

# 鼎湖山南亚热带常绿阔叶林定位研究(VI) 锥栗、黄果厚壳桂群落细根生物量、生产力的估算<sup>①</sup>

温达志 魏平 张佑昌

(中国科学院华南植物研究所, 广州 510650)

**摘要** 本文报道了鼎湖山南亚热带常绿阔叶林群落0~40cm土层中细根的现存量、死亡量、生产力和周转。在0~40cm土层中,  $\leq 2\text{mm}$ 和2~5mm细根现存量分别为 $6.59$ 和 $4.81\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ , 死根百分率各为29.9%和22.9%, 年分解失重率分别为45.7%和37.6%。 $\leq 2\text{mm}$ 细根的年分解量、年死亡量和年净生产力分别为 $0.90$ 、 $1.59$ 和 $2.65\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ , 2~5mm细根的相应数值分别为 $0.41$ 、 $0.63$ 和 $1.25\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。 $\leq 2\text{mm}$ 、2~5mm细根年周转率分别为 $0.57$ 和 $0.34$ 次/年。

**关键词** 鼎湖山生物圈保护区, 南亚热带常绿阔叶林, 细根, 分解, 年死亡量, 生产力, 周转。

根系是森林群落的重要组成部分, 细根的生长、死亡、分解和周转在森林生态系统物质、养分循环中起重要作用。土壤中营养元素或其它环境条件的变化直接或间接影响物质和养分的吸收利用以及它们在地上和地下部分的分配, 从而影响群落或生态系统中不同树种间的竞争、凋落物组成和数量。同样, 地上部分枯枝落叶和细根的死亡、分解将树体中的营养部分地归还到土壤, 再次被植物吸收。传统的根系研究方法是根据地上部分生产力与生物量的比例和地下部分生物量<sup>[1]</sup>, 或根据异速生长关系式推算得到<sup>[2]</sup>。鼎湖山季风常绿阔叶林为南亚热带地带植被, 结构复杂, 有较高的物种多样性。有关该森林植被的组成、结构<sup>[3]</sup>、优势种生物量生产力<sup>[4,6]</sup>和光能利用<sup>[7]</sup>的研究已有报道。本文采用“连续钻取土芯法”估测该森林群落细根年死亡量、净生产力和周转, 初步阐明细根在森林生态系统中的地位。

## 1 实验地概况和研究方法

### 1.1 实验地概况

鼎湖山自然保护区位于广东省中部, 东经 $112^{\circ}30'39''\sim 112^{\circ}33'41''$ , 北纬 $23^{\circ}09'21''\sim 23^{\circ}11'30''$ , 总面积 $1155\text{hm}^2$ 。本区年平均气温 $21^{\circ}\text{C}$ , 年均降雨量 $1929\text{mm}$ , 干湿季明显, 4~9月为雨季, 11月至翌年1月为旱季<sup>[8]</sup>。锥栗(*Castanopsis chinensis*) + 黄果厚壳桂(*Cryptocarya concinna*) + 荷木(*Schima superba*)群落为常绿阔叶林典型地带性代表植被类型, 热带植物丰富, 群落结构复杂, 成层现象明显<sup>[3]</sup>, 土壤发育于砂岩母质上的赤红壤, 厚度一般为 $60\sim 90\text{cm}$ , 表层有机质含量 $2.94\%\sim 4.27\%$ <sup>[9]</sup>。样地位于三宝峰东北坡, 坡度 $26^{\circ}\sim 30^{\circ}$ , 海拔 $270\sim 330\text{m}$ 。

<sup>①</sup> 本项研究获国家自然科学基金(9390011)、中国科学院生态系统研究网络的资助。参加野外工作的有: 黄忠良、黄玉佳、张倩媚、余清发、王俊浩、韦彩妙。

