

신갈나무의 지상부와 지하부 바이오매스 및 에너지량^{1*}

권기철², 이돈구³

Above- and Below-ground Biomass and Energy Content of *Quercus mongolica*^{1*}

Ki-Cheol Kwon² and Don Koo Lee³

요 약

본 연구는 우리나라에서 가장 널리 분포하는 활엽수종인 신갈나무에 대해 흉고직경과 수고 인자를 이용하여 신갈나무의 지상부 및 지하부 바이오매스 상대생장식을 유도하였고, 임분의 바이오매스와 에너지량을 추정하였다. 20-60년생 신갈나무림에서 총 18본의 표본목을 선정하여 별채하였고, 흉고직경, 수고, 연령, 각 부위(수간, 변재, 심재, 수피, 가지, 잎, 뿌리)별 바이오매스를 측정하였다. 지상부의 각 측정인자들과 지하부 바이오매스 사이에는 높은 상관관계가 나타났다. 지상부 바이오매스의 상대생장식은 $\log W_A = 1.469 + 0.992 \log D^2H$ ($R^2=0.99$), 지하부 바이오매스의 상대생장식은 $\log W_R = 1.527 + 0.808 \log D^2H$ ($R^2 = 0.97$)로 추정되었다. 변재, 심재, 수피, 잎, 뿌리의 평균 에너지량(건중량 기준)은 각각 19,594J/g, 19,571J/g, 19,999J/g, 20,664J/g, 19,273J/g으로 측정되었다. 본 연구 결과는 흉고직경과 수고 인자를 가지고 20년생부터 60년생 신갈나무 임분의 바이오매스와 에너지량을 추정하는데 이용될 수 있다.

ABSTRACT

Quercus mongolica is the most common hardwood species distributed in Korea. This study was conducted to investigate the biomass and energy content of the belowground biomass of *Q. mongolica* and to obtain the regression equation for estimating root biomass using the tree height and diameter at breast height (DBH). A total of 18 sample trees ranging 20 to 60 year-old were selected in the study sites. Tree height, DBH, age, and weight of stemwood, sapwood, heartwood, stembark, branch, leaf, and root were measured for total biomass. The highly positive correlation

1. 접수 2006년 3월 22일 Received on March 22, 2006.

2. 국립산림과학원 Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea.

3. 서울대학교 농업생명과학대학 산림과학부 Department of Forest Sciences, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea.

* 본 논문은 농림부 농림기술개발사업의 지원에 의한 연구(산림 폐 바이오매스를 활용한 발효열교환장치 개발) 결과의 일부임.

was shown between the biomass of most of variables of aboveground components and root biomass. The regression equation of the aboveground total biomass was $\log W_A = 1.469 + 0.992 \log D^2H$ ($R^2=0.99$). The regression equation of the belowground biomass was $\log W_R = 1.527 + 0.808 \log D^2H$ ($R^2 = 0.97$). The mean energy contents of sapwood, heartwood, bark, leaf, and root were 19,594 J/g DW, 19,571 J/g DW, 19,999 J/g DW, 20,664 J/g DW, and 19,273 J/g DW, respectively. The results obtained from this study can be used to estimate biomass and energy content of belowground using easily measurable variables such as DBH and tree height ranging from 20 to 60-year-old *Q. mongolica* stands.

keywords : *Quercus mongolica*, biomass, root, tree height, diameter at breast height (DBH)

서 론

신갈나무(*Quercus mongolica* F.)는 우리나라 이차림에서 가장 많이 자라는 대표적인 활엽수 종으로서(김과 길, 2000), 우리나라 전역과 일본, 중국 동북부 지방, 시베리아 남쪽에까지 분포해 있다(Kim과 Manyko, 1994; 中井, 1976). 신갈나무는 해발 100m에서 1,800m 사이에 분포하지만, 해발 700m 부근에서 가장 많이 있는 것으로 알려졌다(정과 이, 1965).

