

# 岭南藜蒴栲-罗浮栲群系粗木质残体的基本特征

樊小丽<sup>1</sup>, 周光益<sup>1\*</sup>, 赵厚本<sup>1</sup>, 邱治军<sup>1</sup>, 刘伟新<sup>2</sup>, 梁瑞友<sup>2</sup>

(1. 中国林业科学研究院热带林业研究所, 广东 广州 510520; 2. 韶关市曲江国家森林公园, 广东 韶关 512162)

**摘要:** [目的] 通过实地调查和采样对粗木质残体(CWD)进行量化研究, 来了解未受冰灾干扰的岭南藜蒴栲-罗浮栲群系 CWD 的本底数据, 建立 CWD 生物量回归方程。[方法] 采用样方调查法, 分析粤北小坑国家森林公园的常绿阔叶次生林在不同地形下 CWD 的基础特征及其存在形式、腐解等级和径阶的分布格局。[结果] 表明: 该林分 CWD 总贮量为  $8.25 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 各腐解等级(1、2、3、4、5)所占比例分别为 41.07%、17.75%、13.89%、21.74%、5.55%; CWD 主要以倒木和枯立木的形式存在, 其次是大枯枝和根桩; 径阶结构主要集中在  $5 \sim 10$ 、 $10 \sim 15 \text{ cm}$ 。[结论] CWD 的空间异质性较大, 但不同地形下其贮量、蓄积量、覆盖面积和数量差异不显著( $p > 0.05$ )。通过 423 个粗木质残体直径和质量的实测数据建立了 CWD 不同腐解等级的生物量幂函数回归方程。

**关键词:** 岭南; 藜蒴栲-罗浮栲群系; 粗木质残体; 生物量方程

中图分类号: S718.5

文献标识码: A

## Character of Coarse Woody Debris in a *Castanopsis fissa-Diospyros morrisiana* Formation in Lingnan Region, China

FAN Xiao-li<sup>1</sup>, ZHOU Guang-yi<sup>1</sup>, ZHAO Hou-ben<sup>1</sup>, QIU Zhi-jun<sup>1</sup>, LIU Wei-xin<sup>2</sup>, LIANG Rui-you<sup>2</sup>

(1. Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, Guangdong, China;

2. Xiaokeng Forestry Farm of Qujiang District, Shaoguan City, Shaoguan 512162, Guangdong, China)

**Abstract:** [Objective] In order to understand the basic data and establish biomass regression equation of coarse woody debris(CWD) in a *Castanopsis fissa-Diospyros morrisiana* formation which was not influenced by ice storm, we carried out field investigation and sampling in Xiaokeng National Park, located in north of Guangdong. [Methods] We analyzed the basic characteristics and existing forms, distribution patterns in decay class and diameter of CWD in different landforms by plant plot investigation method. [Results] The results indicated that the total biomass of CWD was  $8.25 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ , and the biomass in different decay class(1、2、3、4、5) occupied 41.07%, 17.75%, 13.89%, 21.74%, 5.55% respectively in the forest. The CWD was mainly composed of fallen logs and snags, followed by the large branches and stumps. Diameter structure of CWD concentrated in the range of  $5 \sim 10 \text{ cm}$  and  $10 \sim 15 \text{ cm}$ . [Conclusions] The spatial heterogeneity of CWD was high, but there was no significant difference in different landforms. Furthermore, biomass regression equation of CWD in different decay class levels were established by using 423 measured diameter and weight data of CWD.

**Keywords:** Lingnan region; *Castanopsis fissa-Diospyros morrisiana* formation; CWD; biomass equation

粗木质残体(CWD)指以枯立木、倒木、根桩和大枯枝等形式存在的死木物质, 是森林生态系统中

重要的结构性和功能性组成要素<sup>[1]</sup>。国外对森林 CWD 的研究开始较早, 集中在美国、加拿大和北欧

收稿日期: 2015-11-27

基金项目: 中科院战略性先导科技专项(XDA05050205); 国家自然科学基金(31170418); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(RITFYWZX201504)