## 1.2 研究方法

1.2.1 现存量:1992年12月,1993年4月,7月和10月每次用内径5.68cm的土钻在样地的上中下部随机分层钻取土芯10个(0~20cm,20~40cm),取回土芯,用流动水浸泡、漂洗、过筛,拣出根系并分成2个径级( $\leq 2\text{mm}$ ,2~5mm)。根据根系外形、颜色和弹性来区分死活根,风干后称重,并取一定数量的根样置于80℃烘箱中烘干至恒重后称重,得干重率。样本换算成干重后按下式计算生物量:

$$\text{细根现存量}(\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}) = \text{平均每土芯根重}(\text{g}) \times \frac{10^2}{\pi \times (5.68/2)^2} \quad (1)$$

1.2.2 分解试验:在样地附近从表层土(0~20cm)中随机收集直径 $\leq 2\text{mm}$ 和2~4mm的活根和死根的混合样品,洗涤、分段,自然风干后装入12cm×15cm,网孔径为0.25mm的尼龙网袋中,每袋样品折合干重为3.5g左右,埋入近地表层10cm处,分布在样地的上中下部,共10个样点,100袋。以后每隔一定时间从各点中随机抽取样品,用于失重分析和化学成分分析。

1.2.3 细根净生产力和周转率通过下列公式<sup>[10]</sup>计算得到:

$$M = M_{\max} - M_{\min} + D \quad (2)$$

$$P = P_{\max} - P_{\min} + M \quad (3)$$

$$T = P/Y \quad (4)$$

其中  $M$ 、 $P$ 、 $D$ 、 $T$  分别代表细根年死亡量、年生长量、年分解量( $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ )和周转率(次· $\text{a}^{-1}$ ); $M_{\max}$ 、 $M_{\min}$ 各为死细根现存量最大值和最小值; $P_{\max}$ 、 $P_{\min}$ 和  $Y$  分别为活细根现存量的最大值,最小值和平均值。

## 2 结果与分析

### 2.1 细根现存量及其动态

2.1.1 现存量 表1为1992~1993年四个不同季节测定结果的平均值。直径 $\leq 5\text{mm}$ 细根的现存生物量为 $11.40\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,约占总生物量( $295.64\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ )<sup>[11]</sup>的4%。在细根总量中 $\leq 2\text{mm}$ 和2~5mm的细根各占57.8%和42.2%。廖兰玉等<sup>[12]</sup>采用挖土柱法(40cm×25cm×75cm)测定了与本研究群落相邻、林龄较小的次生常绿阔叶林群落(*Cryptocarya concinna*、*Lindera chunii*)、45cm土层中 $\leq 6\text{mm}$ 根系现存量为 $14.53\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ ),高于本文的结果。形成这一差异的原因可能有①土柱的面积不同,通常较大的土柱覆盖较大的林地面积,面积较小的土柱估算的结果有较大的随机性,②取样深度和根系分级不同,③本文所研究的季风常绿阔叶林群落属于年龄较大的原生性群落,在细根现存量及其分布等方面存在实际差异。

在细根总量中,死根占有一定的比例,且 $\leq 2\text{mm}$ 高于2~5mm。季风常绿阔叶林结构较复杂,郁闭度较高,林下草本相对稀疏,死亡乔木树种主要以樟科植物为主,如厚壳桂、黄果厚壳桂、钓樟等,死亡原因多为受上层木压制所致或昆虫食叶蛀干。

表1 0~40cm土层中细根的生物量

Table 1 Biomass of the live and dead fine roots in the 0~40cm soil depth

根级 (mm)	活根	死根 ( $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ )	总和
2~5	3.71(77.1)	1.10(22.9)	4.81
$\leq 2$	4.62(70.1)	1.97(29.9)	6.59
总计	8.33(73.1)	3.07(26.9)	11.40

表中数据表示为4个采样季节40个样本的平均值(占总和的%)。

表2 细根的垂直分布

Table 2 Vertical biomass pattern of fine roots

土层 cm	根 级 (t·hm <sup>-2</sup> )		总 和
	2~5mm	≤2mm	
0~20	3.14(65.3)	5.04(76.4)	8.18(71.7)
20~40	1.67(34.7)	1.56(23.6)	3.23(28.3)
总 计	5.81	6.60	11.41

