

# 格氏栲天然林与人工林粗木质残体碳库及养分库

杨玉盛<sup>1</sup> 郭剑芬<sup>2</sup> 林 鹏<sup>3</sup> 何宗明<sup>3</sup> 陈光水<sup>1</sup>

(1. 福建师范大学地理科学学院 福州 350007; 2. 厦门大学生命科学学院 厦门 361005; 3. 福建农林大学林学院 福州 350002)

**摘 要:** 福建三明格氏栲天然林及其采伐迹地上营造的 33 年生格氏栲人工林和杉木人工林粗木质残体现存量与季节动态、C 库及养分库的研究表明,格氏栲天然林、人工林和杉木人工林粗木质残体现存量分别为 1.32、0.46 和 0.23 t · hm<sup>-2</sup>。3 种林分粗木质残体现存量的季节变化模式均为夏季 > 冬季 > 秋季 > 春季。格氏栲天然林粗木质残体 C 贮量为 0.78 t · hm<sup>-2</sup>,分别是格氏栲人工林和杉木人工林的 4.11 倍和 7.09 倍;格氏栲天然林粗木质残体 C 库与 2 种人工林间差异显著 ( $P < 0.05$ )。格氏栲天然林、人工林和杉木人工林粗木质残体养分贮量分别为 14.16、2.90 和 0.95 kg · hm<sup>-2</sup>;格氏栲天然林粗木质残体中各种养分贮量均最高。与人工林相比,天然林粗木质残体现存量、C 和养分贮量均最大。

**关键词:** 粗木质残体; 碳库; 养分库; 格氏栲; 杉木; 天然林; 人工林

**中图分类号:** S718.55 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001 - 7488(2005)03 - 0007 - 05

## Carbon and Nutrient Pools of Coarse Woody Debris in a Natural Forest and Plantation in Subtropical China

Yang Yusheng<sup>1</sup> Guo Jianfen<sup>2</sup> Lin Peng<sup>2</sup> He Zongming<sup>3</sup> Chen Guangshui<sup>1</sup>

(1. College of Geography Science, Fujian Normal University Fuzhou350007; 2. College of Life Science, Xiamen University Xiamen361005; 3. Forestry College of Fujian Agriculture and Forestry University Fuzhou350002)

**Abstract:** During the past decades, large-scale natural forests had been converted to fast-growing and high yield commercial plantations to meet the demands for timber, fuel material, and other forest products. Some silvicultural measures, such as planting pure stands, clear cutting and slash burning, were widely applied during this conversion. Yield decline and land deterioration in such disturbed ecosystems had become serious. In this context, the ecological comparisons between natural forests and plantations have special implications for sustainable management. Coarse woody debris (CWD) as an important pool of carbon and nutrients also plays a substantial role in several ecological processes in forest ecosystems. However, few studies on CWD have been conducted in natural and planted forests under same climatic and edaphic conditions in subtropical China. The standing crop and seasonal dynamics of CWD, its carbon and nutrient stocks were studied in a natural forest of *Castanopsis kawakamii* (NF) and adjacent plantations of *C. kawakamii* (CK) and Chinese Fir (*Cunninghamia lanceolata*, CF) in Sanming, Fujian, China. CWD masses were 1.32 t · hm<sup>-2</sup> in the NF, 0.46 t · hm<sup>-2</sup> in the CK and 0.23 t · hm<sup>-2</sup> in the CF respectively. The standing crop of CWD in three forests showed similar seasonal trend as follows: summer > winter > autumn > spring. Carbon storage in CWD of the NF was 0.78 t · hm<sup>-2</sup>, being 4.11 times and 7.09 times as much as that of the CK and the CF, respectively. Significant difference in C stocks of CWD was found between NF and CK (or CF) ( $P < 0.05$ ). Nutrient storage in CWD ranged from 14.16 kg · hm<sup>-2</sup> in the NF to 0.95 kg · hm<sup>-2</sup> in the CF. The amounts of N, P, K, Ca and Mg storage were the highest in CWD of the NF. The results of this study demonstrate that the natural forest has a greater capability for maintaining site productivity than plantations due to higher CWD mass coupled with greater carbon and nutrient pools. Therefore, conservation of the natural forest is recommended as a practical measure in forest management to realize sustainable development of forestry in mountainous areas of southern China.

