

鼎湖山季风常绿阔叶林粗死木质残体的研究

唐旭利 周国逸* 周霞 温达志 张倩媚 尹光彩

(中国科学院华南植物研究所, 广州 510650)

摘要 在3次样地调查的基础上对鼎湖山季风常绿阔叶林内粗死木质残体的贮量、输入量进行了研究,并通过比较林窗范围内土壤养分含量,初步评述了粗死木质残体在森林生态系统养分循环中的作用。研究结果表明:1)季风常绿阔叶林粗死木质残体的贮量为 $25.278 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,立木、倒木、大枝所占的比例分别为 32.02%、49.62% 和 18.36%; 2)1994~1999 年间群落的死亡率为 $2.4\% \cdot \text{a}^{-1}$,死亡个体以胸径小于 5 cm 的为主,粗死木质残体的平均输入量为 $4.128 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$; 3)倒木主体所在的样方土壤有机质和速效钾的含量较高。

关键词 粗死木质残体 贮量 输入量 死亡率 季风常绿阔叶林 鼎湖山自然保护区

COARSE WOODY DEBRIS IN MONSOON EVERGREEN BROAD-LEAVED FORESTS OF DINGHUSHAN NATURE RESERVE

TANG Xu-Li ZHOU Guo-Yi* ZHOU Xia WEN Da-Zhi ZHANG Qian-Mei and YIN Guang-Cai

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

Abstract Coarse woody debris (CWD) plays important roles in forest structure and biogeochemical element fluxes between different parts within forest ecosystem, and affects the abundance and distribution of many organisms. Compared with the similar studies in temperate and tropical rain forest, CWD storage, annual increment, its structure and ecological functions are poorly documented in monsoon evergreen broad-leaved forests (MEBF) near the tropic of cancer. In this paper, the amount of storage, annual increment of CWD was quantified in an old-growth MEBF at the Dinghushan Nature Reserve, South China. Based on inventory of all trees in a 1-ha permanent plot carried out in 1992, 1994, and 1999, we calculated CWD storage of this community. For sound standing and fallen dead tree, their stocks were separately calculated for bole, branch, leaf, and root using respective regression equations. For stumps, the stocks were calculated based on their volume and average density. Annual increment of CWD for MBEF in the duration from 1992 to 1999 was approximately estimated by calculating the average value of CWD storage increment between two close inventories correspondingly. We also analyzed soil nutrient conditions in a gap to discuss CWD roles in the forest nutrient cycling. Soil samples were collected in 5 subplots (20 m \times 20 m for each) in the gap area, numbered as No. 7, 11, 12, 13, and 17, respectively, analyzing soil organic matter, available N, P, K and total N.

The results showed as follows: 1) standing CWD storage in MBEF amounted to $25.278 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, of which standing dead boles (snags), fallen boles, large branches were $8.094 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, $12.544 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, and $4.64 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, respectively; 2) *Castanopsis chinensis* was the main contributor to CWD pool, which accounted for 29.95% of the total CWD storage in MBEF, then followed by *Cryptocarya concinna*, *Aporosa yunnanensis*, and *Acmena acuminatissima*, with the percentage of 26.39%, 3.87%, and 2.80%, respectively; 3) the average annual mortality rate during 1994–1999 was 2.4%, and the average annual increment of CWD in MBEF was $4.128 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, and 4) soil organic matter and available K in sub-plot 12 were the highest of all the 5 subplots, while the highest available N and P and total N occurred in sub-plot 11.

Key words Coarse woody debris, Storage, Annual increment, Average mortality rate, Monsoon evergreen broad-leaved forest, Dinghushan Nature Reserve

粗死木质残体 (Coarse woody debris, CWD) 是指森林生态系统中直径大于 2.5 cm 的木质物质,包括枯立木、倒木和大枝 (李凌浩等, 1996; 1998; 1999; Harmon & Chen, 1991; 赵秀海等, 2000)。它们是森林

生态系统中重要的结构性和功能性组成要素 (侯平等, 2001), 具有减少水土流失、影响土壤发育、储存水分和营养元素、供给物流和能流, 为动植物提供生境等功能 (李凌浩等, 1996)。

收稿日期: 2002-04-09 接受日期: 2002-08-15

基金项目: 国家杰出青年基金 (39928007)、科技部 973 前期资助项目 (2001CCB00600) 及中国科学院创新资助项目 (KZCX2-407) 中国科学院鼎湖山森林生态系统定位站的十多位同志提供帮助, 特此致谢!

