

西双版纳热带季节雨林细根周转的研究

房秋兰^{1,2}, 沙丽清^{1*}

(1. 中国科学院西双版纳热带植物园, 云南 昆明 650223; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘 要: 研究了季节雨林 0~20 cm 土层中 ≤ 2 mm 细根的生物量、分解量、死亡量、生长量和周转率, 并比较了 0~10 cm 和 10~20 cm 土层细根生物量的差异。结果表明: 0~10 cm 的细根生物量明显多于 10~20 cm 的细根生物量; 在 0~20 cm 土层中, 季节雨林活细根和死细根生物量分别为 $5418 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $707 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$; 细根生物量的季节变化显著, 其中活细根生物量的最大值出现在 5 月, 最小值出现在 8 月; 年分解量、年死亡量、年生长量和年周转率分别为 $391 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, $1061 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, $3776 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $0.70 \text{ times} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

关键词: 西双版纳; 季节雨林; 细根; 生物量; 细根周转

中图分类号: X717.1

文献标识码: A

根系在森林生态系统生产力分配中占有很重要的地位, 国内外的研究表明, 虽然根系占总生物量的 10%~20%^[1], 细根生物量只占总生物量的 5%左右^[2], 但其生长量可占森林初级生产力的 50%~75%^[3-4]。而且由于根系中最活跃的部分——细根在生长的同时又有一部分细根的死亡(即所谓的细根周转)^[5-6], 这种变化需要消耗初级生产力的 30%~50%才能维持其动态过程^[1]。据研究资料, 树木各部分的生物量大小顺序为: 干>叶>粗根>枝>细根。根据 Comeau 的研究结果^[1], 美国黑松 (*Pinus contorta*) 净初级生产力的分配量大小顺序为: 细根>干>叶>粗根>枝, 这个结果出乎一般人的意料, 可见细根周转在能量分配中的重要作用。

细根的生长、死亡、分解和周转在 C 平衡和养分循环中起着重要的作用^[7]。树木有赖于细根吸收水分和养分, 细根死亡是有机质和养分元素向土壤归还的重要途径^[8], 通过根系死亡归还到土壤中的氮量比通过地上部分凋落物高 15%~58%^[8-9], 细根在不同时期的数量及变化规律直

接或间接地可以反映群落的某些特征。近二十年来, 随着对根系作用和功能认识的不断深入, 对细根的分解和周转的研究已成为森林生态学研究的热点^[7]。国内外已有不少学者作过关于细根的各种研究和报道^[10-23], 关于西双版纳地区细根生长动态研究施济普等也曾作过相应的报道^[24], 但是只是局限于土壤表层 5 cm。为了进一步了解西双版纳地区季节雨林细根生物量及周转的状况, 进行了如下的研究。

1 研究区概况及林分特征

西双版纳终年受西南季风控制, 属热带季风气候, 一年中有雾凉季(11月~翌年2月)、干热季(3~4月)和湿热季(5~10月)之分。观测样地位于云南省西双版纳州勐腊县勐仑镇的热带季节雨林自然保护区内(21°51'N, 101°12'E), 海拔 750 m, 年平均气温 21.5 °C, ≥ 10 °C 积温 7 860 °C, 平均最低气温 7.5 °C, 年日照时数 1 828 h, 年降水量 1 557 mm, 年相对湿度 86%, 干燥度 1.01,

收稿日期 (Received date): 2005-03-11; 改回日期 (Accepted): 2005-06-08.

基金项目 (Foundation item): 国家自然科学基金 (40173039)、云南省自然科学基金 (2004C0052M) 和云南省科技攻关计划 (2001NG28) [Supported by the National Natural Science Foundation of China (40173039) and the Provincial Natural Science Foundation of Yunnan (2004C0052M, 2001NG28)]

作者简介 (Biography): 房秋兰 (1979-), 女 (汉族), 山东省郓城县人, 在读硕士生, 生态学专业。 [Author Introduction: Fang Qiulan (1979-) is a graduate student of Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, CAS, majoring in ecology,]

* 通讯作者 (Author for correspondence): 沙丽清 [Sha Liqing, Tel: 0871-5112637, E-mail: shalq@xtbg.ac.cn]