**Key words:** coarse woody debris; carbon pool; nutrient pool; *Castanopsis kawakamii*; *Cunninghamia lanceolata*; natural forest; plantation

我国亚热带地区山高坡陡,土壤抗蚀性能差。加上降雨量大且集中,天然林经皆伐、炼山和整地后改为人工林,群落结构简单与树种单一且由于幼林郁闭前水土肥流失较为严重,人工林长期生产力的维持日益引

收稿日期:2003 - 06 - 23。

基金项目:福建省重大基础科研项目(2000F004);高等学校优秀青年教师教学科研奖励计划资助项目。

起人们关注(杨玉盛, 1998)。福建三明莘口的格氏栲(*Castanopsis kawakamii*)保护区内格氏栲天然林是目前世界上树龄(约 150 年以上)和面积(700 hm<sup>2</sup>)较大,保存较为完整的中亚热带天然常绿阔叶林(林鹏等, 1986)。20 世纪 60 年代,部分格氏栲天然林曾被皆伐后营造诸如杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、福建柏(*Fokienia hodginsii*)、格氏栲、木荚红豆树(*Omosia xylocarpa*)等人工纯林,这些人工林与现存格氏栲天然林毗邻、本底条件(母岩、土层厚度、土壤层次)相似,为天然林和不同人工林的生态学比较提供良好的试验地条件,一些研究者曾报道格氏栲天然林群落结构、物种组成和多样性、土壤肥力、水源涵养功能等(林鹏等, 1986; 杨玉盛等, 1992; 1998)。但系统研究格氏栲天然林和人工林粗木质残体的生态功能还未见报道。

粗木质残体由枯立木、倒木、大枝等组成,在生态系统结构和功能方面起着极为重要的作用。它们一般可在系统中存在几十年甚至数世纪,因此,与活树相比,它们减少水土流失、影响土壤发育、储存水分和营养元素、供给能流和物流、为动植物提供生境等功能并不逊色。而且,粗木质残体也是生态系统中被忽视的重要碳库,过去人们只注重植物活体和土壤碳库的研究(陈华等, 1992; Sollins, 1987)。在土层浅薄而高温多雨的热带、亚热带林区,在保持水土和养分方面,粗木质残体具有重要的意义(李凌浩等, 1993)。本文仅从粗木质残体碳库和养分库角度,比较格氏栲天然林和人工林生态学差异。

## 1 试验地概况

福建三明市莘口教学林场小湖工区(26°11'30"N, 117°26'00"E),地处武夷山脉东南,戴云山山脉西北,海拔 300 m 左右,属中亚热带季风气候,年均气温 19.1℃,年均降水量 1 749 mm(主要集中于 3—8 月),年均蒸发量 1 585 mm,相对湿度 81%,全年无雾天为 300 d;土壤为沙质页岩发育的红壤,土层厚度超过 1 m。

1966 年,部分格氏栲天然林经皆伐、炼山,于 1967 年经穴状整地后用 1 年生格氏栲和杉木实生苗造林,密度均为 3 000 株 hm<sup>-2</sup>。1999 年,分别在 3 种林分中坡位置各建立 5 个 20 m × 20 m 的标准地。格氏栲天然林,坡向东北,坡度 31°。植物种类丰富,群落结构复杂(林鹏等, 1986; 杨玉盛等, 1998)。乔木层可按高度明显分为 3 个亚层(> 18 m, 12~18 m 和 6~12 m),主要有格氏栲、马尾松(*Pinus massoniana*)、木荷(*Schima superba*)、石栎(*Lithocarpus glaber*)、山矾(*Symplocos caudata*)、刨花楠(*Machilus pauhoi*)、山黄皮(*Randia cochinchinensis*),以格氏栲占优势(重要值达 0.80 左右)。灌木层按高度可分为 2 层(< 6 m 和 < 2 m),以百两金(*Ardisia crispa*)、卡氏乌饭(*Vaccinium carlesii*)、狗骨柴(*Tricalysia dubia*)和毛冬青(*Ilex pubescens*)为主,盖度 45%。草本层为零星分布,以狗脊(*Woodwardia japonica*)、芒萁(*Dicranopteris dichotoma*)为主。格氏栲人工林,坡向东北,坡度 30°。林冠单层,林下植被种类简单、数量少,灌木层以杜茎山(*Maesa japonica*)、百两金、玉叶金花(*Mussaenda pubescens*)和鸡血藤(*Millettia reticulata*)为主。草本层以狗脊和芒萁为主。杉木林,坡向东北,坡度 35°。林冠单层,灌木层以粗叶榕(*Ficus hirta*)、悬钩子(*Rubus palmatus*)和毛冬青为主。草本层以芒萁、观音座莲(*Angiopteris fokiensis*)和乌毛蕨(*Blechnum orientale*)为主。不同林分的林分特征及土壤性质见表 1。