* 通讯作者 Author for correspondence E-mail: gyzhou@scib.ac.cn, xltang@scib.ac.cn

尽管早在 1925 年美国学者 Graham 就提出“倒木是森林生态系统中的一个重要生态单位”,但长期以来的林业经营模式使人们往往忽略了 CWD,20 世纪 80 年代后期,特别是 90 年代以来,随着可持续发展战略的提出,CWD 才引起人们的高度重视。对 CWD 的研究主要集中在美国、加拿大、欧洲的一些国家,在巴西、阿根廷、新西兰、马来西亚等国也有研究(李凌浩等,1996;1998;侯平,2001)。目前对世界上不少森林类型,尤其是欧洲和北美的温带森林,以及南美热带森林粗死木质残体的贮量、动态和功能均已进行了研究(Harmon, 1987; Harmon & Chen, 1991; Lieberman & Lieberman, 1985; Franklin *et al.*, 1987)。

国内这方面的研究工作相对滞后,目前仅对长白山阔叶红松(*Pinus koraiensis*)林(陈华等,1991;1992;赵秀海,1995)、巴山冷杉(*Abies fargesii*)林(李凌浩等,1996)、甜槠(*Castanopsis eyrei*)林(李凌浩等,1998)、哀牢山(刘文耀等,1995)粗死木质残体的某些性质和功能进行了研究。我国热带亚热带地区,仅在武夷山甜槠林(李凌浩等,1998)和哀牢山中山湿性常绿阔叶林(刘文耀等,1995)中有少量报道。温达志等(1998)在鼎湖山典型的季风常绿阔叶林中,曾对粗死木质残体作过报道。本文围绕鼎湖山季风常绿阔叶林粗死木质残体的贮量、输入量进行研究,并以倒木附近土壤养分为出发点探讨粗死木质残体在森林生态系统养分循环中的作用,以填补本区域此方面的空白。

1 研究地概况

1.1 季风常绿阔叶林概况

研究地点位于广东省中部鼎湖山自然保护区,东经 $112^{\circ}30'39'' \sim 112^{\circ}33'41''$,北纬 $23^{\circ}09'21'' \sim 23^{\circ}11'30''$ 。属亚热带季风湿润型气候,年均气温 21°C ,年降雨量 1929 mm,干湿季明显,4~9 月为雨季,11 月至翌年 1 月为旱季。土壤发育与砂岩母质上的赤红壤,厚度一般为 60~90 cm,表层有机质含量 $29.4 \sim 42.7 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。I 号永久样地位于保护区核心区内的三宝峰,坡向东北,海拔 270~300 m,坡度 $26^{\circ} \sim 33^{\circ}$,局部可达 40° 。植被类型为亚热带地区较为典型的季风常绿阔叶林(又称低山常绿阔叶林),已有近 400 年的历史。

季风常绿阔叶林现有维管束植物 79 科,131

属,196 种。其中蕨类植物 15 科,19 属,22 种;裸子植物 1 科 1 属 2 种;被子植物 63 科 111 属 172 种。在种类组成上,以木本类群具有绝对优势,占总数的 62.75%(乔木 47.45%,灌木 15.30%);藤本植物和蕨类植物分别占 21.43% 和 11.22%;草本种子植物相对较少。群落层次结构复杂,可划分为 5 个层次(乔木 3 层、灌木层和草本层)乔木层的优势种包括锥栗(*Castanopsis chinensis*)、黄果厚壳桂(*Cryptocarya concinna*)、云南银柴(*Aporosa yunnanensis*)、荷木(*Schima superba*)、厚壳桂(*Cryptocarya chinensis*)、臀形果(*Pygeum topengii*)、黄杞(*Engelhartia roxburghiana*);灌木层以柏拉木(*Blastus cochinchinensis*)、九节(*Psychotria rubra*)和罗伞树(*Ardisia quinqueгона*)等占优势(孔国辉等,1998)。

1.2 林窗概况

1997 年底到 1998 年初位于 7 号样方内 1 株胸径为 76.4 cm,高度为 35.0 m,枝下高为 8.0 m,冠幅 $8.0 \text{ m} \times 6.0 \text{ m}$,处于枯立状态的锥栗由于腐烂倒伏(倒伏方向为东北)而形成林窗。林窗主要位于 12 号样方,坡向东北,形状为不规则冠空隙(CG)面积为 270.65 m^2 ,扩展林窗的面积为 393.35 m^2 ¹⁾。林窗形成后,与之有联系的 7、11、12、13、17 五个样方中共有 55 株树死亡,其中倒木 23 株,立木 32 株,分布状况如图 1 所示。锥栗倒木主体位于 12 号样方,长 11.15 m,中央直径约为 66 cm,周围还有中央直径 > 20 cm,长度 > 2 m 的残干 5 根。该锥栗的根桩位于