年径流量 764 mm。土壤为由白垩纪砂岩发育而成的砖红壤, 坡度为 $12^{\circ} \sim 18^{\circ}$ 。

我们所研究的季节雨林位于国家自然保护区内, 是以番龙眼 (*Pometia tomentosa*) 为优势的热带雨林, 群落高 30 ~ 40 m, 群落内乔木层林木 (胸径大于 5 cm) 密度 $730 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。群落内除番龙眼外还有云南玉蕊 (*Barringtonia pendula*)、大叶白颜树 (*Gironniera subaequalis*)、千果榄仁 (*Terminalia myriocarpa*)、云南肉豆蔻 (*Myristica yunnanensis*)、滇南风吹楠 (*Horsfieldia teratopala*)、光叶天料木 (*Homalium laoticum*)、金刀木 (*Barringtonia macrostachya*) 等, 有较明显的层次结构。该群落内藤本及附生植物丰富, 板根及茎花现象显著, 是西双版纳季节雨林中分布面积较大、保存完好、具有代表性的群落类型^[25]。

2 研究方法

2.1 细根生物量的测定

在季节雨林选取 3 块样地, 面积为 $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$, 每块样地内取 10 个点。从 2003—11 开始, 每个季度用内径为 8 cm 的环刀在样地内随机钻土取样, 每个土芯分为 2 层, 每层深度为 10 cm, 加上凋落物共 3 层。将取回的土样水中浸泡后放在 2 mm 网筛上冲洗, 捡出直径 $\leq 2 \text{ mm}$ 的细根, 根据细根的颜色、弹性、外形区分死根和活根, 样品用分析天平称其鲜重和干重, 干重样品为 80°C 下烘干的衡重, 计算干重率。

$$\text{细根现存量 (kg/hm}^2\text{)} = \text{平均每土芯重} \times \frac{10^5}{\pi \times (d/2)^2} \quad (1)$$

式中 d 为土钻的内径 (cm)。

2.2 细根生长量的测定

在每个样地内平行拉 6 根样线, 在每根样线上均匀的选取 6 个点, 用内径 10 cm 的土钻在每样地内钻取 36 个土芯, 深度为 10 cm, 用大小和钻孔相同的尼龙网袋装入无根土和细沙混合, 埋入地下, 因生长量不是很大, 所以每隔 2 月取样 1 次, 每样线上按照顺序各取一袋, 3 块样地每次共取样 18 袋, 捡出长入生长袋内的新根, 烘干称重, 并根据死活细根的比例来研究细根生命周期及细根周转率。

2.3 细根分解试验

采集直径 $\leq 2 \text{ mm}$ 的细根, 冲洗、烘干后剪成 5 cm 的小段, 装入 $15 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ 的尼龙网袋内,

每袋装入 5.00 g, 共 180 袋。然后用塑料牌分别标号, 放入样地内, 和生长量一样, 每块样地拉 6 根样线, 每个样线取 6 个点, 每个点放 1 袋。因细根集中在土壤表层 20 cm 之内, 分解袋放在离地表 10 cm 的土层中, 以后每 2 月取样 1 次, 每个样线上按顺序各取 1 袋, 每次共 18 袋, 用于失重分析。

2.4 细根周转量和周转率的计算

根据文献, 主要采用 McClaugherty (1982) 提出的最大值最小值方法^[8], 根据下面的公式计算细根净生产力和周转率

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

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

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

式中 M 为细根年死亡量, P 为细根年生长量, D 为细根年分解量, X_{\max} 为年内死亡细根生物量最大值, X_{\min} 为年内死亡细根生物量最小值, Y_{\max} 为年内活细根生物量最大值, Y_{\min} 为年内活细根生物量最小值, T 为细根年周转率, Y 为活细根平均生物量。

3 结果与分析

3.1 细根的生物量和生长动态

据郑征等人的研究, 热带季节雨林生物量主要集中于乔木层, 乔木层生物量的器官分配向树干和树根集中: 树根占 21.56%, 而树枝和树叶只占 8.54%^[26]。我们的研究主要集中在 0~20 cm 土层中的细根, 对 0~10 cm、10~20 cm 土层内细根生物量进行分析比较。根据单建平、陶大立的综述, 细根的垂直分布, 不同树种的细根分布不一, 但一个共同的特点是随着深度的增加而细根量减少^[27]。

