모두 높게 나타났다. 임목의 부위에

따라 위 4종 상대성장식의 결정계수는 다르게 나타났지만 그 차이는 크지 않았다. 이(1985)<sup>3)</sup>의 연구에서 줄기, 가지, 수피, 잎 biomass량을 추정하는 상대성장식의 상관계수는 모두 0.95 이상으로서 비교적 높게 나타났다. 박과 김(1989)<sup>2)</sup>이 한국내 4개 지역 소나무 천연림에서 연구한 결과에 의하면 줄기, 수피, 가지, 지상부 biomass량을 추정하는 상대성장식의 상관계수는 모두 0.95 이상으로서 높게 나타났고 침엽의 biomass량을 추정하는 상대성장식의 상관계수는 0.92에서 0.95 미만으로서 다소 낮게 나타났다.

### 3.2 밀도급별 biomass 추정식의 적합도

5개 밀도급별 소나무임분에서 줄기, 가지, 수피, 침엽, 지상부 biomass량 등 부위별로 유도된 상대성장식의 회귀계수 및 적합도 검정 결과는 표 3, 표 4, 표 5, 표 6, 표 7, 표 8과 같다.

대수회귀식의 적합도 검정에 있어서 결정계수는 표본목의 흉고직경 또는 수고의 범위에

Table 2. R<sup>2</sup>-value of each of the regression models estimating the dependent variables by stand density

Stand density	Regression model	Dependent variables					
		Branch(kg)	Bark(kg)	Stem(kg)	Needle(kg)	Above ground(kg)	Needle area(m <sup>2</sup> )
I	1	0.9048	0.9241	0.9162	0.8963	0.9465	0.8617
	2	0.9143	0.9113	0.9490	0.8944	0.9403	0.8685
	3	0.9178	0.9236	0.9379	0.9089	0.9644	0.8706
	4	0.9120	0.9384	0.9613	0.8976	0.9518	0.8727
II	1	0.9002	0.9011	0.9262	0.8624	0.9435	0.8541
	2	0.8973	0.9134	0.9285	0.8680	0.9369	0.8573
	3	0.9094	0.9140	0.9324	0.8781	0.9468	0.8490
	4	0.9006	0.9162	0.9348	0.8674	0.9432	0.8989
III	1	0.9024	0.9164	0.9317	0.8936	0.9469	0.8720
	2	0.9027	0.9187	0.9583	0.9561	0.9287	0.8624
	3	0.9261	0.9198	0.9320	0.9038	0.9452	0.8764
	4	0.9138	0.9301	0.9327	0.8914	0.9426	0.8793
IV	1	0.8932	0.9162	0.9360	0.9009	0.9582	0.8638
	2	0.8929	0.9195	0.9442	0.8923	0.9674	0.8613
	3	0.9623	0.9224	0.9408	0.8929	0.9648	0.8684
	4	0.9170	0.9268	0.9573	0.8897	0.9632	0.8725
V	1	0.8894	0.9007	0.9154	0.8793	0.9541	0.8527
	2	0.8845	0.8952	0.9191	0.8809	0.9447	0.8511
	3	0.9397	0.9138	0.9347	0.9115	0.9582	0.8546
	4	0.8951	0.9154	0.9375	0.8826	0.9564	0.8623

영향을 받기 때문에 회귀식에 대한 추정치의 산포도는 상대오차 추정치에 의하여 효과적으로 나타낼 수 있다<sup>17)</sup>. 상대오차 추정치는 추정치의 표본오차에 의하여 산정되는데 대수회귀식의 경우, 추정치의 표본오차는 log값으로 가감된 대수치이기 때문에 상대오차 추정치는 추정치의 표본오차의 역대수치가 된다. 이때 상대오차 추정치가 1.10이라는 것은 기대오차의 범위가 1.10y~y/1.10이라는 것을 의미하게 된다. Whittaker 등(1974)<sup>18)</sup>은 변수간에 밀접한 관계가 있을 때 상대오차 추정치는 1.0~1.2, 관계가 비교적 적을 때 1.5~2.0의 값을 보인다고 하였다. Parker와 Schneider(1975)<sup>11)</sup>는 관계가 극히 적은 변수간에는 2.0 이상이라고 하였다. 본 조사지의 5등급 밀도별 소나무천연림에서 부위별로 biomass량 추정식의 상대오차 추정치는 다르게 나타났다. 상대오차 추정치에 따르면 가지와 잎의 biomass량 및 엽면적의 경우, logW=a+b·logD+cD식의 상대오차 추정치가 각각 1.0925~1.2043(표 3), 1.0885~1.1993(표 6), 1.1853~1.2341(표 8)로서 가장 작게 나타나 적합도가 높았다.