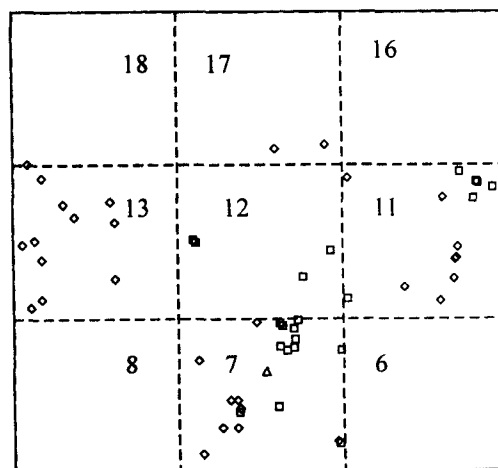


图 1 林窗范围内死亡树木分布示意图

Fig.1 Map of large treefall gap

□: 倒木 Fallen (Dead) ◇: 枯立木 Standing (Dead) △: 倒伏的锥栗 The fallen *Castanopsis chinensis*

1) 梁晓东. 2001. 鼎湖山林窗生境变化与物种生理生态响应的研究. 中国科学院华南植物研究所硕士学位论文.

7 号样方,立枯,高约 4 m,基部直径 102.8 cm, 1.3 m 处直径为 73.2 cm。

2 研究方法

2.1 粗死木质残体的贮量采用样地调查法

参照文献(Dallmeier, 1992),于 1992 年 11 月将原有的 2 000 m² 样地扩展为 1 hm² 的永久样地,并划分为 25 个 20 m × 20 m 的 II 级样方,每个 II 级样方又分为 16 个 5 m × 5 m 的小样方。对 1 hm² 样地内所有胸高直径(DBH) ≥ 1 cm 的植株编号、挂牌作永久标记后进行测树指标调查(分别于 1994 年 11 月和 1999 年 11 月进行了两次复查),同时对样地中所有直径 ≥ 2.5 cm,长 ≥ 1.0 m 的枯立木、倒木、残干、残枝进行测量和记录,内容包括树种、大头(基部)直径、中央直径、小头(尾部)直径、残干长度。对形状不规则或部分分解的残干、残枝,则根据外形先将整条残干分为若干段,再按上述方法测量,排水法测量其密度。对结构完整的枯立木和倒木,其贮量按照温达志等(1998)推算的回归方程(表 1)估算。

表 1 估算死木量的回归方程
Table 1 Equations for mass estimation of dead trees

树木组分 Component	回归方程 Regression equation	相关系数 Correlation coefficient
干 Bole	$W = 0.0742 DBH^{2.5670}$	0.978
枝 Branch	$W = 0.0189 DBH^{2.4400}$	0.850
叶 Leaf	$W = 0.0231 DBH^{2.0820}$	0.710
根 Root	$W = 0.0281 DBH^{2.5420}$	0.930

W: 贮量 Storage (kg) DBH: 胸高直径 Diameter at breast height (cm)

残枝、残干贮量由体积(V)和对应的密度(D)的乘积计算得到:

$$W = V \times D$$

式中 W 为贮量(kg), V 为体积(m³), D 为密度(kg·m⁻³),残枝、残干体积的计算采用下式:

$$V = \frac{G_b + G_e}{2} \times L \quad \text{或} \quad V = G_m \times L$$

式中 G_b 、 G_e 、 G_m 分别为残枝、残干的基部断面积、尾部断面积、中央断面积(单位:m²), L 为残枝、残干的长度(单位:m)。

2.2 粗死木质残体输入量的估算

粗死木质残体的输入量又称作增枯量,一般用单位时间单位面积内 CWD(包括倒木、立木和大枝)的增加量表示(代力民, 1994; 李凌浩等, 1996; 1998)。输入量的年变化较大,某一年度内的树木死亡量通常需要当年测定,但是一般很难做到这一点

(李凌浩等, 1996; 1998; Lieberman & Lieberman, 1985)。通常的做法是建立固定样地,在样地调查的基础上用还原法求得不同年份的死亡量,从而粗略地估算粗死木质残体的年平均输入量。