식물의 바이오매스는 안정된 형태로 비축할 수 있고 필요에 따라 언제든지 에너지로 변환할 수 있으며 재생산이 가능하다는 장점이 있으나, 반면에 에너지 수준이 낮고 자원의 분포가 작고 대면적을 필요로 하는 단점이 있다(오와 흥, 1989). 그동안 바이오매스의 이용과 연구는 주로 지상부 위주로 이루어졌으나, 최근에는 지하부에 대해서도 많은 관심이 주어지고 있다(Laclau, 2003).

일반적으로 임목의 자람에 따라 전체에 대한 지하부 바이오매스의 비율은 감소한다(Laclau, 2003; 박 등, 2003). 임령과 임분 환경에 따라 목본식물에서 뿌리가 전체 바이오매스의 15-25%를 차지하는 것으로 알려져 있지만(Sanantonio, 1990), 사막이나 수목한계선과 같은 열악한 환경에서는 50% 이상이 되기도 한다(Rundel, 1980; Rodin과 Bazilevich, 1967; Caldwell과 Fernandez, 1975). 그러나 Vogt 등(1996)과 Cairns 등(1997)

은 뿌리 바이오매스 비율의 변화가 기후대에 따른 임분 유형과 토양 환경에 대해 유의성이나 어떤 일정한 경향이 나타나지 않았다고 보고했다. 이처럼 지하부의 뿌리 바이오매스 전체를 추정하는 것은 매우 어려우며(Black 등, 1998; Caldwell과 Virginia, 1991), 뿌리 바이오매스를 손쉽게 추정하기 위해서는 지상부로 지하부의 상대생장식을 구하거나 수고와 흉고직경을 가지고 지하부의 상대생장식을 구하는 방법이 있다(Drexhage와 Colin, 2001; 이, 2004).

이 연구의 목적은 흉고직경과 수고와 같이 쉽게 측정할 수 있는 인자로 신갈나무의 지상부와 지하부 바이오매스 및 에너지량을 추정할 수 있는 상대생장식을 유도하고, 이 상대생장식을 신갈나무 임분에 적용하여 전체에 대한 지하부 바이오매스의 비율을 임분 수준에서 알아보는 것이다.

재료 및 방법

1. 연구대상지

신갈나무의 바이오매스 측정을 위해 Table 1과 같이 강원도 증왕산(37°29'N, 128°32'E), 경기도 태화산(37°19'N, 127°18'E), 충청북도 월악산(36°51'N, 128°11'E), 전라남도 백운산(35°15'N, 127°35'E), 제주도 한라산(33°21'N, 126°31'E) 지역을 대상으로 조사를 수행하였다.

Table 1. The characteristics of the study sites.

Sites	Altitude (m)	Topo-graphy*	Aspect (°)	Slope (°)	Stand age (yr.)	Mean DBH (cm)	Mean Height (m)	No. of trees per ha	No. of sample trees
Mt. Joongwang	1,300	US	NE10	25	70	17.19	12.69	1,375	2
	1,300	US	SE45	15	70	20.38	12.53	1,250	1
	1,000	MS	NE8	23	60	15.33	12.28	1,600	2
	1,000	MS	SE15	27	70	18.92	13.77	1,250	2
	770	R	NW30	5	60	13.05	10.00	1,750	1
	800	MS	SE60	25	60	17.90	12.94	1,200	1
Mt. Taehwa	350	MS	SW50	15	35	11.86	10.06	1,875	1
Mt. Wolak	300	LS	NE65	10	35	10.65	10.73	2,425	2
Mt. Baekwoon	800	US	NW70	38	60	21.96	14.81	1,325	2
	810	US	SW40	35	70	21.01	13.74	1,525	2
Mt. Halla	1,000	MS	NE10	10	60	15.26	9.71	2,033	1
	1,000	MS	SE10	10	60	13.76	10.01	2,800	1

*Topography : R; Ridge, US; Upper slope, MS; Middle slope, LS; Lower slope, V; Valley.