作者简介: 樊小丽(1991—)女, 硕士研究生. 主要研究方向: 森林水文与植被恢复. E-mail: fxli2013water@163.com

\* 通讯作者: 周光益, 研究员. 主要研究方向: 森林水文与生态恢复. E-mail: cheersritf@163.com

等的温带森林,研究范围从倒木到全部的死木物质,从陆生生态系统到水域生态系统,从CWD的基础特征认识到其生态功能研究及其相关应用,结果表明,CWD的储量、分布和动态变化受多因素影响<sup>[2-3]</sup>;CWD能促进群落幼苗更新,保持水土,特别是稳定土表温度和水分,增加有机物质,为微生物和幼苗建立良好的微生境<sup>[4-5]</sup>;能显著影响物种组成,促进外来杂草种的入侵,增加林下植被的生产力、多样性和景观异质性<sup>[6]</sup>;是某些陆生动物、水生生物、昆虫等的栖息地和食物源,影响其分布、种类和群落结构<sup>[7-9]</sup>;CWD占森林生态系统地上部分生物量的20%,其含碳率约50%,其分解周期长达46~124年,是一个巨大且稳定的能量库和碳库,在养分循环和碳循环方面起重要作用<sup>[10]</sup>。

我国的CWD研究起步较晚,主要依托生态定位站对各类CWD进行本底认识,已开展的研究内容包括CWD的基础特征及其碳贮量、分解动态和元素变化、水文功能、景观美学和生态文化及其它生态功能等<sup>[11-13]</sup>,研究区域主要分布在长白山<sup>[14]</sup>、大小兴安岭<sup>[15-16]</sup>、武夷山<sup>[17]</sup>、鼎湖山<sup>[18-19]</sup>、哀牢山<sup>[20]</sup>、天宝山<sup>[21]</sup>、大明山<sup>[22]</sup>等地,其中,温带森林系统的研究较全面,而对亚热带森林系统关注较少且多为原始林。直到2008年华南特大冰灾<sup>[23]</sup>造成该区域的天然次生林大面积受损,产生大量粗木质残体堆积在林中,可能会导致病灾、虫灾和林火的大爆发。因此,对CWD的科学管理引起了广大林业工作者和学者的广泛关注,全部清除还是保留一部分?保留多少才会有助于生态系统的恢复?由于前期对亚热带天然次生林CWD的本底数据掌握不充分,导致无法制定合理的应对策略。本研究选取了未受冰灾干扰的亚热带常绿阔叶次生林为研究对象,旨在:(1)摸清未受冰灾干扰的岭南黎蒴栲-罗浮栲群系粗木质残体的基本特征;(2)探讨地形对CWD分布的影响是否显著;(3)建立不同腐解等级CWD的生物量回归方程;(4)利用已建立的生物量方程,估算岭南地区亚热带常绿阔叶次生林CWD的本底数据,弥补冰灾前缺失的数据,为后期制定相应的管理政策和研究

冰灾对CWD和系统植被碳库的影响等提供基础数据支撑。

## 1 研究区概况

研究地设在广东省韶关市曲江小坑国家森林公园(113°52'20.5"E,24°39'18.4"N),隶属于南岭山脉的大庾岭南缘,属于中亚热带季风气候区,冬季盛行东北风,夏季盛行西南和东南季风;年均气温18.8~21.6℃,年日照时数1473~1925h,年降水量1400~2400mm,3—8月为雨季,9月至翌年2月为旱季。地貌以中低山为主,坡度为15°~40°,海拔20~100m。植被类型为中亚热带常绿阔叶林,物种多样,层次结构复杂。研究区的现存植被为50~70年生天然次生林群落,为黎蒴栲-罗浮栲群系,乔木层优势树种主要以壳斗科(Fagaceae)的黎蒴栲(*Castanopsis fissa* (Champ. ex Benth.) Rehd. et Wils)、小红栲(*Castanopsis carlesii* (Hemsl.) Hayata)、吊皮锥(*Castanopsis kawakamii* Hay.)和桐木(*Lithocarpus thalassica* (Hance) Rehd.);樟科(Lauraceae)的樟树(*Cinnamomum camphora* (L.) Presl.)、山苍子(*Litsea cubeba* (Lour.) Pers.)和鸭公树(*Neolitsea chunii* Merr.);润楠属(*Machilus* Nees)的广东润楠(*Machilus kwangtungensis* Yang);柿科(Ebenaceae)的罗浮柿(*Diospyros morrisiana* Hance)等树种为主<sup>[24]</sup>。