结合 1994 年 11 月和 1999 年 11 月两次样地复查的结果,根据死木量回归方程估算两个时间段的粗死木质残体贮量, CWD 的差值除以时间间隔即为该时间段的平均输入量。计算公式如下:

$$\Delta W = (W_{t_2} - W_{t_1}) / (t_2 - t_1)$$

式中 ΔW 为 CWD 的输入量, W_{t_1} 、 W_{t_2} 分别为 t_2 和 t_1 时间对应的 CWD 贮量。

大枝输入量采用凋落物中枝年凋落物量的平均值。枝凋落量数据引自鼎湖山森林生态系统定位站长期观测数据,具体方法见文献(温达志等, 1998)。

2.3 土壤养分测定

在 2000 年 11 月,选择林窗覆盖范围内的 7、11、12、13、17 号 II 级样方(20 m × 20 m),用内径 5.68 cm 的土钻在每个小样方(5 m × 5 m)内沿对角线分别钻取 5 个 0 ~ 30 cm 深的土壤样本。之后,剔除土壤以外的侵入体(如植物的残根,昆虫的尸体和石块)和新生体(铁锰结核和石灰结核等),风干、混匀、磨细、过筛,供化学分析。

土壤养分共 5 项指标,即有机质、铵态氮、全氮、速效磷、速效钾,分别用重铬酸钾氧化-容量法、氯化钾-靛酚蓝比色法、半微量凯氏法、碳酸氢钠-钼锑抗比色法、乙酸铵浸提-火焰光度法测定,具体方法见文献(刘光崧, 1996)。

3 结果与分析

3.1 粗死木质残体贮量和组成

由表 2 可见,季风常绿阔叶林粗死木质残体贮量为 25.278 t·hm⁻²,较福建武夷山甜槠林(北纬 27°33' ~ 27°54', 7.349 t·hm⁻²)高,比云南哀牢山中山湿性常绿阔叶林(北纬 24°32', 98.46 t·hm⁻²)低。

从形态组成看,1994 ~ 1999 年期间共死亡树木 450 株,直径 ≥ 2.5 cm 的 185 株,其中 120 株以枯立的形式存在。1 hm² 样地中立木贮量为 8.094 t,倒木贮量为 12.544 t,大枝贮量为 4.64 t,分别占总贮量的 32.02%、49.62% 和 18.36%。可见,倒木在粗死木质残体形态组成中居第一位,其次为立木,大枝则相对较少。这一结果与年龄较小的甜槠林相反,和哀牢山原生中山湿性常绿阔叶林一致。

在种类组成方面,以锥栗、黄果厚壳桂占优势,分别占总贮量的 29.95% 和 26.39%,其次是云南银

柴和肖蒲桃, 所占比例分别为 3.87% 和 2.80%, 其余树种占 18.63%。

表 2 粗死木质残体的组成与贮量
Table 2 Storage and composition of the CWD

树种 Species	状态 State	数量 Density (No·hm ⁻²)	贮量 Storage (t·hm ⁻²)
黄果厚壳桂	立木 Standing	34	5.31
<i>Cryptocarya concinna</i>	倒木 Fallen	10	1.36
肖蒲桃	立木 Standing	3	0.067
<i>Acmena acuminatissima</i>	倒木 Fallen	2	0.642
云南银柴	立木 Standing	42	0.718
<i>Aporosa yunnanensis</i>	倒木 Fallen	17	0.259
锥栗	倒木 Fallen	1	7.57
<i>Castanopsis chinensis</i>			
其它种	立木 Standing	51	1.999
Other species	倒木 Fallen	35	2.713
	大枝 Large branch		4.64
	总计 Total		25.278

大枝贮量为 1995~1999 年的平均值 Storage of large branch is the average value of 1995-1999

从径级分布看, 大多数死亡个体直径都在 5.0 cm 以下, 在贮量上并不占优势。但是, 大径级个体数虽少, 在贮量上的贡献却较前者大得多(表 3)。

表 3 5 年间隔期内 CWD 的状况
Table 3 Status of the CWD during 5 years

径级 DBH class (cm)	株数 Density (N·hm ⁻²)	贮量 Storage (t·hm ⁻²)	占总量的比例 Percentage(%)
2.5~5.0	99	0.837	3.31
5.0~10.0	38	0.778	3.08
10.0~15.0	21	1.629	6.44
15.0~20.0	9	1.571	6.21
20.0~25.0	8	2.869	11.35
25.0~30.0	8	4.541	17.96
≥30.0	2	8.412	33.28