2. 연구 방법 및 자료 분석

식생 자료는 각 조사지 별로 방형구(400 m²)를 설치해 수집했으며, 흉고직경이 4cm 이상인 임목에 대하여 수종, 흉고직경, 수고 등을 기록하였다(Table 1). 그리고 흉고직경이 6-17cm인 신갈나무를 각 지역별로 1-2본씩 총 18본을 별채하여 지상부에서 2m 간격으로 줄기(수피, 목질부), 가지, 잎과 지하부(뿌리)의 생중량을 분리 측정하였다. 이때 각 표본목에서 부위별로 총 중량의 약 5%에 해당하는 일부를 채취한 후 건조기로 80℃ 이상에서 항중에 이를 때까지 건조시켜 전체 건중량을 계산하였다. 또한 Smalian 식을 이용하여 변재부와 심재부의 재적을 측정 한 후, 여기에 재적대비 중량비를 곱하여 건중량을 산출하였다. 여기서 변재부의 재적 대비 중량비는 0.685-0.796 kg/dm³이고, 심재부

는 0.705-0.865 kg/dm³을 적용하였다(권기철, 2006). 잔뿌리, 도토리, 목재 파편과 톱밥 및 하층식생은 본 연구에서 측정되지 않았다.

바이오매스의 에너지량을 18본의 표본목에 대해 각 부위별(수피, 변재부, 심재부, 잎, 뿌리)로 2반복 측정하였다. 각 부위별 표본들을 90℃ 이상에서 항중에 이를 때까지 건조한 다음, USA Oxygen Bomb Calorimeter (1241 PARR)를 이용하여 에너지량을 측정하였다.

각 부위별 바이오매스(수피, 재부, 변재부, 심재부, 가지, 잎, 뿌리)와 임목의 측정치(임령, 흉고직경, 수고) 사이의 상관을 분석하였으며, 흉고직경과 수고를 독립변수로 하여 지상부 및 지하부 바이오매스의 상대생장식을 유도하였다. 또한 유도된 상대생장식은 각 조사구별 매목 조사 자료에 대입하여 임분 전체의 바이오매스를 추정하였다. 통계 분석에는 SAS version 9.1.3

(SAS Inc.) 프로그램이 사용되었다.

결과 및 고찰

1. 지상부와 지하부 바이오매스의 상관 관계

조사목의 수령, 흉고직경, 수고, 지상부와 지하부의 바이오매스를 Table 2에 요약하였으며, 지상부의 각 부위와 지하부 바이오매스 사이의 상관을 Table 3에 나타내었다. 측경이 용이한 수고와 흉고직경 및 수령을 기준으로 지상부와 지하부의 각 부위간 상관을 나타내었는데, 거의 모든 자료 간에 높은 정의 상관을 나타내었다. 관련된 다른 연구 결과를 보면, 이(2004)는 소나무의 지상부와 지하부의 상관관계에서 수령이 유의성 있는 상관을 나타내지 않았다고 보고한

바 있다. 본 연구에서는 수령도 높은 상관을 보이는 것으로 나타났으나, Table 2에서 백운산 자료를 보면 흉고직경이 작은 것이 오히려 수령이 더 많은 경우도 있으므로 차후 좀 더 많은 자료로 검토할 필요가 있다.

수고에 대한 지상부(흉고직경, 수피 무게, 수간 무게, 변재부 무게, 심재부 무게, 가지 무게, 잎 무게)와 지하부(뿌리)는 모두 정의 상관을 나타내었다. 또한 흉고직경에 대하여서도 모든 지상부 및 지하부의 각 부위에 대해 높은 정의 상관이 나타났다. 반면 수령에 대한 각 항목간의 상관 값은 매우 낮게 나타났다.

지상부의 수피 건조중, 수간 건조중, 변재부 건조중, 심재부 건조중, 가지 건조중, 잎 건조중은 지하부의 뿌리 건조중과 높은 정의 상관을 나타내었으며, 각 부위별 중량은 서로 높은 상관관계를 나타내었다.

Table 2. Age, DBH, height, aboveground biomass and root biomass of *Q. mongolica* sample trees.