## 2 研究方法

### 2.1 粗木质残体现存量调查

2001 年和 2002 年的 1 月、4 月、7 月、10 月在格氏栲天然林、格氏栲人工林与杉木人工林上、中、下坡分别设 1 条平行于等高线的样线,在每条样线上每隔 10 m 设 1 个 4 m × 4 m 的样方,共设 5 个,每种林分每次调查设 15 个样方。按未分解和半分解粗木质残体(不包括枯倒木)分别称重并取样带回室内。部分样品 105℃ 下烘干计算其自然含水率,其余样品在 85℃ 烘干粉碎,过 1 mm 筛,贮存在玻璃瓶中待测定。

### 2.2 粗木质残体碳和养分分析

采用硫酸-高氯酸消煮法, KDN-消化炉(上海嘉定纤检仪器厂)上制备待测液,用 KDN-C 型定氮仪(上海嘉定纤检仪器厂)测定全 N,钼锑抗比色法测定全 P,火焰光度计法测定全 K, AA-670 原子吸收分光光度计测 Ca 和 Mg。用重铬酸钾氧化-外加热法测定有机 C 含量(中华人民共和国林业行业标准, 2000)。

### 2.3 统计分析

统计分析用 SPSS(11.0)软件进行。用配对 T 检验法检验不同林分间粗木质残体现存量、碳库及养分库的差异( $P < 0.05$ )。

表 1 不同林分特征和土壤性质  
Tab. 1 Stand characteristics and soil properties in the NF, CK and CF

因子 Parameters	林分 Forest type		
	NF	CK	CF
林分特征 Stand characteristics			
郁闭度 Canopy coverage/ %	0.95	0.95	0.85
平均树高 Mean tree height/m	24.3	18.9	21.9
平均胸径 Mean tree diameter at breast height/cm	42.2	23.4	23.3
密度 Stand density/(stem $\cdot$ hm $^{-2}$ )	255	875	1 117
蓄积量 Stand volume/(m $^3$ $\cdot$ hm $^{-2}$ )	398.310	412.431	425.912
灌木层生物量 Biomass of shrub layer/(t $\cdot$ hm $^{-2}$ )	10.115	0.780	1.993
草本层生物量 Biomass of herb layer/(t $\cdot$ hm $^{-2}$ )	0.867	0.292	2.478
枯枝落叶层厚度 Thickness of forest floor/cm	5 $\pm$ 3	4 $\pm$ 2	2 $\pm$ 1
土壤性质 Soil (top 0~20 cm) properties			
容重 Bulk density/(g $\cdot$ cm $^{-3}$ )	0.93	1.10	1.20
含水量 Water content/(g $\cdot$ kg $^{-1}$ )	317.1	248.6	245.4
有机质 Organic matter/(g $\cdot$ kg $^{-1}$ )	46.0	29.8	29.5
全 N Total N/(g $\cdot$ kg $^{-1}$ )	1.88	1.12	1.12
全 P Total P/(g $\cdot$ kg $^{-1}$ )	0.36	0.31	0.29
水解 N Hydrolyzable N/(mg $\cdot$ kg $^{-1}$ )	135.6	115.2	110.3
速效 P Available P/(mg $\cdot$ kg $^{-1}$ )	7.63	5.92	4.69
速效 K Available K/(mg $\cdot$ kg $^{-1}$ )	117.8	96.7	61.8

NF:格氏栲天然林 *Castanopsis kawakamii* natural forest; CK:格氏栲人工林 *C. kawakamii* plantation; CF:杉木人工林 Chinese Fir plantation. 天然林中仅包括格氏栲 *C. kawakamii* is only involved in the NF. 下同 The same below.