据报道, 林下小径级死亡木主要来源于林内庇荫环境下林分生长竞争以及大树倾倒覆盖引起机械损伤致死(Lieberman & Lieberman, 1985; Spetich *et al.*, 1999)。从我们的调查数据看, 前者是产生大量小径级死亡木的主要原因, 但高大老龄乔木的倾倒覆盖也不容忽略。例如, 21 号样方 1 株胸径为 32.8 cm, 高 17.0 m 的臀形木死亡后连根倒下, 周围 14 株树因此而死亡成倒伏状态, 它们的平均胸径为 3.5 cm。

3.2 粗死木质残体的输入量

1999 年季风常绿阔叶林永久样地的调查结果

表明, 样地内共有死树 839 株, 其中直径 < 2.5 cm 的 399 株, 占 47.5%, 直径 ≥ 2.5 cm 的 440 株, 占死亡总数的 52.44%。本次和前 1 次复查间隔 5 年中(1994 年 11 月~1999 年 11 月), 共死亡树木 450 株, 死亡率为 2.4%·a⁻¹, 稍高于前一个时间间隔期(1992 年 11 月~1994 年 11 月)的死亡率 2.1%·a⁻¹(温达志等, 1998)。死亡树木主要以小径级个体(< 5 cm)为主, 与 1992~1994 年的结果一致。

5 年间隔期内死木增量为 20.64 t, 即每年因死亡有 4.128 t·hm⁻²的活物质转化为死木残体。这个结果远大于阔叶红松林(1.23 t·hm⁻²·a⁻¹)和巴山冷松林(1.88 t·hm⁻²·a⁻¹), 也大于亚热带甜槠林(1.43 t·hm⁻²·a⁻¹)和加纳热带雨林(3.48 t·hm⁻²·a⁻¹)(表 2), 大约是上个时间间隔(2.2 t·hm⁻²·a⁻¹)的 2 倍。据肇庆市气象局资料, 此期间内有较大影响的台风发生频率为 2.8 次·a⁻¹, 灾害天气加速了某些大径级衰老个体的死亡, 因此死木量远大于前一个时间间隔。

综合 3 次样地调查资料, 1992~1999 年间鼎湖山季风常绿阔叶林的平均死亡率为 2.2%·a⁻¹, CWD 的年均输入量 3.55 t·hm⁻²·a⁻¹。与其它森林类型比较, 这一结果仍然较高, 是同属亚热带的福建武夷山甜槠林的 2.5 倍, 可见群落的组成和年龄的区别是引起差异的主要原因。虽然甜槠林和鼎湖山季风常绿阔叶林都是成熟林, 前者林龄约 80 年, 后者为 400 年左右。其它研究结果表明, 森林中 CWD 的数量由于受干扰和林木发育两个过程共同作用的影响, 呈“U”型变化, 即 CWD 的数量在演替初期较高, 成熟阶段较低, 到了老龄阶段又达到较高的水平(Tyrrell & Crow, 1994; McCarthy & Bailey, 1994; Spetich *et al.*, 1999; Sturtevant, 1997)。本群落有较多的高大衰老树木, 更易受到灾害性天气的影响, 在一定程度上增加了 CWD 的输入。

3.3 粗死木质残体的生态功能

研究表明 CWD 作为一个重要的营养库, 起着促进生物多样性的保育与森林生态系统演替等方面的重要作用(侯平等, 2001)。就营养库功能而言, 大量研究表明, CWD 有利于维持森林生态系统养分循环的稳定, 从而增强系统抗干扰的能力, 随着 CWD 的缓慢分解释放养分, 生态系统又逐渐得以恢复(赵秀海等, 2000; 李凌浩等, 1996; 1998; Lieberman & Lieberman, 1985; Harmon & Chen, 1991; Franklin *et al.*, 1987; Stewart & Burrows, 1994; Barber & Vanlear, 1984; 陈华等, 1992; 杨丽韞等, 2002)。

表 4 不同森林群落的 CWD 输入量
Table 4 Annual CWD increment in various forest ecosystem

森林类型 Forests type	地点 Location	CWD 输入量 Input (t·hm ⁻² ·a ⁻¹)	资料来源 Reference
阔叶红松林 Broad-leaved Korean pine forest	吉林长白山 Changbai Mountains	1.23	陈华等(1991)
巴山冷杉林 <i>Abies fargesii</i> forest	陕西秦岭 Qingling Mountains	1.88	李凌浩等(1996)
红松阔叶林 Korean pine broad-leaved forest	吉林长白山 Changbai Mountains	0.66	陈华等(1991)
甜槠林 <i>Castanopsis eyrei</i> forest	福建武夷山 Wuyi Mountains	1.43	李凌浩等(1998)
亚马逊雨林 Amazon rain forest	巴西 Brazil	1.4	Vogt 等(1986)
热带湿润森林 Tropical moist forest	哥伦比亚 Columbia	2.3	Vogt 等(1986)
热带雨林 Tropical rain forest	象牙海岸 Ivory Coast	2.01	Vogt 等(1986)
低谷热带雨林 Lowland rain forest	新几内亚 Papua New Guinea	1.2	Vogt 等(1986)
热带雨林 Tropical rain forest	加纳 Ghana	3.48	Vogt 等(1986)