Site	Age (yr.)	DBH (cm)	Height (m)	Aboveground total (g)	Root (g)
Mt. Joongwang (1,300m, N)	60	13.5	11.40	62,814	16,023
	57	17.3	12.70	101,857	22,545
Mt. Joongwang (1,300m, S)	43	9.5	7.20	20,116	6,090
Mt. Joongwang (1,000m, N)	22	6.4	6.90	8,760	3,001
	55	16.1	15.60	118,223	25,511
Mt. Joongwang (1,000m, S)	18	6.2	6.65	6,204	2,187
	52	14.2	13.40	83,690	20,174
Mt. Joongwang (800m, N)	27	8.1	9.85	20,732	6,560
Mt. Joongwang (800m, S)	21	7.4	6.70	11,032	4,024
Mt. Taehwa (350m, S)	31	11.4	11.10	38,756	13,483
Mt. Wolak (300m, N)	29	6.2	6.15	7,180	3,775
	38	14.5	14.46	86,312	27,836
Mt. Baekwoon (800m, N)	33	7.1	6.90	9,196	3,508
	37	15.2	15.00	90,483	26,283
Mt. Baekwoon (800m, S)	50	7.4	6.70	11,032	4,307
	35	12.0	12.70	45,814	13,936
Mt. Halla (1,000m, N)	36	11.0	9.28	23,937	8,014
Mt. Halla (1,000m, S)	30	6.2	6.50	6,442	3,122

Table 3. Correlation coefficients among above- and below-ground biomass for 20 to 60-year old *Q. mongolica* in the study sites.

	DBH	H	Age	WS	WSS	WBK	WB	WL	WA	WR
Height (H)	0.93**									
Age	0.72**	0.55*								
DW* of stemwood (WS)	0.96**	0.93**	0.70**							
DW of sapwood (WSS)	0.86**	0.93**	0.54*	0.93**						
DW of stembark (WBK)	0.95**	0.95**	0.67**	0.97**	0.91**					
DW of branches (WB)	0.92**	0.91**	0.64**	0.95**	0.90**	0.94**				
DW of leaves (WL)	0.73**	0.75**	0.39	0.70**	0.66**	0.80**	0.70**			
DW of aboveground (WA)	0.96**	0.94**	0.69**	0.99**	0.93**	0.98**	0.97**	0.73**		
DW of roots (WR)	0.95**	0.96**	0.60**	0.96**	0.93**	0.98**	0.92**	0.83**	0.97**	
DW of total (WT)	0.97**	0.95**	0.68**	0.99**	0.94**	0.98**	0.96**	0.75**	0.99**	0.98**

*DW; Dry weight, **Indicates significance at 0.01, and *0.05.

표본목에 대해 각 부위별 바이오매스 상대생장식을 Table 4에 요약하였다. D²H와 부위별 바이오매스 사이의 결정계수는 매우 높았으며, 유의성 있는 결과가 나타났다. Table 4에서 지상부의 바이오매스 상대생장식은 $\log_{10} W_A = 1.469 + 0.992 \log_{10} D^2H$ ($R^2 = 0.99$), 지하부(뿌리)의 상대생장식은 $\log_{10} W_R = 1.527 + 0.808 \log_{10} D^2H$ ($R^2 = 0.97$)로 유도되었다. 여기서 W_T는 지상부 전체 바이오매스 건중 (g), W_R은 지하부 뿌리의 바이오매스 건중 (g), 그리고 D²H는 DBH(cm)의 제곱에 수고(m)를 곱한 것이다.

2. 지상부와 지하부의 에너지량

신갈나무의 열량을 분석하여 평균한 결과, 변재부 19,594J/g, 심재부 19,571J/g, 수피 19,999J/g, 잎 20,664J/g, 뿌리 19,273J/g이었다(Table 5). 한편 이와 박(1986)이 분석한 신갈나무의 열량을 보면, 목질부 19,594J/g (4,680kcal/kg), 수피 20,097J/g (4,800kcal/kg), 가지 19,971J/g (4,770 kcal/kg), 잎 20,808J/g (4,970kcal/kg)이라고 하였으며, 본 연구의 결과와 거의 동일하게 나타났다.