## 2 研究方法

### 2.1 样地布设与野外调查

2013年8—10月以50~70年生的亚热带常绿阔叶天然次生林为研究对象,在小坑国家森林公园(靠近小坑水库)设置了6个30m×50m的标准样地,总面积为9000m<sup>2</sup>,其中,阴坡3个,阳坡3个,编号分别为N1、N2、N3、S1、S2、S3,样方概况见表1。随后将每个样地分成若干个10m×10m的次级小样方,将样地分为上坡、中坡和下坡3个坡位,以小样方为单位进行调查。

表1 样地概况

样地编号	坡向	坡度/(°)	海拔/m	平均胸径/cm	平均树高/m	密度/(株·hm <sup>-2</sup> )	主要树种
N1、N2、N3	阴坡	20~40	200~300	14.8	9.74	1396	黎蒴栲、罗浮栲、吊皮锥、桐木、广东润楠、广东冬青、小红栲、南酸枣
S1、S2、S3	阳坡	20~40	200~300	15.02	9.52	960	黎蒴栲、罗浮栲、吊皮锥、小红栲、荷木、广东冬青、樟树、羊角杜鹃

注:广东冬青(*Llex kwangtungensis* Merr);南酸枣(*Choerospondias axillaris* (Roxb.) Burt et Hill.);羊角杜鹃(*Rhododendron cavaleriei* Levi)。

将粗木质残体(CWD, 大头直径 $\geq 5$  cm)分为: 枯立木、倒木、根桩和大枯枝四大类, 测量其大、小头直径, 中央直径和长度, 并确定其腐烂等级<sup>[11]</sup>(表

2), 分别用1、2、3、4、5表示各腐解等级的高低, 数值越大表示腐解等级越高。

表2 粗木质残体腐解等级分类标准

类型	特征	腐解等级				
		1	2	3	4	5
枯立木	树叶	存在	无	无	无	-
	树皮	紧密	疏松	部分存在	无	-
	树枝	都存在	仅大枝存在	仅大枝节存在	无	成为倒木
	树身	刚死	站立, 坚固	站立, 腐烂	松散, 腐烂	-
	间接手段	新鲜, 死不足1年	开始腐解, 刀片可刺进数毫米	刀片可刺进2 cm	刀片可刺进2~5 cm	刀片可刺穿
倒木或大枯枝	结构完整性	完好	边材腐烂心材完好	边材消失心材完好	心材腐烂	变软
	树叶	存在	无	无	无	无
	树枝	小枝存在	大枝存在	大粗枝存在	枝脱落节存在	无
	树皮	存在	存在	大部分存在	大部分脱落	无
	主干形状	圆形	圆形	圆形	圆形至卵形	卵形至扁形
	木质	坚实	坚实	半坚实	部分变软	粉碎至粉末
	木质颜色	原色	原色	原色至褪色	原色至褪色	严重褪色
	与地面位置	被某点抬高	被某点抬高	接近地面	整体落在地面	整体在地面
	被根侵入	无	无	边材侵入	全部侵入	全部侵入
	植物生长	无	少量植物生长	少量灌木、幼苗、苔藓	灌木、苔藓和大树	-
间接手段	新鲜, 死不足1年	开始腐解, 刀片可刺进数毫米	刀片可刺进2 cm	刀片可刺进2~5 cm	刀片可刺穿	
根桩	间接手段	新鲜, 死不足1年	开始腐解, 刀片可刺进数毫米	刀片可刺进2 cm	刀片可刺进2~5 cm	刀片可刺穿