줄기와 수피, 지상부 전체biomass량의 경우, logW=a+b·logD<sup>2</sup>H+cD<sup>2</sup>H식의 상대오차 추정치가 각각 1.0652~1.1085(표 4), 1.1049~1.1463(표 5), 1.0540~1.1042(표 7)로서 가장 작게 나타나 적합도가 높았다. Ma(1983)<sup>10)</sup>도 중국 화북지역의 만주흑송(*Pinus tabulaeformis*)인공림을 대상으로 임분의 biomass량을 추정할 때 입지특성 및 임목의 추정 부위에 따라 회귀식은 각각 다르게 나타난다고 하였다.

적합도가 비교적 높게 나타난 logW=a+b·logD+cD식과 logW=a+b·logD<sup>2</sup>H+cD<sup>2</sup>H식에 있어서 5개 밀도급별 추정식의 상대오차 추정치는 모두 대체로 줄기, 수피, 가지, 잎 순으로 점차 높게 나타났다(표 3, 표 4, 표 5, 표 6, 표 7, 표 8). 한국의 소나무림에 대해 연구한 박과 김(1989)<sup>2)</sup>도 이와 유사한 결론을 보였고 Larcher(1975)<sup>9)</sup>, Pastor와 Bockheim(1981)<sup>12)</sup>, Tadaki 등(1965)<sup>15)</sup>의 연구에서도 유사한 경향을 보여주었다. 이것은 줄기와 수피의 무게나 부피가 임목의 흉고직경과 수고의 직접적인 영향을 받기 때문이며 가지나 잎은 줄기와 수피에 비해 상대적으로 수고의 직접적인 영향을

**Table 3.** Regression coefficients of the models to estimate branch dry weight from DBH. E is the estimate of relative error

logW=a+b·logD+cD				
Stand density	a	b	c	E
I	-2.3517	1.1805	0.1004	1.1907
II	-2.6017	1.2879	0.0917	1.2043
III	-1.8485	1.0384	0.0925	1.1728
IV	-3.0151	1.4080	0.0866	1.1006
V	-2.9144	1.3812	0.0853	1.0925

**Table 4.** Regression coefficients of the models to estimate stem dry weight from DBH and H. E is the same as Table 3

logW=a+b·log(D <sup>2</sup> H)+c(D <sup>2</sup> H)				
Stand density	a	b	c	E
I	1.1959	0.2892	0.0001	1.1014
II	-0.5657	0.4855	0.0001	1.1085
III	-0.5658	0.4856	0.0001	1.1652
IV	0.2506	0.3545	0.0001	1.0826
V	1.9928	0.2051	0.0001	1.0898

**Table 5.** Regression coefficients of the models to estimate bark dry weight from DBH and H. E is the same as Table 3

logW=a·b·log(D <sup>2</sup> H)+c(D <sup>2</sup> H)				
Stand density	a	b	c	E
I	-2.1073	0.4561	0.0001	1.1367
II	-0.5308	0.2299	0.0001	1.1462
III	0.1261	0.1422	0.0001	1.1049
IV	-1.6272	0.3342	0.0001	1.1390
V	-2.6982	0.4296	0.0001	1.1463

**Table 6.** Regression coefficients of the models to estimate needle dry weight from DBH. E is the same as Table 3

logW=a+b·logD+cD				
Stand density	a	b	c	E
I	-2.3594	0.3823	0.1463	1.1993
II	-5.5442	1.9766	0.0849	1.1602
III	-3.1819	0.7967	0.1321	1.1841
IV	4.2686	-3.0211	0.3017	1.1648
V	-8.2432	3.3097	0.0206	1.0885

**Table 7.** Regression coefficients of the models to estimate total above ground dry weight from DBH and H. E is the same as Table 3

Stand density	$\log W = a + b \cdot \log(D^2H) + c(D^2H)$			
	a	b	c	E
I	0.9712	0.3561	0.0001	1.0816
II	-0.4059	0.5124	0.0001	1.0540
III	1.0391	0.2980	0.0001	1.0953
IV	-0.7543	0.5567	0.0001	1.1042
V	1.1344	0.3064	0.0001	1.0926

**Table 8.** Regression coefficients of the models to estimate needle area from DBH. E is the same as Table 3

Stand density	$\log W = a + b \cdot \log D + cD$			
	a	b	c	E
I	-0.0072	0.3090	0.1135	1.1853
II	-0.6396	0.5831	0.1094	1.2016
III	-1.0857	1.1642	0.0553	1.2341
IV	-3.7747	2.1159	0.0378	1.1994
V	-4.6963	2.6406	0.0134	1.1895

적게 받기 때문이다. 또한 지상부 전체 biomass량 중 줄기와 수피 부분이 차지하는 비율은 70%이상<sup>7)</sup>으로서 지상부 전체 biomass량은 흉고직경 뿐만 아니라 수고에 따라서도 영향을 많이 받기 때문에  $\log W = a + b \cdot \log D^2H + cD^2H$ 식이 다른 3종 상대성장식에 비해 적합도가 높게 나타난 것이라고 생각한다. 엽면적의 경우, 임목의 다른 부위에 비해 밀도별로 각 임분에서 상대오차 추정치가 모두 높게 나타났는데 이는 침엽의 길이와 반경에 의해 침엽면적을 계산한 후 그 결과를 토대로 임목의 전체 엽면적을 추정하기 때문이라고 볼 수 있다.