表中数据表示为4个采样季节40个样本的平均值(占总计的%)。

2.1.2 细根的垂直分布 细根主要分布在0~20cm的近地表层,随土层的加深,其生物量明显减少(表2)。20~40cm土层中≤2mm细根生物量约为总量的1/4,2~5mm细根生物量的比例则有所提高(34.7%)。因此,对于径级较大的根,土钻取样会因土层深度的不够而产生偏差,但对于≤2mm的根取样深度40cm基本能满足要求。廖兰玉等<sup>[12]</sup>的结果也证实了这一点,45cm土层中<3mm根系量占75cm土层中总量的90%以上。

2.1.3 细根生物量的季节变化 细根是植物体生命活动最为旺盛的器官之一,占总生物量的比例虽小,却要消耗大量的同化产物来维持其正常的生理功能。有研究表明,表层土中细根生长量与细根现存量存在明显的季节性差异,粗根的变化则不大<sup>[13]</sup>。图1可见,≤2mm活细根现存量在7月份最大,为5.01t·hm<sup>-2</sup>,其次是4月和10月,分别为4.86和4.66t·hm<sup>-2</sup>,12月最小,为3.95t·hm<sup>-2</sup>;死细根现存量在10月份最大,其次是4月和7月,分别为2.23、2.16和1.96t·hm<sup>-2</sup>。就死活细根总量而言,最大值在4月和7月,分别为7.02和6.97t·hm<sup>-2</sup>,前一年的12月最小,为5.49t·hm<sup>-2</sup>。这与长白山阔叶红松林在10月达到最大值,6月为最小的结果<sup>[14]</sup>稍微有些偏差。根据鼎湖山的物候观测,植物抽芽、展叶集中在早春(3~5月),这个期间气温土温逐渐回升,而且4~9月雨水充沛,非常适宜植物的生长,这期间的任何时候都有可能出现生长高峰,而长白山山地森林位于温带,冬季低温时期较长,植物在开始生长之前还需经过一段较长的解冻期。还有些研究表明细根的生长一年内有二个高峰,如 Santantonio 等<sup>[10]</sup>报道的辐射松活细根量在2月和9月各有一次高峰,死细根在9月达到最大。此外,2~5mm细根现存量的变化规律不如≤2mm细根明显。

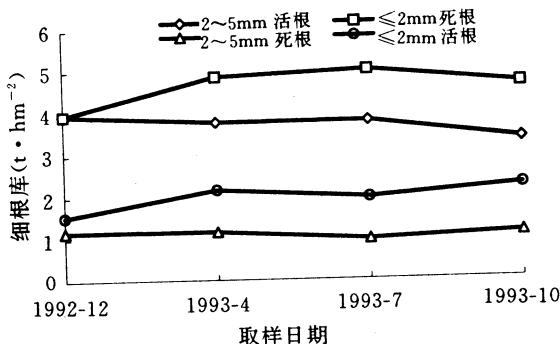


图1 0~40cm 土层中细根生物量季节动态

Fig. 1 Seasonal dynamics of the standing pools of fine roots in the 0~40cm soil depth

## 2.2 细根周转

2.2.1 分解试验 用于分解试验的两组细根实际上分别为 $\leq 2\text{mm}$ 和 $2\sim 4\text{mm}$ 。本文设定 $2\sim 5\text{mm}$ 细根与 $2\sim 4\text{mm}$ 细根的分解干物质失重率近似。如表3,  $\leq 2\text{mm}$ 和 $2\sim 5\text{mm}$ 细根分解约半年的失重率分别为33.3%和27.7%,一年后则为45.7%和37.6%。由表3还可以导出阔叶林 $\leq 2\text{mm}$ 和 $2\sim 5\text{mm}$ 的细根前半年的分解量分别占全年分解总量的72.9%和73.7%。分解开始阶段,细根中可溶性化合物优先淋失,失重较快,半年后难分解的物质如木质素、纤维素等残留下来,分解速率开始变得缓慢。