## 2.2 数据处理与分析

采用平均直径和圆柱体公式计算CWD的蓄积量和覆盖面积。CWD贮量的测定参照大明山<sup>[22]</sup>的测定方法, 在野外能直接称质量的, 实测其鲜质量, 然后取不同腐解等级的样品85℃烘干至恒质量, 称干质量, 测其含水率。体积过大无法称质量的采用体积-密度法测定, 再换算成干质量。

枯立木、根桩覆盖面积 =  $\pi D/40\ 000$

倒木、大枯枝覆盖面积 =  $DL/100$

式中:  $D$  为平均直径(cm),  $D = (D_s + D_L + D_m)/3$ ;  $D_s$  为小头直径(cm),  $D_L$  为大头直径(cm),  $D_m$  为中央直径(cm),  $L$  是长度(m)。

变动系数 = (标准差/平均值)  $\times 100\%$

利用Excel2007软件对调查数据进行初步整理和计算, 再用SPSS11.0对数据进行 $t$ 检验, 分析不

同坡向、坡位下CWD的贮量、蓄积量、覆盖面积和数量及其空间分布差异性, 并利用其回归模块建立CWD生物量回归方程。

## 3 结果与分析

### 3.1 CWD的总体分布特征

本研究中, 粤北小坑国家森林公园藜蒴栎-罗浮栎群系的CWD贮量、蓄积量、覆盖面积和数量均值分别为  $8.25\ t \cdot hm^{-2}$ 、 $27.52\ m^3 \cdot hm^{-2}$ 、 $138.87\ m^2 \cdot hm^{-2}$  和  $670\ 根 \cdot hm^{-2}$ 。

表3表明: 在坡向上, CWD的贮量、蓄积量均值均是阳坡比阴坡略高, 但在数量上, 阴坡反而较高。此外, 阳、阴坡的变异系数均大于100%, 说明在不同坡向上CWD的分布极度不均匀, 与大明山的研究结果一致<sup>[22]</sup>。

表3 不同地形下CWD的基础特征分布及 $t$ 检验(10 m  $\times$  10 m 样方进行检验)

地形	贮量			蓄积量			覆盖面积			数量		
	均值/ ( $t \cdot hm^{-2}$ )	变动系 数/%	$t$ 检验	均值/ ( $m^3 \cdot hm^{-2}$ )	变动系 数/%	$t$ 检验	均值/ ( $m^2 \cdot hm^{-2}$ )	变动系 数/%	$t$ 检验	均值/ (株 $\cdot hm^{-2}$ )	变动系 数/%	$t$ 检验
坡向	阳坡	10.12 $\pm$ 3.47	187.83	28.40 $\pm$ 7.89	152.32	150.19 $\pm$ 34.05	124.27	553 $\pm$ 65.13	64.51	787 $\pm$ 70.55	70.55	$P_{阳-阴} = 0.314$
	阴坡	6.37 $\pm$ 1.44	124.03	26.63 $\pm$ 6.07	124.92	127.54 $\pm$ 17.32	74.40	787 $\pm$ 70.55	70.55			
坡位	上坡	5.41 $\pm$ 1.27	120.65	21.71 $\pm$ 5.72	117.74	113.62 $\pm$ 18.27	72.08	645 $\pm$ 84.13	58.33	625 $\pm$ 87.36	62.48	$P_{上-中} = 0.959$
	中坡	10.38 $\pm$ 4.52	194.57	31.41 $\pm$ 10.83	154.14	110.04 $\pm$ 21.35	87.29	625 $\pm$ 87.36	62.48			$P_{中-下} = 0.684$
下坡	下坡	8.94 $\pm$ 3.11	155.46	29.42 $\pm$ 8.65	131.43	192.92 $\pm$ 48.35	112.08	740 $\pm$ 90.44	54.66			$P_{上-下} = 0.701$

在不同坡位下,CWD的贮量和蓄积量均为中坡>下坡>上坡;而数量上,均为下坡>上坡>中坡。由于坡位较高导致折断部分滚落到下方位置,所以下坡的CWD在覆盖面积和数量上高于中、上坡。不同坡位CWD贮量和蓄积量的变动系数均大于100%,其分布极不均匀,而覆盖面积和数量的变动系数绝大部分介于10%~100%,其分布中等不均匀。