## 결 론

백두산 북부 소나무 천연림에서 임분의 부위별 biomass량을 추정하는 상대 성장식은 각각 다르게 나타났다. 줄기, 수피와 지상부의 biomass량을 추정하는 4개 상대 성장식 중  $\log W = a + b \cdot \log(D^2H) + c(D^2H)$ 식의 적합도가

가장 높았고 가지, 침엽 biomass량 및 침엽 면적을 추정하는 상대성장식은  $\log W = a + b \cdot \log D + cD$ 식의 적합도가 가장 높았다.

백두산 북부지역의 밀도가 다른 소나무 천연림에서 임목의 biomass량을 추정하는 추정식은 부위별로 같은 유형으로 나타났다. 5개 밀도급별 소나무 천연림에서 부위별 biomass량 추정 결과를 상대오차 추정치로 볼 때 적합도는 줄기>가지>침엽>수피 순으로 나타났다.

## 인용문헌

1. 김준호, 윤성모. 1972. 산림의 생산구조와 생산력에 대한 연구(II). 춘천지방의 소나무림과 신갈나무림의 비교. 한국식물학회지 15: 1-8.
2. 박인협, 김준선. 1989. 한국산 4개 소나무천연림의 물질 현존량 추정식에 관한 연구. 한국임학회지 78(3): 323-330.
3. 이수욱. 1985. 강원도산 소나무 천연림 생태계의 Biomass 및 Net Primatry Production에 관한 연구. 한국임학회지 71: 74-81.
4. 關玉秀, 主編. 1985. 測樹學. 中國林業出版社. 152-153p.
5. 邢邵朋, 主編. 1986. 吉林森林. 中國林業出版社. 194-198p.
6. Alban, D.H., D.A. Perala and B.E. Schlaegel. 1978. Biomass and nutrient distribution in aspen, pine and spruce stands on the same soil type in Minnesota. Can. J. For. Res. 8: 290-299.
7. Jin, Y.H. 1995. Research on productive structure and productivity of natural forest of *Pinus densiflora* in Yanbian area. M.S. thesis, Beijing Forestry University. 72pp.
8. Koerper, G.J. and C.J. Richardson. 1980. Biomass and net annual primary production regressions for *Populus grandidentata* on three sites in northern lower Michigan. Can. J. For. Res. 10: 92-101.
9. Larcher, W. 1975. Physiological Plant Ecology. Springer-Verlag, New York.

- 252pp.
10. Ma, Qinyan. 1983. Biomass of individual tree of Chinese Pine in North China. Jour. Beijing For. Uni. 4: 1-16.
  11. Parker, G.R. and G. Schneider. 1975. Biomass and productivity of an alder swamp in northern Michigan. Can. J. For. Res. 5: 403-409.
  12. Pastor, J. and J.G. Bockheim. 1981. Biomass and production of an aspen-mixed hardwood-spodosol ecosystem in northern Wisconsin. Can. J. For. Res. 11: 132-138.
  13. Satoo, T. 1970. A synthesis of studies by the harvest method: primary production relations in the temperate deciduous forests of Japan. Pages 55-72 in D.E. Reichle(ed.) Analysis of Temperate Forest Ecosystems. Springer-Verlag, New York.
  14. Schmitt, M.D.C. and D.F. Grigal. 1981. Generalized biomass estimation equation for *Betula papyrifera* Marsh. Can. J. For. Res. 11: 837-840.
  15. Tadaki, Y., N. Ogata and Y. Nagatomo. 1965. The dry matter productivity in several stands of *Cryptomeria japonica* in Kyushu. Bull. Gov. For. Exp. Sta. 173: 45-66.
  16. Wang, Ch., Y.H. Jin and J.Sh. Liu. 1996. study on the growth process and phase of natural Japanese red pine in Yanbian area. Jour. Jilin For. Uni. 4: 209-213.
  17. Whittaker, R.H. and G.M. Woodwell. 1968. Dimension and production relations of trees and shrubs in the Brookhaven Forest, New York. J. Ecol. 56: 1-25.
  18. Whittaker, R.H., F.H. Bormann, G.E. Likens and T.G. Siccama. 1974. The Hubbard Brook ecosystem study: Forest biomass and production. Ecol. Monogr. 44: 233-252.
  19. Whittaker, R.H. and P.L. Marks. 1975. Methods of assessing terrestrial productivity. Pages 55-118 in H. Lieth and R.H. Whittaker(ed.) Primary Productivity of the Biosphere. Springer-Verlag, New York.