Table 4. Regression coefficients and R² when biomass of *Q. mongolica* was regressed on D²H ($\log_{10} Y=A+B\log_{10} X$; Y, dry weight(g) of biomass; X, DBH(cm)²×height(m).

Parameter (Y)	A	B	R ²	Prob. level
Stem wood	1.243	1.013	0.97	< 0.001
Sapwood	1.427	0.861	0.93	< 0.001
Heartwood	0.213	1.230	0.92	< 0.001
Stem bark	0.952	0.856	0.94	< 0.001
Live branches	0.377	1.082	0.93	< 0.001
Leaves	0.655	0.746	0.82	< 0.001
Aboveground	1.469	0.992	0.99	< 0.001
Root	1.527	0.808	0.97	< 0.001

Table 5. Energy content (mean±SD; J/g) of each components of *Q. mongolica* sample trees.

Sapwood	Heartwood	Bark	Leaf	Root
19,594 ± 312	19,571 ± 435	19,999 ± 645	20,664 ± 355	19,273 ± 1,026

3. 신갈나무 임분의 바이오매스와 에너지량

Table 4의 상대생장식과 Table 5의 건중당 에너지량의 결과를 이용하여 각 조사지별 바이오매스와 에너지량을 계산하여 Table 6에 요약하

였다. 상층목의 평균 임령이 60-70년인 중왕산, 백운산, 한라산 지역의 신갈나무림은 전체 바이오매스가 약 227-381ton/ha로 나타났으며, 이 중 뿌리가 차지하는 비율은 약 14-17%이었다. 한편, 상층목의 평균 임령이 35년인 태화산과 월

Table 6. The tree biomass and the energy content of *Q. mongolica* stands in the study sites.

Plot	Biomass (ton/ha)			Energy content (GJ/ha)		
	Aboveground total	Root	Total	Aboveground total	Root	Total
Mt. Joongwang (1300m, N)	208.3 (83.8)	40.4 (16.2)	248.7 (100.0)	4,092 (84.0)	778 (16.0)	4,870 (100.0)
Mt. Joongwang (1300m, S)	194.1 (84.4)	35.9 (15.6)	230.0 (100.0)	3,813 (84.6)	691 (15.4)	4,504 (100.0)
Mt. Joongwang (1000m, N)	216.0 (83.6)	42.3 (16.4)	258.3 (100.0)	4,244 (83.9)	816 (16.1)	5,060 (100.0)
Mt. Joongwang (1000m, S)	200.2 (83.4)	40.0 (16.6)	240.1 (100.0)	3,933 (83.6)	770 (16.4)	4,703 (100.0)
Mt. Joongwang (800m, N)	222.2 (85.0)	39.2 (15.0)	261.4 (100.0)	4,366 (85.2)	756 (14.8)	5,122 (100.0)
Mt. Joongwang (800m, S)	191.0 (84.2)	35.8 (15.8)	226.8 (100.0)	3,751 (84.5)	691 (15.5)	4,442 (100.0)
Mt. Taehwa (350m, S)	110.5 (79.2)	29.1 (20.8)	139.6 (100.0)	2,177 (79.5)	560 (20.5)	2,737 (100.0)
Mt. Wolak (300m, N)	151.6 (79.1)	39.9 (20.9)	191.5 (100.0)	2,986 (79.5)	770 (20.5)	3,756 (100.0)
Mt. Baekwoon (800m, N)	255.7 (86.8)	38.9 (13.2)	294.7 (100.0)	5,024 (87.0)	750 (13.0)	5,774 (100.0)
Mt. Baekwoon (800m, S)	209.1 (85.9)	34.4 (14.1)	243.5 (100.0)	4,110 (86.1)	662 (13.9)	4,772 (100.0)
Mt. Halla (1000m, N)	326.7 (85.7)	54.4 (14.3)	381.0 (100.0)	7,342 (87.5)	1,048 (12.5)	8,390 (100.0)
Mt. Halla (1000m, S)	236.9 (80.6)	56.9 (19.4)	293.7 (100.0)	4,813 (81.5)	1,096 (18.5)	5,909 (100.0)

*The number in parenthesis indicate the percentage of each organ to the total.