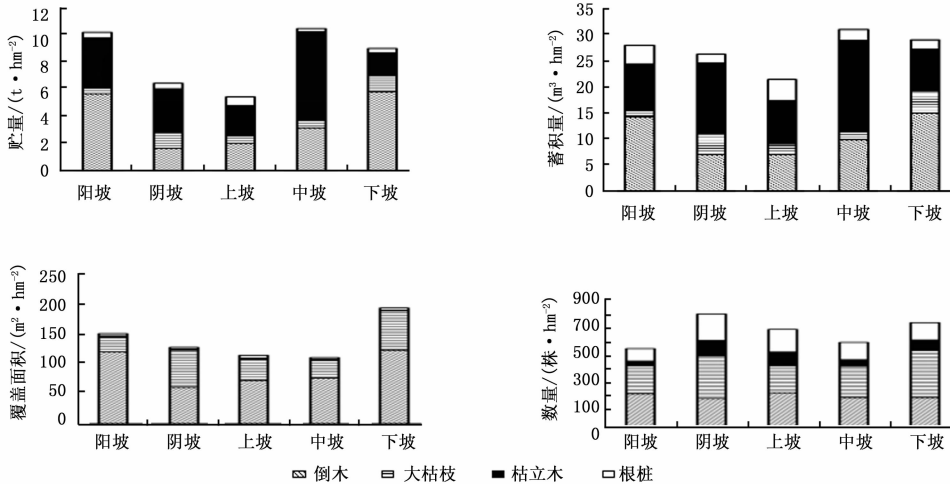


图1 不同坡向、坡位CWD存在形式的基础特征

与阴坡相比,阳坡的倒木贮量、蓄积量、覆盖面积和数量均比阴坡大,而大枯枝却是阴坡大。枯立木的贮量阴阳坡几乎相等,但在数量上阴坡是阳坡的3.78倍,表明阳坡的枯立木径级相对较大,而阴坡的径级较小,这可能是由于迎风面阳坡(南面)长期经受夏季台风等大风气候的干扰,其大树比阴坡的大树更易死亡;而阴坡枯立木的形成主要是林木自然竞争产生,小径阶的更易受影响。

随着上、中、下坡位的变化,倒木的贮量、蓄积量和覆盖面积都表现出增加的趋势,但数量上却不断减少,中、下坡的倒木数量基本相等,说明上坡的倒木以小径阶居多。枯立木的贮量、蓄积量和覆盖面积在上、下坡位几乎相等,在中坡最大,但枯立木的数量却在中坡最小,表明中坡的枯立木所处径阶较大;而大枯枝的贮量、蓄积量在上、中坡位几乎相等,覆盖面积为下坡>上坡>中坡,数量上随坡位上升表现出递增的趋势。

### 3.3 不同地形下CWD腐烂等级的分布

图2表明:不同坡向、坡位的CWD处于1、4腐解等级的较多,与其它地区报道的CWD的贮量在腐解等级上呈正态分布,主要集中在2、3级的结果不同<sup>[16,25]</sup>。阳坡在第1腐解等级上贮量最大,但

对不同地形下CWD的贮量、蓄积量、覆盖面积和数量进行 $t$ 检验,其结果表明差异均不显著( $p > 0.05$ )。

### 3.2 不同地形下CWD的存在形式

粤北小坑国家森林公园黎蒴栲-罗浮栲群系的CWD在不同坡向、坡位下主要以倒木和枯立木这两种形式存在,其次是大枯枝和根桩(图1)。

数量上最小;与阳坡相比,阴坡各腐解等级的贮量较小,但数量却较多。其原因可能是长期受到夏季台风的影响。由图3可见:1992—1998年受台风影响的大风天数较多,随后开始下降,从2009年开始,大风天数又开始增加。阳坡(迎风坡)长期易受到夏季台风及其产生的暴雨等的干扰,对大径阶的林木影响较大;而阴坡的CWD主要由林木自然竞争产生,而小径阶的更易受影响<sup>[3]</sup>。此外,软阔树种(樟科)比硬阔树种(壳斗科)分解较快,因此,树种组成和林木耐腐性的差异也是另一个重要的影响因素。