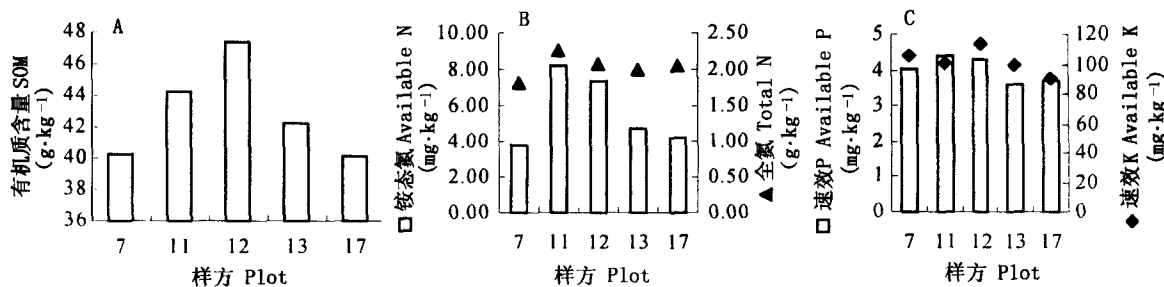


图 2 林窗范围内 5 个样方土壤养分示意图
Fig.2 Contents of soil nutrients in different plots
SOM: Soil organic matter

实验结果表明,林窗范围内的 5 个样方土壤有机质的含量依次为: 12 号样方(47.4 g·kg⁻¹) > 11 号样方(44.3 g·kg⁻¹) > 13 号样方(42.3 g·kg⁻¹) > 7 号样方(40.3 g·kg⁻¹) > 17 号样方(40.1 g·kg⁻¹)(图 2A)。速效钾的含量最高的也是 12 号样方(113.3 mg·kg⁻¹)。铵态氮、全氮和速效磷的含量均以 11 号样方最高,分别为 81.71 mg·kg⁻¹、2.26 g·kg⁻¹和 4.4 mg·kg⁻¹(图 2B、C),其次为 12 号样方。

林窗形成后,生境因子(诸如:光照条件、水热等)的强烈变化是引起土壤养分发生变化的另一个原因(安树青等,1997;吴宁,1999)。对该林窗生境因子的测定表明,林窗内光照增加、土壤及空气温度升高、空气相对湿度减小¹⁾。而土壤表面光照的增加,将会增加有机质的分解速率和土壤营养元素的有效性(Canham & Marks, 1985),林下郁闭阴湿的条件是不利于土壤微生物活动和各种生化反应的进行(臧润国等,1999),由此说明林窗内较林下更有利于地表凋落物的分解,在枯落物充足的情况下,将增加林窗内土壤有机质和 N、P、K 等主要营养元素的含量。而 12 号样方是林窗的主体,其生境因子的变化较其它样方明显;并积累了大量的倒木残留物,由于上述原因土壤元素的有效性将增加。这些土壤养分

可能部分地迁移到位于其正下方 11 号样方内,并在这里大量累积。

4 小结

1) 鼎湖山季风常绿阔叶林粗死木质残体的贮量为 25.278 t·hm⁻²,其中立木、倒木、大枝的贮量分别为 8.094、12.544、4.64 t,分别占总贮量的 32.02%、49.62%和 18.36%。粗死木质残体不同形态组成部分对总贮量的贡献与哀牢山中山性原生植被的情况一致,与同属亚热带林龄较小(约 80 年)的甜槠林相反。

2) 1994 ~ 1999 年期间群落的死亡率为 2.4%·a⁻¹,与前一时间间隔的结果 2.1%·a⁻¹一致,450 株死亡个体中直径 ≤ 5 cm 的占 80.89%,与前一阶段的结果吻合。5 年时间间隔内粗死木质残体的贮量增加了 20.64 t, CWD 的平均输入量 4.128 t·hm⁻²·a⁻¹,高于前一时间段的结果 2.2 t·hm⁻²·a⁻¹。综合 1992 ~ 1999 3 次调查的结果,此间群落的死亡率为 2.2%·a⁻¹,CWD 的年均输入量为 3.55 t·hm⁻²·a⁻¹。

3) 比较林窗范围内 7、11、12、13、17 五个样方土壤有机质及 N、P、K 含量,结果表明存在倒木主体的

1) 梁晓东. 2001. 鼎湖山林窗生境变化与物种生理生态响应的研究. 中国科学院华南植物研究所硕士学位论文.