악산 지역 신갈나무림은 전체 바이오매스가 약 140-191ton/ha로 나타났고, 이 중 뿌리가 차지하는 비율은 약 21%로서 60-70년생 신갈나무림보다 더 많은 것으로 나타났다.

Laclau(2003)는 10년생 ponderosa pine의 지하부 비율을 27%로, 20년생 ponderosa pine의 지하부 비율을 22%라고 하며, 나무의 크기가 커질수록 지하부의 비율이 줄어든다고 하였으며, Art와 Marks(1971)는 지상부 현존량에 대한 뿌리 현존량의 비율을 묘목 0.4, 유령목 0.2~0.3, 성숙목 0.2 이하라고 하였는데, 본 연구에서도 신갈나무의 흉고직경급이 클수록 지상부 현존량에 대한 뿌리 현존량의 비율이 감소하는 추세를 보이고 있었다. Ovington(1962)은 러시아의 22년생 참나무속의 지하부 비율이 31.8%, 42년생 17.1%, 56년생 16.5%, 200년생 9.5%이고, 미국 Minnesota 주에 있는 57년생 *Quercus borealis* 천연림의 지하부 비율은 8.3%라고 하였다. 박등(2003)도 신갈나무 유령목에서는 지상부 중량에 대한 뿌리 중량이 크지만 직경급이 커질수록 점차 작아져서 8% 수준까지 떨어진다고 하여 본 연구 결과와 유사한 경향을 나타내었다.

한편, Table 6에서 60-70년생 신갈나무림의 에너지량은 4,442GJ/ha부터 8,390GJ/ha까지 분포하고 있었으며, 35년생 신갈나무림의 에너지량은 2,737GJ/ha부터 3,756GJ/ha까지 분포하였다.

결 론

신갈나무 지상부 전체 바이오매스의 상대생장식은 $\log W_T = 1.469 + 0.992 \log D^2H$ 으로 유도되었으며, 이 회귀식의 결정계수는 0.99로 나왔다. 또한 지하부(뿌리) 바이오매스의 상대생장식은 $\log W_R = 1.527 + 0.808 \log D^2H$ ($R^2 = 0.97$)로 도출되었다. 지하부 바이오매스는 DBH와 수고의 함수로 충분히 예측할 수 있었다. 본 연구에서 개발된 상대생장 모델은 지하부의 바이오매스를 저비용 고효율로 쉽게 추정할 수 있도록 한다. 그러나 DBH와 나무의 연령과 같은 내부

인자와 여러 외부 환경 조건에서 이 모델을 더 많이 테스트할 필요가 있으며, 맹아 갱신한 경우에 대한 고려도 필요하다.

본 상대생장 모델을 우리나라 5개 지역의 신갈나무 임분에 적용한 결과 전체에 대한 지하부 바이오매스의 비율은 약 14-21%로서 임목이 자라남에 따라 감소하고 있었으며, 다른 연구 결과들(Ovington, 1967; Art와 Marks, 1971; Sanantonio, 1990)과 유사하게 나타났다. 따라서 신갈나무의 단벌기 생산 임분에서는 지하부 바이오매스의 양이 더 커질 수 있으며, 탄소 및 에너지 고정량도 더 증가할 수 있다. 향후 산림 작업과 관리가 지하부를 포함하여 전체 바이오매스에 어떤 영향을 주는가에 대한 연구가 수행되어야 할 것이며, 또한 바이오매스와 에너지 및 탄소 고정량을 증진시키기 위한 산림 관리 계획 수립부터 지하부를 함께 고려하는 것도 필요하다.