### 3 结果

#### 3.1 不同林分粗木质残体的现存量及动态

3.1.1 粗木质残体现存量 格氏栲天然林 L 层和 F 层粗木质残体现存量及总现存量均显著高于格氏栲和杉木人工林 ( $P < 0.05$ ), 但 2 种人工林 L 层粗木质残体现存量及总现存量间差异均未达显著水平 ( $P > 0.05$ )。格氏栲天然林、格氏栲人工林和杉木人工林粗木质残体总贮量分别为 1.32、0.46 和 0.23 t  $\cdot$  hm $^{-2}$ , 其中 L 层贮量分别为 0.49、0.18 和 0.14 t  $\cdot$  hm $^{-2}$ , F 层贮量分别为 0.83、0.28 和 0.09 t  $\cdot$  hm $^{-2}$  (表 2)。

3.1.2 粗木质残体现存量的季节变化 格氏栲天然林、格氏栲人工林和杉木人工林粗木质残体现存量的季节变化模式均为夏季 > 冬季 > 秋季 > 春季。3 种林分粗木质残体现存量的季节变幅均较小 (图 1), 但不同季节间的差异均达到显著水平 ( $P < 0.05$ )。

#### 3.2 不同林分粗木质残体碳库

格氏栲天然林、格氏栲人工林和杉木人工林不同分解层次的粗木质残体 C 含量均为 L 层高于 F 层, 表明粗木质残体由于分解已有部分 C 被输入土壤或大气。各林分不同分解程度粗木质残体 C 含量间均无显著性差异 (表 3)。格氏栲天然林、格氏栲人工林和杉木人工林粗木质残体 C 总贮量分别为 0.78、0.19 和 0.11 t  $\cdot$  hm $^{-2}$ , 其中格氏栲天然林粗木质残体 C 总贮量与 2 种人工林间差异显著 ( $P < 0.05$ )。除杉木人工林外, 格氏栲天然林和人工林不同分解程度的粗木质残体 C 贮量均是 L 层小于 F 层; 3 种林分 L 层粗木质残体 C 贮量占总粗木质残体 C 贮量的比例分别为 36.75%、39.83% 和 62.74%, F 层粗木质残体 C 贮量占总粗木质残体 C 贮量的比例分别为 63.25%、60.17% 和 37.26% (表 3)。

#### 3.3 不同林分粗木质残体养分库

格氏栲天然林未分解层粗木质残体的 N、P、K、Ca、Mg 浓度及半分解层

表 2 3 种林分粗木质残体现存量

Tab. 2 Reserves of coarse woody debris in three forests

层次 Layer	林分类型 Forest type		
	NF	CK	CF
L	0.49 $\pm$ 0.16a	0.18 $\pm$ 0.06b	0.14 $\pm$ 0.04b
F	0.83 $\pm$ 0.28a	0.28 $\pm$ 0.08b	0.09 $\pm$ 0.03c
L + F	1.32 $\pm$ 0.40a	0.46 $\pm$ 0.13b	0.23 $\pm$ 0.07b

同一行中标有不同字母的数值表示存在显著性差异 ( $P < 0.05$ ,  $n = 15$ ), 下同。Different letters on the same row indicate significant differences at  $P < 0.05$ ,  $n = 15$ . The same below.

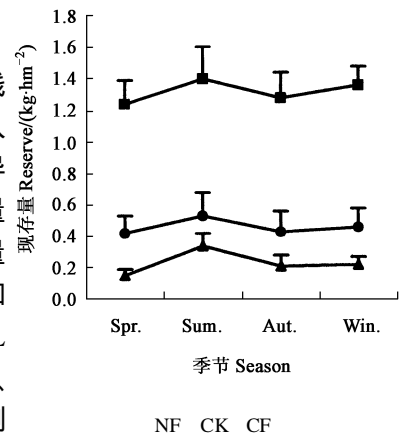


图 1 粗木质残体现存量季节动态

Fig. 1 Seasonal dynamics of standing crop of coarse woody debris

N、K、Ca 含量均高于格氏栲和杉木人工林,而格氏栲人工林半分解层粗木质残体的 P 和 Mg 含量均高于格氏栲天然林和杉木人工林(表 4)。除格氏栲人工林未分解层外,各林分不同分解层次粗木质残体中各养分含量的顺序皆相同,都是  $N > Ca > K > Mg > P$ 。各林分粗木质残体的 C/N 比值均为 L 层  $>$  F 层,且不同层次 C/N 比值均为  $NF < CK < CF$ 。