从表 1 可以看出, 2004 年季节雨林 0~20 cm 土层的细根生物量为 $6125 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 其中活细根生物量为 $5418 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 占 88.46%; 死根生物量为 $707 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 占 11.54%。从细根的垂直分布来看, 无论是活根还是死根, 0~10 cm 土层的细根生物量明显的大于 10~20 cm 土层的细根生物量, 在 $P < 0.01$ 水平上具有显著性差异, 与其它地区的研究结果一致。施济普 (2002) 采用钻土芯法测定了与本研究中相同林型的 5 cm 土层中 $\leq 2 \text{ mm}$ 细根生物量^[24], 低于本文的结果。形成这一差异的原因可能有: 1) 取样点的代表性不够、样本数量不够大, 因自然林结构复杂, 地形起伏变化大, 需要大量的样品来作统计分析; 2) 取样深度

表1 西双版纳季节雨林细根生物量及活根与死根的比例

Table 1 Fine root biomass and the proportion of live and dead roots of tropical seasonal rain forest in Xishuangbanna, 2003~2004

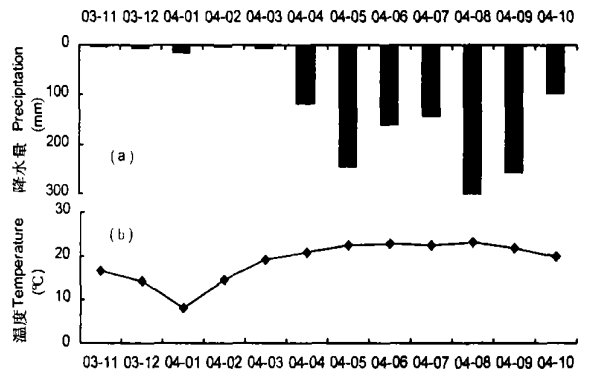
深度 Depth (cm)	总生物量 Total fine root biomass (kg·hm ⁻²)	活根生物量 Live fine root biomass (kg·hm ⁻²)	占总重的% Percent of total	死根生物量 Dead fine root biomass (kg·hm ⁻²)	占总重的% Percent of total
0~10	4 135±172 ^a (120)	3 634±167 ^a (120)	59.34	501±61 ^a (120)	8.18
10~20	1 989±130 ^b (120)	1 784±122 ^b (120)	29.12	206±26 ^b (120)	3.36
合计	6 124±128	5 418±119	88.46	707±32	11.54

表中数据为4个采样季节120个样本的平均值±SE, 平均值右上角字母代表同一深度细根生物量 $p < 0.01$ 水平上的差异, 平均值下括号内数值代表样本数。Date represent mean value ± SE (N=120). Significant differences at $p < 0.01$ level between soil depths are indicated by indices a and b.

不同, 在细根库存量及其分布等方面存在实际差异。

从表2西双版纳季节雨林细根生物量的季节动态可以看出, 2003-11~2004-11季节雨林活细根的生物量在雨季初期的5月最大, 雨季中期8月最小。季节雨林细根生物量的季节变化比较明显, 尤其是5月和8月的差异较大, 细根生物量最大值出现在雨季初期的5月, 这是因为气温变暖(图1), 林地土温升高, 雨林进入恢复生长期, 光合作用逐渐加强至盛期, 光合作用产物源源不断地输送给地下部分所致; 此后一直到雨季中期的8月, 这是一年内水热条件比较好(图1), 植物的旺盛生长期, 树木的生长重心已移至地上部分, 光合作用分配给地下部分的量迅速减少, 同时土壤中细根的死亡分解量相对增加, 从而细根生物量处于最低水平; 到了雾凉季, 温度开始降低, 降雨量减少(图

1), 植物体有机物质消耗减少, 细根生物量慢慢增加。



(a), (b) 分别为2003-11~2004-10的月降雨量和平均气温

图1 降雨量和气温的季节变化

Fig. 1 Monthly temperature and precipitation in Xishuangbanna from November 2003 to December 2004

表2 西双版纳季节雨林细根生物量的季节动态

Table 2 Seasonal dynamics of fine roots biomass in tropical seasonal rain forest in Xishuangbanna (kg·hm⁻²)

深度 (cm) Depth (cm)	11月 November	2月 February	5月 May	8月 August
0~10	4 053±293 ^{acd} (30)	4 298±382 ^{ac} (30)	4 893±396 ^{ac} (30)	3 297±226 ^{ad} (30)
10~20	1 825±171 ^{bcd} (30)	1 760±193 ^{bcd} (30)	2 844±396 ^{bc} (30)	1 529±133 ^{bd} (30)

表中数据为30个样本的平均值±SE, 平均值右上角字母a, b代表同一月不同深度在 $p < 0.01$ 水平上的差异, c, d代表同一深度不同月在 $p < 0.05$ 水平上的差异, 平均值下括号内数值代表样本数。Date represent mean value ± SE (N=30). Significant differences at $p < 0.01$ level between different soil depths are indicated by indices a and b. Significant differences at $p < 0.05$ level within a given soil depth are indicated by indices c and d.