인 용 문 헌

1. 권기철. 2006. 신갈나무림의 바이오매스, 탄소 고정량 및 에너지 고정 효율 -위도, 해발고, 사면을 중심으로. 서울대학교 농학박사 학위논문. 126pp.
2. 김정언, 길봉섭. 2000. 한국의 신갈나무 숲. 원광대학교 출판국. 511pp.
3. 박인협, 서영권, 김동엽, 손요환, 이명중, 진현오. 2003. 강원도 춘천지역 신갈나무 임분과 굴참나무 임분의 물질생산. 한국임학회지 92(1) : 52-57.
4. 오정수, 홍성각. 1989. 집약재배된 현사시 임분의 밀도와 벌기령이 물질생산과 생산구조에 미치는 영향. 임산에너지 9(2) : 62-79.
5. 이도형. 2004. 흉고직경과 수고에 의한 소나무의 지상부와 지하부 생체량 추정. 한국임학회지 93(3) : 242-250.
6. 이수욱, 박관화. 1986. 한국의 소나무 및 참나

- 무 천연림 생태계의 Biomass 및 유기Energy 생산에 관한 연구. 임산에너지 6(1) : 46-58.
7. 정태현, 이우철. 1965. 한국삼림식물대 및 적지적수론. 성균관대학교 논문집 10 : 329-435.
 8. 中井猛之進. 1976. 朝鮮森林植物編. 國書刊行會 1(3) : 25.
 9. Art, H. W., and J. T. Marks. 1971. A summary table of biomass and net annual primary production in forest ecosystems of the world. Pages 3-32 in H. E. Young (ed). Forest Biomass Studies. University of Maine. Orono, USA.
 10. Black, K. E., C. G. Harbron., M. Franklin., D. Atkinson., and J. E. Hodger. 1998. Differences in root longevity of some tree species. Tree Physiol 18 : 259-264.
 11. Cairns, M. A., S. Brown., E. H. Helmer., and G. A. Baumgardner. 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests. Oecologia 111 : 1-11.
 12. Caldwell, M. M., and O. A. Fernandez. 1975. Dynamics of Great Basin shrub root systems. Pages 38-51 in N. F. Hadley (ed). Environmental physiology of desert organisms. Halstead Press. New York.
 13. Caldwell, M. M., and R. A. Virginia. 1991. Root systems. Pages 367-398 in R. W. Pearcy, J. Ehleringer, H. A. Mooney, and P. W. Rundel (eds.) Plant Physiological Ecology : Field Methods and Instrumentation. Chapman & Hall, London.
 14. Drexhage, M., and F. Colin. 2001. Estimating root system biomass from breast-height diameters. Forestry 74(5) : 491-497.
 15. Kim, J. W., and Yuri I. Manyko. 1994. Syntaxonomical and synchorological characteristics of the cool-temperate mixed forest in the southern Sikhote Alin, Russian Far East. Korean J. Ecol 17(4) : 391-413.
 16. Laclau, P. 2003. Biomass and carbon sequestration of ponderosa pine plantations and native cypress forests in northwest Patagonia. Forest Ecology and Management 180 : 317-333.
 17. Ovington, J. D. 1962. Quantitative Ecology and the Woodland Ecosystem Concept. Pages 103-192 in J. B. Cragg (ed). Advances in Ecological Research vol. 1. Academic Press.
 18. Rodin, L. E., and N. I. Bazilevich. 1967. Production and Mineral Cycling in Terrestrial Vegetation. Oliver & Boyd, London. 288pp.
 19. Rundel, P. W. 1980. Adaptations of Mediterranean-climate oaks to environmental stress. Pages 43-54 in Ecology, Management, and Utilization of California Oaks. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. PSW-44.
 20. Santantonio, D. 1990. Modeling growth and production of tree roots. Pages 124-141 in R. K. Dixon, R. S. Meldah, G. A. Ruark and W. G. Warren (eds). Process Modeling of Forest Growth Responses to Environmental Stress. Timber Press, Portland.
 21. Vogt, K. A., D. J. Vogt., P. A. Palmiotto., P. Boon., J. O'Hara., and H. Asbjornsen. 1996. Review of root dynamics in forest ecosystems grouped by climate, climatic forest type and species. Plant Soil 187 : 159-219.