

충주지역 굴참나무림의 세근에 의한 탄소고정¹⁾
Annual Carbon Storage by Fine Root Production in *Quercus variabilis* Stands

박관수¹ · 임재구² · 고소현^{2*}

¹충남대학교 산림자원학과 · ²충남대학교 대학원

I. 연구의 목적

산림생태계는 대기 중 이산화탄소 함량 억제를 위한 어떠한 시도에서도 유용한 매개체로서 큰 역할을 할 것으로 기대되며 그 중요성은 더욱 커지고 있다. 우리나라의 경우 총 국토면적의 65% 이상을 산림이 차지하고 있어 국토면적에 비례하여 큰 탄소축적지를 가지고 있기 때문에 그 잠재성은 매우 크다 하겠다. 지상부와 함께 산림생태계 탄소순환의 많은 부분을 차지하고 있는 세근에 의한 탄소순환에 대한 연구는 그 중요성에도 불구하고 sampling 등의 어려움 때문에 국내 뿐만 아니라 외국에서도 매우 미미한 실정이다.

본 연구는 충청북도 충주지역에서 생육하고 있는 굴참나무 천연림을 대상으로 세근의 생산량 파악을 위해 사용되는 방법 중 하나인 monthly increment method(Fairly와 Alexander, 1985)를 사용하여 fine root production에 의한 지하부에서의 연간 탄소고정량을 파악하여 산림생태계내 탄소순환 동태의 이해를 돕기 위해 실시되었다.

II. 연구 방법

본 연구는 충청북도 충주시 산척면 명서리에 위치하고 있는 굴참나무 천연림을 대상으로 2001년에 실시되었다. 2001년 4월 굴참나무 임분에 총 8개의 10m×20m 실험 plot을 설치한 후, 각 실험 plot에서 매달(4월-11월: 총 8회) 토양채취기(직경 7.4cm×길이 30cm)를 사용하여 0-30cm, 30-60cm, 그리고 60-90cm 토양깊이에서 토양샘플을 채취하였다. 각 plot에서 샘플지점은 격자방법을 이용하여 random으로 선택되었다.

매달 샘플링 후 토양샘플들은 즉시 비닐에 담아 실험실로 운반한 후 분류 작업 전까지 냉장고에 보관하였다. 샘플링한 토양들은 물과 토양체를 사용하여 흙과 뿌리를 분리한 후, 2mm 이하의 미세뿌리를 분리하였으며, 뿌리의 질감과 색깔 등을 고려하여 죽은 뿌리와 산 뿌리를 구분하였다(Persson, 1983; Burke와 Raynal, 1994; Hwang, 1997). 미세뿌리 생산에 의한 연간 생산량을 산출하기 위해 분류된 미세뿌리는 dry-oven에서 약 70℃로 항량에 도달할 때까지 건조하였다. 연간 미세뿌리 생산량은 kg/ha로 계산되며, 총 8번의 sampling을 통해 얻은 data는 월별 biomass 산출을 위해 사용하고, net production은 Fairly와 Alexander(1985)가 제시한 decision matrix를 이용하여 계산하였다.

¹⁾ 본 연구는 2001년 한국과학재단 지역대학우수과학자 연구비 지원에 의하여 수행되었음.

본 연구의 fine root turnover rate(%/yr)는 연간뿌리생산량과 평균뿌리바이오매스의 비율(the ratio between annual root production and average root biomass; Frissel, 1981)로 산출하였다. 뿌리의 탄소함량은 loss on ignition 방법을 사용하여 분석하였다(Bickelhaupt와 White, 1985). 세근내 질소함량은 켈달법으로 그리고 P, K, Ca 함량은 ICP로 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. Fine root carbon biomass and production

본 연구에서 fine root carbon biomass는 미세뿌리에 가장 많이 분포하고 있는 것으로 알려진 0-30cm 토양깊이에서 가장 높게 나타났으며, 봄철에(5월) 최고치를 보였다. 세근의 탄소함량은 건중량의 46%로 분석되었다. 세근의 biomass data의 변이는 큰 것으로 알려져 있으며, 본 연구에서도 변이가 큰 것으로 나타났다(Table 1).

Table 1. Fine root carbon biomass(kg/ha) in *Quercus variabilis* stand of Chungju area at 0-30cm, 30-60cm, and 60-90cm soil depths. The number in parentheses is one standard error of the mean (n=8).

Soil depth	13 Apr.	4 May	9 Jun.	18 Jul.	20 Aug.	22 Sep.	27 Oct.	24 Nov.	Mean
0-30cm	1552 (215)	1770 (355)	1670 (280)	1460 (177)	1572 (342)	1424 (1552)	1673 (317)	1480 (325)	1576
30-60cm	588 (340)	609 (358)	794 (514)	538 (380)	629 (197)	795 (636)	480 (201)	543 (263)	622
60-90cm	305 (110)	373 (253)	634 (417)	563 (488)	569 (428)	488 (460)	326 (175)	456 (325)	464
0-90cm									2662

Net fine root carbon production(kg/ha/yr)은 0-30cm에서 671kg, 30-60cm에서 599kg, 그리고 60-90cm에서 479kg으로 0-30cm 토양깊이에서 가장 많은 것으로 나타났다(Table 2). 세근의 순생산량이 많게 나타난 계절은 본 연구에서는 뚜렷한 경향을 보이지는 않으나, 주로 이른봄에 발생하는 것은 다른 연구(Hwang, 1997)와 유사하다.