Santantonio 等的研究结果表明, 土层中细根生物量的季节动态导致细根库存量的明显变化, 粗根的变化则不大, 而且不存在季节变化^[28]。Mc-Claugherty 认为根的生长在一年内在存在一个高峰^[8], Gholz 等也报道北佛罗里达州27a生的湿地松(*Pinus elliotii*)的活细根在春末夏初达到最大

值, 在8月活细根最少, 他同时指出春季的根系生长加快是由于土温升高引起, 而8月的细根量减少则归因于分配给根系的碳水化合物的减少^[29]。

3.2 细根的分解动态

西双版纳地区林木在雨季生长比较快, 干季生长相对缓慢, 因此细根的分解试验安排在干季的

12 月底。细根分解系数表明了分解速率的大小, k 值越大说明干物质损失越快, 多数文献的分解系数的计算是基于 Olson 提出的细根干物质残留率与分解时间 t 呈负指数关系^[30], 其计算公式如下

$$X/X_0 = e^{-kt} \quad (5)$$

式中 X_0 为分解的初始干重; X 为分解 t 天后的残留物干重。

依据公式 (5), 计算出细根的分解系数和失重率 (表 3)。由表 3 和图 2 可见, 各月的分解系数并不相同, 在细根分解试验过程中, 细根干物质残留量与时间间隔的折线图显示了季节雨林细根的分解速率在初始阶段比较慢, 随着时间增加逐渐升高, 10 月分解速率达到最大, 到了干季逐渐减小, 即单位时间季节雨林细根干物质残留率 (Δ_r/Δ_t) 并不是一个常数, 这可能是由于: 1) 各个月的土壤水热情况不一; 2) 细根的损失还与细根内径的粗细、分解网袋的网眼大小等多种试验因素有关^[31]; 3) 12 月底埋入细根时, 降水量比较少, 土壤含水率低, 土壤温度也比较低, 再加上人为的埋入细根已经破坏了自然环境, 经过一段时间的恢复, 细根开始分解, 只是速度很缓慢; 从 5 月开始进入雨季降水量开始增多, 水热条件好, 细根体内大多数水溶性物质易被淋溶出来, 干物质损失较快; 随着时间的延长到 10 月雨季结束, 纤维素、木质素等难溶物质残留积累, 土壤生物参与分解并开始起主导作用, 这是一个以生物化学作用为主的缓慢过程^[22]。由此可见方程的分解系数是一个与时间有关, 并受很多因素影响的变量。

由表 3 可以看出季节雨林的细根一年的分解失重率是 49.01%, 这一数值高于辽宁杨树的失重率 (45.1%)^[22], 低于长白山阔叶红松林中红松、椴树、色木的平均失重率 56.31%^[13], 低于廖利平

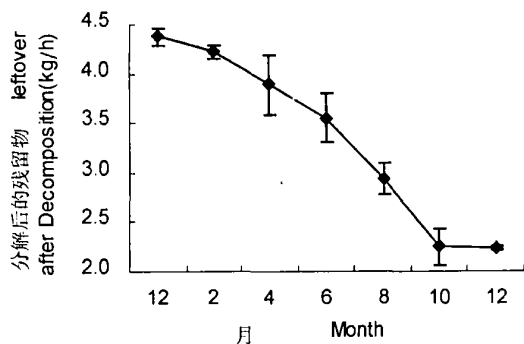


图 2 西双版纳季节雨林细根的分解动态

Fig. 2 Decomposition dynamics of fine roots in tropical seasonal rain forest in Xishuangbanna