在数量上,阳坡的CWD随腐解等级的增高而增多,阴坡分布较均匀,可能原因是阳坡的水热条件较适宜,CWD的分解进程比阴坡快,所以处于较高腐解等级的CWD数量较多。对不同坡向,CWD的贮量和数量进行 $t$ 检验,结果表明:阴、阳坡除CWD数量在1、2、3腐解等级上差异显著( $p < 0.05$ )外,其它差异均不显著( $p > 0.05$ )。

此外,中坡的CWD贮量随腐解等级的增高而减少,但数量上却随腐解等级的增高而增多。对不同坡位的CWD贮量和数量进行 $t$ 检验,结果表明差异均不显著( $p > 0.05$ )。

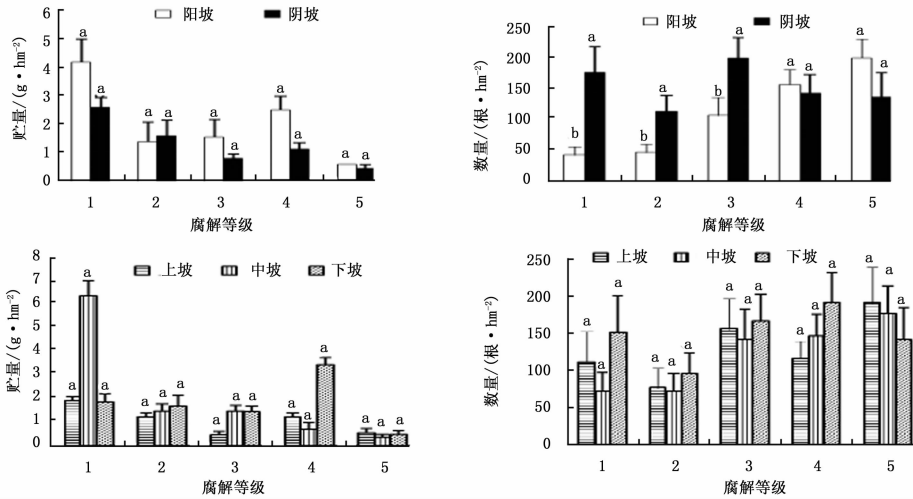


图2 不同地形 CWD 各腐解等级的贮量及数量分布(同一腐解等级下,不同小写字母表示不同坡向或坡位间差异显著( $p < 0.05$ ),下同)

### 3.4 不同地形下 CWD 的径级分布情况

从图4可看出:不同地形下,CWD的径级主要分布在5~10、10~15 cm,约占总体数量的2/3以上。经*t*检验,在阴、阳坡,CWD数量在5~10、15~20 cm和>30 cm径级差异显著( $p < 0.05$ );在上、下坡,CWD数量在20~25 cm径级差异显著。其它不同地形条件下,CWD数量在不同径级的分布差异不显著( $p > 0.05$ )。