表 3 3 种林分粗木质残体有机 C 含量和贮量

Tab. 3 Concentrations and reserves of organic carbon of coarse woody debris in three forests

层次 Layer	NF		CK		CF	
	含量 Concentration/ (g kg <sup>-1</sup> )	贮量 Reserve/ (kg hm <sup>-2</sup> )	含量 Concentration/ (g kg <sup>-1</sup> )	贮量 Reserve/ (kg hm <sup>-2</sup> )	含量 Concentration/ (g kg <sup>-1</sup> )	贮量 Reserve/ (kg hm <sup>-2</sup> )
L	502.1 ±69.9a	287.98 ±193.24a	477.4 ±17.4a	76.38 ±30.17b	521.8 ±38.7a	67.83 ±25.64b
F	482.2 ±40.6a	495.71 ±220.95a	461.5 ±21.6a	115.38 ±37.50b	503.5 ±77.9a	40.28 ±16.19c
L + F		783.69 ±202.08a		191.76 ±70.87b		108.11 ±38.81b

粗木质残体各养分贮量及总贮量不同林分间均差异显著 ( $P < 0.05$ )。格氏栲天然林粗木质残体的 N、P、K、Ca 和 Mg 贮量分别为 5.33、0.28、3.30、4.48 和 0.77 kg hm<sup>-2</sup>, 分别比格氏栲人工林的高出 4.9、3.0、3.4、4.3 和 1.3 倍, 比杉木人工林的高出 14.2、8.3、15.5、14.4 和 8.6 倍。格氏栲天然林粗木质残体养分总贮量为 14.16 kg hm<sup>-2</sup>, 分别是格氏栲和杉木人工林的 4.9 倍和 14.9 倍(表 4)。从表 4 还可看出, 3 种林分粗木质残体的各元素贮量的大小顺序均为:  $N > Ca > K > Mg > P$ 。

## 4 讨论

### 4.1 粗木质残体现存量及动态

纵观全球范围内各类型森林的粗木质残体现存量, 温带针叶林的最高, 一般为 30 ~ 200 t ·hm<sup>-2</sup>, 如美国 Olympic 国家公园的黄杉 (*Pseudotsuga sinensis*)、铁杉 (*Tsuga chinensis*) 林, 粗木质残体高达 537 t ·hm<sup>-2</sup>; 加州的巨杉 (*Sequoiadendron giganteum*) - 红松 (*Pinus koraiensis*) 林, 粗木质残体现存量也超过 200 t ·hm<sup>-2</sup>。阔叶林的粗木质残体现存量较低, 一般在 8 ~ 50 t ·hm<sup>-2</sup>, 如美国新英格兰州的青冈 (*Cyclobalanopsis glauca*) 桦树 (*Betula* sp.) 林, 粗木质残体现存量为 30 ~ 49 t ·hm<sup>-2</sup>, 栎树林为 20 t ·hm<sup>-2</sup> (Harmon, 1986)。本研究中格氏栲天然林、格氏栲人工林和杉木人工林粗木质残体的贮量均远低于全球阔叶林和针叶林粗木质残体平均贮量的下限, 这可能与本研究区气温较高, 年降雨量大, 粗木质残体的分解速度较快有关, 亦与格氏栲天然林未包括枯倒木, 而人工林树龄较小有关。

一般认为, 森林生态系统中大部分粗木质残体是生态系统遭受风倒、病虫害等重大干扰后积累的。除此之外, 粗木质残体贮量变化还与森林演替过程有关 (Hely *et al.*, 2000)。本研究中格氏栲天然林粗木质残体贮量远大于格氏栲和杉木人工林, 这主要与天然林树龄比人工林的大, 老树枯死粗枝相对较多有关。与格氏栲天然林和人工林枯枝落叶层现存量相比, 粗木质残体现存量明显偏低, 反映出本研究区森林地表残留物构成的特点。

受树种生物学特性和年内降水量、气温、风力等气候因子的综合影响, 3 种林分粗木质残体现存量最大值均出现在夏季(图 1), 这与该季节暴雨频发, 风力较大, 造成粗枝凋落量增加有关。