等 (1995) 研究的湖南会同杉木林的 61.3% 和火力楠木的 92.8%^[16]。影响细根分解的因素很多, 纬度的高低, 细根组织中可溶性组分 (如碳水化合物) 的高低, 土壤中动物和分解微生物的多少, 以及土温的高低等都会影响细根的分解。

表 3 不同月季节雨林细根的分解系数和累计失重率

Table 3 Decomposition coefficient (k) and percentage of dry mass loss (R) for fine roots of tropical seasonal rain forest in different month

月	分解系数 k (%)	失重率 R (%)
2	0.000 6	3.63
4	0.001 0	11.04
6	0.001 2	18.83
8	0.001 7	33.00
10	0.002 2	48.65
12	0.001 9	49.01

根据一年的取样数据可以建立 X 与 t 之间相关方程为

$$X/X_0 = e^{-0.0019t} \quad (6)$$

上述方程可用于估计季节雨林细根分解百分数, 亦可用于估计达到一定分解百分率所需要的时间。方程中一些参数的推导与实验条件, 尤其是与实验地的局部环境, 例如温度、湿度情况有关。方程的生态学意义, 不仅反映了各类林木细根本身的固有的分解速率这一内在因素, 也间接地反映了实验样地的小区域水热条件等局部环境的影响。为使方程更准确地反映季节雨林细根的分解情况, 还应进行不同年份和不同水热条件下的实验, 综合考虑, 以使方程更能准确地反应细根分解的实际情况, 并能够进行合理科学地预测。

3.3 细根的年分解量和细根的年周转率

凋落物在森林生态系统中的作用越来越受到人们的重视, 有关凋落物的分解在养分归还中的作用已被人们所认识。Persson 认为森林凋落物是树木生长的养分库之一, 并且随着群落成熟度的增加, 这种作用明显增大^[32]。事实上, 根系的死亡也应归于森林凋落物之中。根据单建平等的综述^[27], 在森林凋落物中死细根量与枯枝落叶量相当, 在温带、寒温带及北方针叶林中死细根量大于枯枝落叶量。它是森林生态系统的地下部分“凋落物”的主要组成部分, 而且细根的营养含量比枯枝落叶高, 分解速率又比枯枝落叶快。由于树木粗根的死亡量很少, 在具体研究中可以忽略。因此, 在研究森林地下部分死亡量与养分归还作用时, 主要考虑的是细根。

根据一年内细根的分解速率和死亡细根生物量计算细根的年分解量,按公式(2)、(3)、(4)计算出细根年死亡量、年生长量和年周转率(表4)。单建平等指出,树木细根的年周转率一般为0.29~1.2次,多数为0.5~1.2次^[27],本文的季节雨林细根年周转率亦在此范围内。郑征等报道,西双版纳地区地上枯枝落叶量是 $9\ 570\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ^[33],比我们研究的细根死亡量 $1\ 061\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 要大的多,

其原因:1. 季节雨林细根分布的空间异质性大,取样点的代表性可能不够;2. 这儿研究的细根都是直径 $\leq 2\text{ mm}$ 的,与地下所有细根量相比还是偏小;3. 枯枝落叶量是各个月的累加值,地下细根死亡量是埋在地下一年细根死亡量,在这个过程中会有部分细根分解掉,而且细根分解网袋只是放在了地下10 cm处。

表4 西双版纳季节雨林细根生物量、生长量、年死亡量及周转率(kg/hm^2)

Table 4 Biomass, annual production, mortality and turnover of fine roots in tropical seasonal rain forest in Xishuangbanna (kg/hm^2)

项目 Item	活细根生物量 Live fine root	死细根生物量 Dead fine root	年分解量 Decom-position	年死亡量 Morta- lity	年生长量 Produ- ction	年周转率 Turnover (times $\cdot\text{a}^{-1}$)
季节雨林	5 418	707	391	1 061	3 776	0.70

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引起^[28]。Marshall等指出干旱能加速细根的死亡^[34],干旱地区细根的死亡率明显增加^[35],细根周转率较湿润地区高^[36],通过灌溉可以缓解细根因干旱胁迫造成的死亡^[37]。从季节雨林细根的观察结果来看,水分条件是影响细根生长的主要因素之一,周转率不太高的一种解释是西双版纳地区水、热资源丰富,虽然干湿季明显,但相对于干旱季节持续的时间很短,而且季节雨林是常绿树种,细根的生命比温带落叶林长,可持续较长的生长季,细根周转率相对于其它地方偏小。