根据450天内6个连续时间间隔的数据,指数方程 $X/X_0 = e^{-kt}$  ( $X_0$ ——初始干重, $X$ ——残留干重, $t$ 为分解时间,年)来拟合细根的分解,得到分解系数和年分解率(表4)。可见,根据回归方程得到的细根年分解率略高于实测值(表3),而且分解速率与网袋孔径大小、根大小密切相关。McClagherty等<sup>[15]</sup>报道了美国马萨诸塞州北部硬叶混交林 $\leq 3\text{mm}$ 根系的年分解率为20%,比本文的数值低。同时,我们还注意到本森林群落 $2\sim 5\text{mm}$ 根系年分解率和同一群落中的枯枝(40%)、花果、杂物(43%)较接近,两级细根分解失重率均低于锥栗叶(57%)、荷木叶(54%)及黄果厚壳桂叶(54%)<sup>[16]</sup>,大叶相思(57.4%)、南洋盈(67.0%)尾叶桉(55.1%)<sup>[17]</sup>。这些差异是否与细根和叶木质化程度以及它们的初始化学组成不同有关,有待进一步研究。

表3 细根分解干物质溶失

Table 3 Dry mass loss of the decomposing fine roots

网孔径 mm	根级 mm	失重率(%)		
		分解天数 80	170	365(天)
0.25	$\leq 2$	18.2(2.2)	33.3(3.6)	45.7(4.2)
0.25	$2\sim 5$	14.6(1.8)	27.7(2.5)	37.6(4.8)
1.00	$\leq 2$	16.3(1.3)	28.9(5.9)	46.2(3.2)

均值(标准差),如18.2(12.2);18.2为均值,2.2为标准差。

表4 细根分解系数(K)与年分解率(R)

Table 4 Decomposition coefficient(K) and annual percent dry mass loss(R) of the fine roots

网孔径 mm	根级 mm	年分解系数 K	年分解率 R
			%
0.25	$\leq 2$	0.676	49.14
0.25	$2\sim 5$	0.511	40.01
1.00	$\leq 2$	0.643	47.43

2.2.2 细根年净生产力、年死亡量及周转率 按1.2.2节中的公式②③④估算细根的年死亡量、年净生产力和年周转率,见表5。 $\leq 2\text{mm}$ 和 $2\sim 5\text{mm}$ 细根年净生产力分别为 $2.65$ 和 $1.25\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ,二者之和为 $3.90\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ,占群落净第一性生产力( $23.2$ )<sup>[6]</sup>的16.8%。因此,在考虑群落生产力分配时,细根是不可忽略的部分。 $\leq 5\text{mm}$ 细根年死亡量为 $2.22\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ,占群落地上部分年凋落物总量( $9.2\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ )<sup>[16]</sup>的24.1%,表明细根的死亡是干物质从植物归还到土壤的又一重要途径。

$\leq 2\text{mm}$ 和 $2\sim 5\text{mm}$ 细根年周转率分别为0.57和0.34,即它们全部更新一次分别需要1.75和2.94年。单建平<sup>[18]</sup>对11种森林细根周转率作了总结,针叶林 $2\text{mm}$ 以下的细根周转率在0.47和1.05之间,大多数在0.5左右。

根据文献,细根周转的原因主要归结为根际环境因子和营养状况的变化所引起<sup>[13]</sup>。有资料表明,干旱地区细根的死亡率明显增加<sup>[19]</sup>,细根周转率较湿润地区高<sup>[20]</sup>,通过灌溉可以缓解细根因干旱胁迫引起的死亡<sup>[21]</sup>。本文细根周转率不高的一种解释是南亚热带地区水、热资源十分丰富,虽然干湿季明显,但相对干旱季节持续的时间较短,而且阔叶林绝大多数为常绿树种,细根的寿命比温带落叶林长,可持续较长的生长季。