### 4.2 粗木质残体碳库

根据粗木质残体占总凋落物和林木生物量比例估测, 全球森林粗木质残体碳贮量为  $2.0 \times 10^{13} \sim 16 \times 10^{13}$  kg (陈华等, 1992)。虽然这部分碳库只占土壤 (0 ~ 3 m) 碳库的 3% ~ 6% (Job *égy et al.*, 2000), 但因粗木质残体中碳的滞留时间比土壤碳来得短, 且易遭受外界影响, 其碳库比地下土壤碳库更为活跃。粗木质残体碳库因干扰或经营措施、树种组成或环境条件(如温度和湿度)的变化而发生迅速的增加或减少 (Caudinski *et al.*, 2000; Trumbore, 2000)。本研究中 3 种林分粗木质残体碳贮量远低于世界森林粗木质残体碳贮量的平均值, 这与该地气候温暖湿润而有利于促进粗木质残体的分解有关。

现有的粗木质残体调查资料表明(陈华等, 1991), 粗木质残体在不同森林类型地上部分凋落物中占很大比例。而且粗木质残体干物质中 50% 左右为碳素, 因此, 粗木质残体如同生态系统中立木与土壤一样, 是

森林生态系统内重要的碳库。过去在进行全球森林凋落物碳储量估测时,由于没有包括粗木质残体,从而低估了全球森林凋落物的碳储量。格氏栲天然林、人工林和杉木人工林枯枝落叶层碳储量分别为 4.02、3.29 和 2.28 t · hm<sup>-2</sup>,而 3 种林分粗木质残体碳储量分别仅占枯枝落叶层的 19.40%、5.78% 和 4.82%,该比例均远低于长白山混交林和 Andrews 针叶林(陈华等,1992),这与不同林分粗木质残体和枯枝落叶层现存量差异有关,也反映出粗木质残体碳库因气候带、森林类型等不同具有极大的异质性。

#### 4.3 粗木质残体养分库

粗木质残体在森林生态系统养分循环中的作用目前尚未完全清楚,但它在这方面的一个重要功能,可能在于生态系统遭受干扰(如恶劣气候、大面积林木风倒、病虫害等)后,大量养分从活树转移到粗木质残体上,起到养分贮存库的作用。随着粗木质残体的缓慢分解和逐渐释放养分,生态系统又得以恢复(陈华等,1992)。与枯枝落叶相比,粗木质残体的养分浓度一般较低,且 C/N 比较大(表 4),粗木质残体养分释放速率比枯枝落叶慢得多(Harmon,1986),因而粗木质残体归还林地的养分比枯枝落叶少,这也是人们对粗木质残体这一养分贮存库未给以太多重视的原因之一。但由于粗木质残体不像枯枝落叶那样容易遭受雨水淋溶损失,因而粗木质残体在高温多雨的亚热带林区中的养分保持和维持生态系统稳定性的功能是不可低估的(李凌浩等,1993)。不同林分粗木质残体从 L 层到 F 层 C/N 比值降低,这与随着粗木质残体的分解微生物对 C 的消耗和对 N 的生物固定有关。本研究中格氏栲天然林粗木质残体养分储量远大于格氏栲人工林和杉木人工林,这主要与三种林分粗木质残体生物量差异有关。与温带针叶林相比,三种林分粗木质残体的养分储量明显偏低,亦低于长白山自然保护区红松针阔混交林和武夷山甜槠(*Castanopsis eyrei*)林(陈华等,1992;李凌浩等,1996),体现了不同森林类型间养分通过粗木质残体归还的差异。

表 4 3 种林分粗木质残体的养分含量及储量

Tab. 4 Nutrient concentrations and reserves of coarse woody debris in three forests