12 号样方土壤有机质和速效 K 的含量较其它样方高, 而土壤铵态 N、全 N 和速效 P 都以位于 12 号样方下部地势稍低的 11 号样方含量最高。

参 考 文 献

- An, S. Q. (安树青), B. G. Hong (洪必恭), C. Y. Li (李朝阳), Y. Zhang (张亚) & Z. L. Liu (刘志李). 1997. Environmental and vegetation studies of the gaps of secondary forest on Zijin mountain. *Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报)*, **8**: 245 ~ 249. (in Chinese with English abstract)
- Barber, B. L. & D. H. Vanlear. 1984. Weight loss and nutrient dynamics in decomposing woody loblolly pine logging slash. *Soil Science Society of American Journal*, **48**: 906 ~ 910.
- Canham, C. D. & P. L. Marks. 1985. The response of woody plants to disturbance: patterns of establishment and growth. In: Pickett, S. T. A. & P. S. White eds. *The ecology of natural disturbance and patch dynamics*. London: Academic Press. 198 ~ 216.
- Chen, H. (陈华) & H. E. Harmon. 1992. Dynamic study of coarse woody debris in temperate forest ecosystems. *Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报)*, **3**: 99 ~ 104. (in Chinese with English abstract)
- Dai, L. M. (代力民). 1994. Decomposition and storage models of fallen tree and nutrient dynamics of decomposition in Korean pine-deciduous mixed forest. *Acta Ecologica Sinica (生态学报)*, **14** (Suppl.): 1 ~ 7. (in Chinese with English abstract)
- Dallmeier, F. 1992. Long-term monitoring of biological diversity in tropical forest areas: methods for establishment and inventory of permanent plots. *MAB Digest*, **11**: 72.
- Franklin, J. R., H. H. Shugart & M. E. Harmon. 1987. Tree death as an ecological process: the cause, conquest, and variability of tree mortality. *BioScience*, **37**: 550 ~ 556.
- Harmon, M. E. & H. Chen. 1991. Coarse woody debris dynamics in two old-growth ecosystem comparing a deciduous forest in China and a conifer forest in Oregon. *BioScience*, **41**: 604 ~ 610.
- Harmon, M. E. 1987. Coarse woody debris in mixed-conifer forest, Sequoia National Park, California. *Canadian Journal of Forest Research*, **17**: 1265 ~ 1272.
- Hou, P. (侯平) & C. D. Pan (潘存德). 2001. Coarse woody debris and its function in forest ecosystem. *Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报)*, **12**: 309 ~ 314. (in Chinese with English abstract)
- Kong, G. H. (孔国辉), W. H. Ye (叶万辉) & Z. L. Huang (黄忠良). 1998. Long-term monitoring of the lower subtropical evergreen broad-leaved forest in Dinghushan biosphere reserve. I. Species composition of *Castanopsis chinensis*, *Cryptocarya concinna* community and its contribution to the sepsis pool. *Tropical and Subtropical Forest Ecosystem (热带亚热带森林生态系统研究)*, **8**: 1 ~ 6. (in Chinese with English abstract)
- Li, L. H. (李凌浩), X. G. Han (韩兴国) & J. H. Huang (黄建辉). 1999. An introduction to biogeochemistry. Beijing: China Higher Education Press. 98 ~ 111. (in Chinese)
- Li, L. H. (李凌浩), G. D. Dang (党高弟), T. J. Wang (汪铁军) & L. G. Zhao (赵雷刚). 1998. Coarse woody debris in an *Abies fargesii* forest in the Qinling Mountains. *Acta Phytocologica Sinica (植物生态学报)*, **22**: 434 ~ 440. (in Chinese with English abstract)
- Li, L. H. (李凌浩), X. R. Xing (邢雪荣), D. M. Huang (黄大明), C. D. Liu (刘初钿) & J. Y. He (何建源). 1996. Storage and dynamics of coarse woody debris in *Castanopsis eyrei* forest of Wuyi Mountain, with some considerations for its ecological effects. *Acta Phytocologica Sinica (植物生态学报)*, **20**: 132 ~ 143. (in Chinese with English abstract)