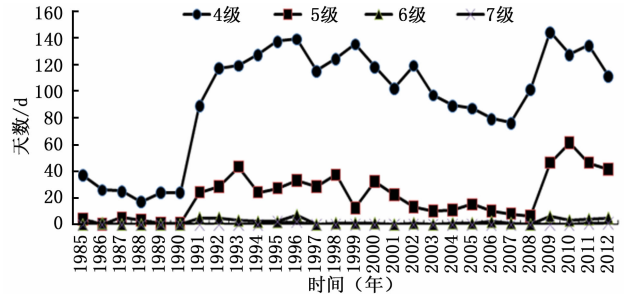


图3 1985-2012年最大风速的风力分布天数

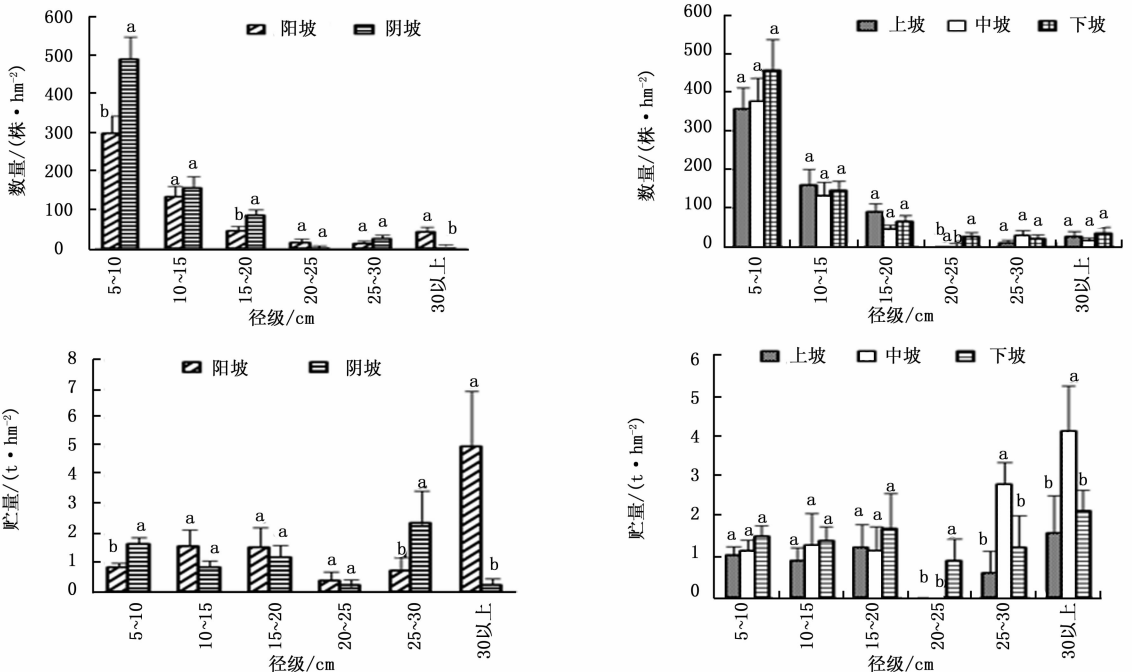


图4 不同地形 CWD 各径级的数量和贮量分布

阴坡的CWD贮量主要集中在5~10、25~30 cm径级,而阳坡的CWD贮量主要集中在>30 cm径级。中坡的CWD贮量在25~30 cm和>30 cm径阶内占该坡位贮量的一半以上,但CWD的数量所

占比例较少。CWD贮量除阴、阳坡在5~10、25~30、>30 cm径阶差异显著( $p < 0.05$ ),下坡在20~25 cm径阶与上、中坡差异显著,中坡在25~30 cm和>30 cm径级与上、下坡差异显著外,其它各径级

在不同坡向和坡位的 CWD 贮量差异均不显著 ( $p > 0.05$ )。

### 3.5 CWD 生物量回归方程的建立

为快速、省时省力地估算南岭地区常绿阔叶林的 CWD 贮量,本文以 423 个不同腐解等级的 CWD 烘干质量 ( $W$ ) 作为因变量  $Y$  值,其长度 ( $L$ ) 和平均直径 ( $D$ ) 作为可选自变量  $X$  值,并参照其它生物量方程,利用 SPSS12.0 软件建立 CWD 生物量的回归方程,经比较不同方程的拟合效果,最后确定幂函数  $W = a(D^2L)^b$  的回归方程为最佳模型(表 4)。

表 4 估算 CWD 生物量的回归方程

CWD 腐解等级	回归方程	决定系数 ( $R^2$ )
1	$W = 0.019 (D^2L)^{1.004}$	0.928
2	$W = 0.066 (D^2L)^{0.870}$	0.942
3	$W = 0.064 (D^2L)^{0.784}$	0.809
4	$W = 0.046 (D^2L)^{0.854}$	0.822
5	$W = 0.029 (D^2L)^{0.875}$	0.825

注:  $W$ : 生物量 (kg);  $D$ : 平均直径 (cm),  $2.6 \leq D \leq 47.0$ ;  $L$ : 长度 (m),  $0.1 \leq L \leq 13.0$ 。