林分类型 Forest type	层次 Layer	含量 Concentration/(g · kg <sup>-1</sup> )					储量 Reserve/(kg · hm <sup>-2</sup> )					小计 Subtotal
		N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg	
NF	L	3.012 ± 0.188	0.174 ± 0.014	2.671 ± 0.288	2.745 ± 0.295	0.628 ± 0.056	1.73 ± 1.15	0.10 ± 0.06	1.53 ± 1.02	1.57 ± 1.05	0.29 ± 0.09	5.22 ± 0.65
	F	3.505 ± 0.273	0.173 ± 0.017	1.725 ± 0.170	2.834 ± 0.317	0.589 ± 0.060	3.60 ± 1.61	0.18 ± 0.08	1.77 ± 0.79	2.91 ± 1.29	0.48 ± 0.13	8.94 ± 1.06
	L + F						5.33 ± 1.39a	0.28 ± 0.07a	3.30 ± 0.73a	4.48 ± 1.16a	0.77 ± 0.19a	14.16 ± 1.85a
CK	L	1.767 ± 0.183	0.042 ± 0.004	2.044 ± 0.196	1.513 ± 0.165	0.604 ± 0.058	0.28 ± 0.06	0.01 ± 0.00	0.33 ± 0.06	0.24 ± 0.05	0.10 ± 0.02	0.96 ± 0.10
	F	2.465 ± 0.219	0.241 ± 0.023	1.699 ± 0.161	2.410 ± 0.284	0.973 ± 0.099	0.62 ± 0.15	0.06 ± 0.02	0.42 ± 0.08	0.60 ± 0.12	0.24 ± 0.06	1.94 ± 0.24
	L + F						0.90 ± 0.20b	0.07 ± 0.02b	0.75 ± 0.15b	0.84 ± 0.21b	0.34 ± 0.08b	2.90 ± 0.32b
CF <sub>1</sub>	L	1.413 ± 0.126	0.054 ± 0.005	0.672 ± 0.077	1.156 ± 0.134	0.312 ± 0.028	0.18 ± 0.04	0.01 ± 0.00	0.09 ± 0.02	0.15 ± 0.03	0.04 ± 0.01	0.47 ± 0.06
	F	2.136 ± 0.211	0.238 ± 0.025	1.373 ± 0.164	1.764 ± 0.225	0.461 ± 0.045	0.17 ± 0.04	0.02 ± 0.01	0.11 ± 0.03	0.14 ± 0.03	0.04 ± 0.01	0.48 ± 0.05
	L + F						0.35 ± 0.09c	0.03 ± 0.01c	0.20 ± 0.04c	0.29 ± 0.07c	0.08 ± 0.02c	0.95 ± 0.12c

#### 参 考 文 献

- 陈 华, Harmon M E. 1992. 温带森林生态系统粗死木质物动态研究. 应用生态学报, 3 (2): 99 - 104
- 陈 华, 徐振邦. 1991. 粗木质物残体生态研究历史、现状和趋势. 生态学杂志, 10(1): 45 - 50
- 李凌浩, 林 鹏. 1993. 全球热带环境与森林问题及其对策. 见: 李振基主编. 环境与生态论丛. 厦门: 厦门大学出版社, 11 - 19
- 李凌浩, 邢雪荣, 黄大明, 等. 1996. 武夷山甜槠林粗死木质残体的储量、动态及其功能评述. 植物生态学报, 20(2): 132 - 143
- 林 鹏, 丘喜昭. 1986. 三明瓦坑格氏栲林的研究. 植物生态学与地植物学学报, 10(4): 241 - 252
- 杨玉盛, 何宗明, 邹双全. 1998. 格氏栲天然林与人工林根际土壤微生物及其生化特性差异的研究. 生态学报, 18(2): 198 - 202
- 杨玉盛. 1998. 杉木林可持续经营的研究. 北京: 中国林业出版社
- 杨玉盛, 邹双全, 刘爱琴. 1992. 格氏栲天然林水源涵养功能的研究. 自然资源学报, 7(3): 217 - 233
- 中华人民共和国林业行业标准. 2000. 森林土壤分析方法. 北京: 中国标准出版社
- Gaudinski, J B, Trumbore S E, Davidson E A, et al. 2000. Soil carbon cycling in a temperate forest: radiocarbon-based estimates of residence times, sequestration rates, and partitioning of fluxes. Biogeochemistry, 51: 33 - 69
- Harmon M E. 1986. Ecology of coarse woody debris in Temperate Ecosystems. Adv Eco Res, 15: 133 - 302
- Hely C, Bergeron Y, Flannigan M D. 2000. Coarse woody debris in the southeastern Canadian boreal forest: composition and load variations in relation to stand replacement. Can J For Res, 30: 674 - 687
- Job ágy E G, Jackson R B. 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. Ecol Appl, 10(2): 423 - 436
- Sollins P. 1987. Patterns of log decay in old-growth Douglas-fir forests. Can J For Res, 17: 1585 - 1595
- Trumbore S E. 2000. Age of soil organic matter and soil respiration: radiocarbon constraints on belowground C dynamics. Ecol Appl, 10(2): 399 - 411