4 结论

1. 季节雨林0~20 cm土层中的细根生物量为 $6\ 124\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,其中活细根生物量为 $5\ 418\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,占88.46%,死根生物量为 $707\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,占11.54%。从细根的垂直分布来看,无论是活根还是死根,在0~10 cm细根生物量明显的大于10~20 cm的细根生物量。

2. 季节雨林0~20 cm土层中的细根年死亡量为 $1\ 061\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,年分解量为 $391\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,年生长量为 $3\ 776\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,年周转率为0.70 times $\cdot\text{yr}^{-1}$ 。

3. 从细根的年死亡量及一年的分解试验的初步结果来看,地下部分在森林凋落物中应占有很重要的地位,今后在森林生态系统营养元素的吸收、归还的研究中应同时考虑细根的作用。

参考文献 (References):

- [1] Comeau P G, Kimmies J P. Above-and-below-ground biomass and production of Lodgepole Pine on sites with differing soil moisture Regimes [J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 1989, 19: 447~454
- [2] Persson H. The distribution and productivity of fine roots in boreal forests [J]. *Plant and Soil*, 1983, 71: 87~101
- [3] Hendrick R L, Pregitzer K S. The demography of fine root in the northern hardwood forest [J]. *Ecology*, 1992, 73: 1 094~1 104
- [4] Nadelhoffer K J, Raich J W. Fine root production estimates and below ground carbon allocation in forestry ecosystems [J]. *Ecology*, 1992, 73: 1 139~1 147
- [5] Fogel R. Root turnover and productivity of coniferous forests [J]. *Plant and Soil*, 1983, 71: 75~85
- [6] Persson H. The distribution and productivity of fine roots in boreal forests [J]. *Plant and Soil*, 1983, 71: 87~101
- [7] Li Linghao, Lin Peng, Xing Xuerong. Fine root biomass and production of castanopsis eyrei forests in Wuyi Mountains [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1998, 9 (4): 337~340[李凌浩, 林鹏, 邢雪荣. 武夷山甜槠林细根生物量和生长量研究 [J]. *应用生态学报* 1998, 9 (4): 337~340]
- [8] McKugherty C A, Aber J D. The Role of Fine Roots in the Organic Matter and Nitrogen Budgets of Two Forested Ecosystems [J]. *Ecosystems* 1982, 63 (5): 1 481~1 490
- [9] Vogt K A, Grier C C, Vogt D J. Production turnover and nutrient dynamics of above-and-below ground detritus of world forest [J]. *Advanced Ecology Research*, 1986, 15: 303~307
- [10] Goldfarb D, Hendrick R, Pregitzer K. Seasonal nitrogen and carbon concentration in white, brown and woody fine roots of sugar maple (*Acer saccharum* Marsh) [J]. *Plant and Soil*, 1990, 126: 144~148
- [11] Robinson C H, Kirkham J B, Littlewood R. Decomposition of root mixtures from high arctic plants: a microcosm study [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1999, 31: 1 101~1 108.