- Lieberman, D. & M. Lieberman. 1985. Mortality pattern and stand turnover rates in a wet tropical forest in Costa Rica. *Journal of Ecology*, **73**: 915 ~ 924.
- Liu, G. S. (刘光崧). 1996. Soil physical and chemical analysis and description of soil profiles. In: Jiang, N. H. (蒋能慧), L. D. Zhang (张连第) & Z. L. Liu (刘兆礼) eds. *Standard methods for observation and analysis in Chinese Ecosystem Research Network*. Beijing: Standards Press of China. 24 ~ 28. (in Chinese)
- Liu, W. Y. (刘文耀), S. C. Xie (谢寿昌), K. J. Xie (谢克金) & G. P. Yang (杨国平). 1995. Preliminary studies on the litterfall and coarse woody debris in mid-mountain humid evergreen broad-leaved forest in Ailao Mountains. *Acta Botanica Sinica (植物学报)*, **37**: 807 ~ 814. (in Chinese with English abstract)
- McCarthy, B. C. & R. R. Bailey. 1994. Distribution and abundance of coarse woody debris in a managed forest landscape of the central Appalachians. *Canadian Journal of Forest Research*, **21**: 1317 ~ 1329.
- Spetich, M. A., S. R. Shifley & G. R. Parker. 1999. Regional distribution and dynamics of coarse woody debris in midwestern old-growth forests. *Forest Science*, **45**: 302 ~ 313.
- Stewart, G. H. & L. E. Burrows. 1994. Coarse woody debris in old-growth temperate beech (*Nothofagus*) forest of New Zealand. *Canadian Journal of Forest Research*, **24**: 1989 ~ 1996.
- Sturtevant, Br. 1997. Coarse woody debris as a function of age, stand structure, and disturbance in Boreal Newfoundland. *Ecological Applications*, **7**: 702 ~ 712.
- Tyrrell, L. E. & T. R. Crow. 1994. Dynamics of dead wood in old-growth hemlock-hardwood forest of northern Wisconsin and northern Michigan. *Canadian Journal of Forest Research*, **24**: 1672 ~ 1683.
- Vogt, K. A., C. C. Grier & D. J. Vogt. 1986. Production, turnover and dynamics of above- and below-ground detritus of world forests. *Advances in Ecological Research*, **15**: 303 ~ 377.
- Wen, D. Z. (温达志), D. Q. Zhang (张德强), P. Wei (魏平) & G. H. Kong (孔国辉). 1998. Long-term monitoring of the lower subtropical evergreen broad-leaved forest in Dinghushan biosphere reserve. V. Vegetation biomass, coarse woody debris storage and litter dynamics of the community of *Castanopsis chinensis*, *Cryptocarya concinna*. *Tropical and Subtropical Forest Ecosystem (热带亚热带森林生态系统研究)*, **8**: 32 ~ 39. (in Chinese with English abstract)
- Wu, N. (吴宁). 1999. Dynamics of forest gaps in subalpine coniferous forests on the eastern slope of Gongga Mountain. *Acta Phytocologica Sinica (植物生态学报)*, **23**: 228 ~ 237. (in Chinese with English abstract)
- Yang, L. Y. (杨丽韞) & L. M. Dai (代力民). 2002. The decomposition and nutrient content of fallen woods in the Moss-*Pinus koraiensis* dark-conifer forest and north slope of Changbai Mountain. *Acta Ecologica Sinica (生态学报)*, **22**: 185 ~ 189. (in Chinese with English abstract)
- Zang, R. G. (臧润国), J. Y. Liu (刘静艳) & D. F. Dong (董大方). 1999. Gap dynamics and forest biodiversity. Beijing: China Forestry Publishing House. 51 ~ 68. (in Chinese)
- Zhao, X. H. (赵秀海). 1995. Effect of fallen tree on natural regeneration in Korean pine-mixed forest of Changbai Mountain. *Journal of Jilin Forest University (吉林林学院学报)*, **11**: 200 ~ 204. (in Chinese with English abstract)
- Zhao, X. H. (赵秀海), L. M. Dai (代力民) & L. Y. Yang (杨丽韞). 2000. Advance of studies on coarse woody debris. *Journal of Jilin Forest University (吉林林学院学报)*, **16**: 1 ~ 4. (in Chinese with English abstract)

责任编辑: 欧阳 华 责任编辑: 张丽赫