본 연구의 0-90cm 토양깊이에서의 총 fine root NPP는 1,749kg으로 나타났다(Table 2). 박(2001)은 공주, 포항, 그리고 양양지역의 굴참나무림에서의 잎의 순탄소량은 1,100kg, 1,200kg, 그리고 1,000kg이라고 보고하였다. 본 연구에서도 세근에 의한 순탄소고정량은 지상부 총 순생산량의 많은 부분을 차지하는 잎에 의한 순탄소고정량 보다 많게 나타나서 산림생태계에서의 세근에 의한 탄소순환은 매우 중요한 것으로 사료된다.

Table 2. Fine root carbon production(kg/ha/yr) in *Quercus variabilis* natural stand of Chungju area at 0-30cm, 30-60cm, and 60-90cm soil depths.

Soil depth	13 Apr. ~4 May	4 May ~9 Jun.	9 Jun. ~18 Jul.	18 Jul. ~20 Aug.	20 Aug. ~22 Sep.	22 Sep. ~27 Oct.	27 Oct. ~24 Nov.	Total
0-30cm	236	0	17	170	0	248	0	671
30-60cm	28	185	0	91	201	0	94	599
60-90cm	68	261	0	0	0	0	150	479
0-90cm								1,749

Table 3은 본 연구의 fine root turnover rate를 나타낸다. 본 연구의 fine root turnover rate는 Vogt와 Bloomfield(1991)가 보고한 선행연구들의 범위에 속하고 있다. 인접한 지역에서 수종이 다를 경우 fine root turnover rate는 크게 다를 것으로 사료된다.

Table 3. Fine root turnover rate(%/yr) in *Quercus variabilis* natural stand of Chungju area at 0-30cm, 30-60cm, and 60-90cm soil depths.

Soil depth	<i>Quercus variabilis</i>
0-30cm	0.43
30-60cm	0.96
60-90cm	1.03

2. 세근의 N, P, K, 그리고 Ca 함량

Table 4는 세근의 N, P, K, 그리고 Ca 함량을 나타낸다 (0-30cm 토양깊이). 4월부터 11월까지의 샘플링 기간동안의 세근내 양분들의 평균값은 N은 0.89%, P는 0.048%, K는 0.3%, 그리고 Ca은 0.53%로 나타났다. 계절별 경향을 보면 N과 P의 경우 주로 이른 봄철(4월과 5월)에 함량이 높았고, 여름과 초가을(7, 8, 그리고 9월)에는 함량이 낮은 것으로 나타났다. 그러나 K와 Ca의 경우 일정한 경향을 보이지 않았다.

Table 4. Nutrient concentrations of fine root in *Quercus variabilis* natural stand of Chungju area at 0-30cm soil depths. Values are expressed as per cent by weight (mean \pm standard error of the mean, expressed as percent by weight; n=2).

Nutrients	13 Apr.	4 May	9 Jun.	18 Jul.	20 Aug.	22 Sep.	27 Oct.	24 Nov.	Mean
N	0.18 (0.05)	1.05 (0.08)	0.86 (0.07)	0.08 (0.01)	0.80 (0.06)	0.74 (0.05)	0.93 (0.01)	0.88 (0.05)	0.89
P	0.06 (0.004)	0.05 (0.002)	0.05 (0.001)	0.046 (0.001)	0.044 (0.001)	0.039 (0.001)	0.049 (0.001)	0.046 (0.003)	0.048
K	0.33 (0.007)	0.28 (0.014)	0.29 (0.007)	0.29 (0.014)	0.29 (0.007)	0.28 (0.014)	0.33 (0.014)	0.315 (0.007)	0.30
Ca	0.530 (0.014)	0.480 (0.021)	0.535 (0.021)	0.585 (0.021)	0.580 (0.001)	0.545 (0.035)	0.555 (0.021)	0.465 (0.021)	0.53

Table 5는 세근의 고사(fine root turnover)에 의한 토양으로의 양분들의 연간 투입량을 나타낸다. Cole과 Rapp (1981)은 온대지방 활엽수림(14 sites)에서 litterfall에 의한 양분들의 토양으로의 평균 투입량(kg/ha/yr)은 N의 경우 61.4, P의 경우 4.0, K의 경우 41.6, 그리고 Ca의 경우 67.7로 보고하고 있다. 본 연구의 세근에 의한 양분 투입량은 위의 선행연구 보다 약 2~3배 정도 적은 양이지만, 토양으로의 양분 유입이 지상부에서는 주로 litterfall에 의해 이루어지고, 지하부에서는 세근과 weathering에 의해 이루어지기 때문에 양분순환에 대한 세근의 기여도는 큰 것으로 사료된다.

Table 5. N, P, K and Ca input into the soil(kg/ha/yr) due to fine root turnover in *Quercus variabilis* natural stand of Chungju area at 0-30cm, 30-60cm, and 60-90cm soil depths.

Soil depth	N	P	K	Ca
0 ~ 30cm	13.0	0.7	4.4	7.7
30 ~ 60cm	11.6	0.6	3.9	6.9
60 ~ 90cm	9.3	0.5	3.1	5.5
0 ~ 90cm	33.9	1.8	11.4	20.1