- [12] Roy S. Singh J.S. Seasonal and spatial dynamics of plant-available N and P pools and N-mineralization in relation to fine roots in a dry tropical forestry habitat [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1995, **27**: 33~40
- [13] Russ R W, Cleve K, Yarie J, *et al.* Contribution of fine root production and turnover to the Carbon and Nitrogen cycling in Taiga forestry of the Alaskan Interior [J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 1996, **26**: 1326~1336
- [14] Thonup-Kristiina K, Riki B. Temporal and spatial root development of cauliflower (*Brassica oleracea L. var botrytis L.*) [J]. *Plant and Soil*, 1998, **201**: 37~47
- [15] Shan Jianping, Tao Dalí, Wang Miao, *et al.* Fine roots turnover in a broad-leaved Korean Pine Forest of Ahangbai Mountain [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1993, **4** (3): 241~245 [单建平, 陶大立, 王淼, 等. 长白山阔叶红松林细根周转的研究 [J]. 应用生态学报, 1993, **4** (3): 241~245]
- [16] Liao Liping, Chen Chuying, Zhang Jiawu. Turnover of fine roots in pure and mixed cunninghamia lanceolata and michelia macclurei forests [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1995, **6** (1): 7~10 [廖利平, 陈楚莹, 张家武, 等. 杉木、火力楠纯林及其混交林细根周转的研究 [J]. 应用生态学报, 1995, **6** (1): 7~10]
- [17] Shi Peilí, Zhong Zhangcheng, Li Xuguang. A study on system of Alder and Cypress mixed. *Plantation* [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1996, **16** (6): 623~631 [石培礼, 钟章成, 李旭光. 桤柏混交林根系的研究 [J]. 生态学报, 1996, **16** (6): 623~631]
- [18] Lin Yiming, Lin Peng, Yang Zhiwei. A study on fine root turnover [J]. *Journal of Xiamen University (Natural Science)*, 1998, **37** (3): 429~435 [林益明, 林鹏, 杨志伟. 绿竹林细根周转的研究 [J]. 厦门大学学报, 1998, **37** (3): 429~435]
- [19] Wen Dazhi, Wei Ping, Kong Guohui, *et al.* Production and Turnover Rate of fine roots in two lower Subtropical Forest at Dinghushan [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 1999, **23** (4): 361~369 [温达志, 魏平, 孔国辉, 等. 鼎湖山亚热带森林细根生产力与周转 [J]. 植物生态学报, 1999, **23** (4): 361~369]
- [20] Liao Liping, Yang Yuejun, Wang Silong, *et al.* distribution, decomposition and nutrient return of the fine root in pure cunninghamia lanceolata michelia macclurei and the mixed plantations [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, **19** (3): 342~346 [廖利平, 杨跃军, 汪思龙, 等. 杉木、火力楠纯林及其混交林细根分布、分解及养分归还 [J]. 生态学报, 1999, **19** (3): 342~346]
- [21] Liao Liping, Gao Hong, Yu Xiaojun, *et al.* Nutrient retranslocation in fine roots michelia macclurei, Alnus cremastogyne and Kalopanax septemlobum in the mixed Plantations; A pilot study [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, **11** (2): 161~164 [廖利平, 高洪, 于小军, 等. 人工混交林中杉木、桤木和刺楸细根养分迁移的初步研究 [J]. 应用生态学报, 2000, **11** (2): 161~164]
- [22] Li Peizhi, Fan Shihua, Wang Lihua, *et al.* Productivity and Turnover of fine roots in poplar tree and grass roots [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, **12** (6): 829~832 [李培芝, 范世华, 王力华, 等. 杨树细根及草根的生产力与周转 [J]. 应用生态学报, 2001, **12** (6): 829~832]
- [23] Zhai Mingpu, Jiang Sannaí, Jia Liming. Fine-root dynamics in mixed plantation of Poplar and Black Locust [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2002, **24** (5/6): 39~44 [翟明普, 蒋三乃, 贾黎明. 沙地杨树刺槐混交林细根动态 [J]. 北京林业大学学报, 2002, **24** (5/6): 39~44]
- [24] Shi Jipu, Tang Jianwei. Fine root dynamics of several types of tropical communities in Xishuangbanna [J]. *Guihaia*, 2002, **22** (6): 509~512 [施济普, 唐建维. 西双版纳不同热带森林群落土壤表层的细根年动态 [J]. 广西植物, 2002, **22** (6): 509~512]
- [25] Zhu Hua. The tropical rain forest vegetation in Xishuangbanna [J]. *Tropical Geography*, 1999, **10** (3): 233~240 [朱华. 西双版纳的热带雨林植被 [J]. 热带地理, 1999, **10** (3): 233~240]
- [26] Zheng Zheng, Liu Hongmao, Liu Lunhui, *et al.* A study on biomass of the primary tropical Seasonal Rain Forest in Xishuangbanna [J]. *Guihaia*, 1999, **19** (4): 309~314 [郑征, 刘宏茂, 刘伦军, 等. 西双版纳原始热带季节雨林生物量研究 [J]. 广西植物, **19** (4): 309~314]
- [27] Shan Jianping, Tao Dalí. Overseas researches on tree fine root [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 1992, **11** (4): 46~49 [单建平, 陶大立. 国外对树木细根的研究动态 [J]. 生态学杂志, 1992, **11** (4): 46~49]
- [28] Santantonio D. Seasonal dynamics of fine roots in mature stands of Douglas Fir of different water regiones—A preliminary report [A]. In: Reidacker A, *et al.* Symposium of Root Physiology and Symbiosis. Seichamps [C]. France: Centre Nationale de Recherches Forestieres, 1978. 190~203
- [29] Gholz H L. Organic matter dynamics of fine roots in plantations of slash pine in north Florida [J]. *Canadian journal of forest research*, 1986, **16**: 529~538
- [30] Olson J S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems [J]. *Ecology*, 1963, **44**: 323~331
- [31] Wen Dazhi, Wei Ping, Zhang Youchang, *et al.* Dry mass loss and chemical changes of the decomposed fine roots in three China subtropical forests at Dinghushan [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 1998, **17** (2): 1~6 [温达志, 魏平, 张佑昌, 等. 鼎湖山亚热带森林细根分解干物质损失和元素动态 [J]. 生态学杂志, 1998, **17** (2): 1~6]
- [32] Persson H. Root dynamics in a young Scots Pine stand in central Sweden [J]. *Oikos*, 1978, **30**: 508~519
- [33] Zheng Zheng, Liu Lunhui, He Aijun, *et al.* litterfall and Leaf consumption by animals in humid seasonal rainforest in Xishuangbanna, China [J]. *Acta Botanica Sinica*, 1990, **32** (7): 551~557 [郑征, 刘伦辉, 和爱军, 等. 西双版纳湿性季节雨林凋落物和叶虫食量研究 [J]. 植物学报, 1990, **32** (7):