表 5 0~40cm 土层中细根年分解量、死亡量、净初级生产力和周转率

Table 5 Annual mass loss ( $D$ ), mortality ( $M$ ), production ( $P$ ) and turnover rate ( $T$ ) of fine roots in the 0~40cm soil

根大小 mm	年分解量 $D$	年死亡量 $M$ $t \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$	年净生产力 $P$	年周转率 $T$ $\text{times} \cdot \text{a}^{-1}$
$\leq 2$	0.90	1.59	2.65	0.57
2~5	0.41	0.63	1.25	0.34

### 3 讨论

由于根系处于地下,研究起来十分困难,导致地下部分的研究远远落后于地上部分。较早期森林生态系统研究往往只重视地上部分,地下部分常常被忽略,或根据地上一地下部分的异速生长关系式估算得到<sup>[1,2]</sup>,即根据伐倒样木的不同组分重量与其特征度量如胸径、树高或二者的组合建立估测方程来推算林分中其它个体的生物量。这一方法对地上部分通常可行有效,然而地下部分特别是细根往往收获不完全,而且不能反映其寿命短、更新快、动态变化大等特征。因此“连续钻取土芯法”在一定程度上可以弥补样木收获法之不足。然而许多研究者认为这种方法仍然存在许多不确定的因素,导致偏高或者偏低估计。鼎湖山地处南亚热带,水热充沛,干湿季明显,但一年中细根的最大值与最小值出现的时间是否与钻取土芯的日期刚好一致仍然未知。即使在同一采样间隔期内,细根生长和死亡同时发生,根系代谢、动物啃食导致根系损失也难于确定。而且,鼎湖山季风常绿阔叶林种类丰富、结构复杂,地貌起伏较大,而钻取土芯的面积总是有限,所取的样本是否足以代表 $1\text{hm}^2$ 甚至更大面积林地的细根库?林地变异有多大?等一系列问题都给森林细根的研究带来许多实际困难。Neill<sup>[22]</sup>曾经对“钻取土芯法”测算一草地群落(*Scolochloa festucacea*)根系年净初级生产力(NPP)的结果作了方法上的比较。以一年中活根生物量最大值与最小值(Maximum-Minimum)之差,与以连续钻取土芯(Sequential sums of biomass increment)得到的每次间隔活根生物量增量的总和作为地下部分 NPP 的结果类似;每次取样将地下部分分拣成活根和活根际物,再按上面两种方法计算得到的 NPP 高于不分拣的数值;死生物量连同活生物量的增量一起来计算 NPP 的数值远高于(3倍左右)仅仅用活根生物量增量计算得到的 NPP。

### 参 考 文 献

- 1 Bray J R. Root production and the estimation of net productivity, *Can. J. Bot.*, 1963, 41:65~72
- 2 Whittaker R H and Marks P L. Methods of assessing terrestrial productivity. p. 55~119. In: Lieth H and Whittaker R H (eds.), *Primary productivity of the biosphere*, Springer-Verlag, New York
- 3 王铸豪,何道泉等. 鼎湖山自然保护区的植被. 热带亚热带森林生态系统研究, 1982, 1:77~141
- 4 彭少麟,张祝平. 鼎湖山森林植被主要优势种黄果厚壳桂、厚壳桂生物量及第一性生产力研究. 植物生态学与地植物学学报, 1990, 14(1):23~32
- 5 彭少麟,张祝平. 鼎湖山森林植被优势种云南银柴和柏拉木的生物量及第一性生产力研究. 应用生态学报,