- 551~557]
- [34] Marshall J D, Waring R H. Predicting fine root production and turnover by monitoring root starch and soil temperature [J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 1985, **15**: 781~800
- [35] Joslin J D, Henderson G S. Organic matter and nutrient associated with fine root turnover in a White Oak stand [J]. *Forest Science*, 1987, **33** (2): 330~346
- [36] Santantonio D, Hermann R K, Overton W S. Root biomass studies in forest ecosystems [J]. *Pedobiologia*, 1977, **17** (1): 27~31
- [37] Kolesnikov V A. Cyclic renewal of roots in fruit plants [A]. In: Chilarov L N *et al.* *Methods of Productivity Studies in Root System and Rhizosphere Organisms* [C]. Nauka: Leningrad, 1968. 102~106

Fine Roots Turnover of Tropical Seasonal Rain Forest in Xishuangbanna, Yunnan, SW China

FANG Qiulan^{1,2}, SHA Liqing¹

(1. *Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, The Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, China;*
2. *Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*)

Abstract: Xishuangbanna, with remarkable seasonal climate variations, is located in the north edge of tropical rain forest in the world. The tropical rain forest there is different from those in other tropical regions. One-year measurement of fine roots turnover was carried out in a tropical seasonal rain forest in Nature Reserve (21°57'N, 101°12'E), 5 km away from Xishuangbanna Tropical Botanical Garden in Xishuangbanna, Yunnan.

The objectives of this study are: (1) to measure the biomass of live and dead fine roots (diameter ≤ 2 mm) at the depth of 0~20 cm in soil, (2) to compare fine roots biomass at the depth of 0~10 cm and 10~20 cm, (3) to calculate decomposition, mortality, production and turnover rate of fine roots.

Soil corer was used to investigate the biomass of live and dead fine roots. A traditional method of nylon litter bag was used to measure the decomposition and percentage of dry mass loss of fine roots. Based on one-year data and McClaugherty's formulas, we calculated production and turnover rate of fine roots.

The results showed that (1) The mean biomass of fine roots at the depth of 0~20 cm was 6 125 kg \cdot hm⁻², the mean biomass of live and dead fine roots were 5 418 kg \cdot hm⁻² and 707 kg \cdot hm⁻², respectively (88.46% and 11.54% of total, respectively). Fine roots biomass at the depth of 0~10 cm was higher than that of 10~20 cm ($P < 0.01$), which was similar to other regions in the world. (2) The biomass of live fine roots was maximum in May and minimum in August. (3) Based on the theory of Olson, the relationship between leftover after decomposition and decomposition time was negative correlation, calculated decomposition coefficient (k) and percentage of dry mass loss (R) were 0.001 9 and 49.01%, respectively. (4) Decomposition, mortality, production and turnover rate were 391 kg \cdot hm⁻², 1 061 kg \cdot hm⁻², 3 776 kg \cdot hm⁻² and 0.70 times \cdot a⁻¹, respectively.

Key words: Xishuangbanna; tropical seasonal rain forest; fine roots; biomass; turnover rate