- 6 彭少麟,张祝平. 鼎湖山地带植被的生物量、生产力和能量利用效率. 中国科学, (B辑),1994,24(5):497~502
- 7 张祝平,丁明懋. 鼎湖山亚热带季风常绿阔叶林的生物量和光能利用效率. 生态学报,1996,16(5):525~534
- 8 黄展帆,范征广. 鼎湖山的气候. 热带亚热带森林生态系统研究,1982,1:11~16
- 9 何金海,陈兆其等. 鼎湖山自然保护区之土壤. 热带亚热带森林生态系统研究,1982,1:25~37
- 10 Santantonio D et al. Estimating fine root production and turnover from biomass and decomposition data: A compartment flow model. Can. J. For. Res.,1987,17:900~908
- 11 温达志,魏平等. 鼎湖山锥栗、黄果厚壳桂、荷木群落生物量及其特征. 生态学报,1997,17(5):59~66
- 12 廖兰玉等. 鼎湖山某些植物群落根系生物量及其氮素动态. 植物生态学与地植物学学报,1993,17(7):56~60
- 13 Santantonio D et al. Root biomass studies in forest ecosystems. Pedobiologia, 1978, Bd. 17, S. 1~31
- 14 单建平等. 长白山阔叶红松林细根周转的研究. 应用生态学报,1993,4(3):241~245
- 15 McClaugherty C A et al. The role of fine roots in the organic matter and nitrogen budgets of two forested ecosystems. Ecology,1982,63:1481~1490
- 16 屠梦照等. 鼎湖山南亚热带季风常绿阔叶林凋落物的特征. 土壤学报,1993,30(1):34~42
- 17 周存宇等. 不同树种落叶分解及其营养释放的研究. 生态学报,1995,15(增刊A辑):132~140
- 18 单建平,陶大立. 国外对树木细根的研究动态. 生态学杂志,1992,11(4):46~49
- 19 Joslin J D and Henderson G S. Organic matter and nutrient associated with fine root turnover in a white oak stand. For. Sci., 1987,33(2):330~346
- 20 Santantonio D. Seasonal dynamics of fine roots in mature stands of Douglas-fir of different waters regimes — A preliminary report. p. 190(203, in Reidacker A and Gagnaire-Michard J (eds.), Symp. Root Physiology and Symbiosis, 1978, Centre Nationale de Recherches Forestieres, Seichamps, France.
- 21 Kolesnikov V A. Cyclic renewal of roots in fruit plants. p. 102(106. In: Chilarov M S, Kovda V A, Novchikova-Ivanova L N, Rodin, L E and Sveshnikova V M (eds.). Methods of Productivity Studies in Root Systems and Rhizosphere Organisms, 1978, Nauka, Leningrad.
- 22 Neill C. Comparison of soil coring and ingrowth methods for measuring belowground production. Ecology,1992,73(5):1918~1921

## **Long-term Monitoring of the Lower Subtropical Evergreen Broad-leaved Forest in Dinghushan Biosphere Reserve (VI) An Estimation of Biomass and Production of Fine Roots in the Community of *Castanopsis chinensis*, *Cryptocarya concinna***

*Wen Dazhi Wei Ping Zhang Youchang*

(South China Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650)

**ABSTRACT** Fine roots were sampled seasonally in the lower subtropical evergreen broad-leaved forest in

*Dinghushan Biosphere Reserve. The mean value of biomass of roots  $\leq 2\text{mm}$  and  $2\sim 5\text{mm}$  in the  $0\sim 40\text{cm}$  soil depth were  $6.59$  and  $4.81 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ , with the proportion of  $29.9\%$  and  $22.9\%$  for the dead roots, respectively. The annual dry mass loss was  $45.7\%$  for the decomposing fine roots  $\leq 2\text{mm}$ , and  $37.6\%$  for the  $2\sim 5\text{mm}$  roots. The annual dry mass loss, annual mortality, and annual net production were  $0.90, 1.59, 2.65 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$  for roots  $\leq 2\text{mm}$ , and  $0.41, 0.63$  and  $1.25 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$  for the  $2\sim 5\text{mm}$  roots, respectively. The annual turnover rates of roots  $\leq 2\text{mm}$  and  $2\sim 5\text{mm}$  were  $0.57$  and  $0.34$  times  $\cdot\text{a}^{-1}$ , respectively.*

**Key words** Dinghushan Biosphere Reserve, Lower subtropical evergreen broad-leaved forest, Fine roots, Decomposition, Mortality, Production, Turnover.