本文建立的 CWD 生物量方程与魏平等<sup>[18]</sup>推算的鼎湖山常绿阔叶林 CWD 生物量回归方程不一致,后者只引入了一个自变量(胸高直径:  $DBH$ )。本研究在考虑不同腐解等级 CWD 的密度不一的问题时,还引入了长度 ( $L$ ) 自变量,这样建立起的生物量方程更具实际意义,能更准确、快速地估算 CWD 的贮量;但由于在林地中的 CWD 很难分清其树种,而不同树种的木材密度不同,会影响 CWD 生物量方程的精度,如果能分树种(硬阔和软阔树种)分别建立不同腐解等级的 CWD 生物量方程,估算森林 CWD 的生物量会更精确。

## 4 讨论

### 4.1 地形和 CWD 贮量的关系

本研究中,不同地形下岭南黎蒴栲-罗浮栲群系的 CWD 贮量差异不显著,与王文娟等<sup>[15]</sup>利用 DCCA 分析环境因子与 CWD 贮量关系的结果相同,即 CWD 的贮量与坡向没有明显的相关性;刘翠玲等<sup>[26]</sup>在研究天山云杉 (*Picea asperata* Mast.) 时也指出,CWD 的贮量没有明显的地理空间规律;而与刘妍妍等<sup>[16]</sup>得出的山脊和阴坡是 CWD 的易发地形及与 Spetich<sup>[27]</sup>等提出的 CWD 贮量沿东南-西北梯度增加的结论不同。此外,不同地形下,CWD 贮量的样方分布极不均匀,具有空间异质性,可能原因是坡向和坡位等环境因子的组合会对光照、水分和温度

造成交叉影响<sup>[25]</sup>,而这种环境因子的交叉作用会对树种的组成和分布产生某些影响,进而影响到整个群落 CWD 的结构和动态<sup>[28]</sup>;也可能是地形因子的影响被其它影响因子所掩盖,需要进一步的研究和探索;所以,地形因子的差异性对岭南黎蒴栲-罗浮栲群系的 CWD 贮量分布的影响不显著。

### 4.2 CWD 的基本特征和影响因素

本文中,岭南黎蒴栲-罗浮栲群系的 CWD 贮量为  $8.25 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,与亚热带其它地区相比,远低于鼎湖山常绿阔叶林的  $42.09 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ <sup>[19]</sup>及天宝岩猴头杜鹃 (*Rhododendron simiarum* Hance) 林的  $45.27 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ <sup>[21]</sup>和大明山常绿阔叶林的  $33.14 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ <sup>[22]</sup>,但高于广州市阔叶林的  $5.31 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ <sup>[29]</sup>和粤北车八岭背风坡常绿阔叶林的  $5.66 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ <sup>[23]</sup>,和灵石山低山常绿次生林的  $7.41 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ <sup>[30]</sup>、武夷山甜槠 (*Castanopsis eyrei* (Champ.) Tutch.) 林的  $7.35 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ <sup>[17]</sup>较接近。这是因为,影响 CWD 贮量的原因多样,如所处气候带、干扰历史、林型、林龄、地形、经营方式、树种组成和林木耐腐性等<sup>[2-3]</sup>。CWD 的贮量一般为:阔叶林 > 针阔混交林 > 针叶林<sup>[31]</sup>;原始林 > 次生林<sup>[32]</sup>;同一林分随着年龄的增长,通常呈现“U”型增长,即幼龄林死亡率较高,随林龄增加死亡率减小,到老龄林阶段死亡率又增加<sup>[1,31]</sup>。

CWD 的主要存在形式为倒木和枯立木,与大多数人的结论一致<sup>[23,29-30,32-33]</sup>。CWD 处于 1、4 腐解等级的较多,除台风干扰外,树种组成和林木耐腐性差异是重要的影响因素,因此,枯立木和倒木的种类识别工作有待加强。CWD 数量集中在 5~15 cm 小径阶范围内,但贮量却不是很大,数量较少径级较大的 CWD 构成了其生物量的主体,这是因为小径阶比大径阶分解速度相对较快<sup>[12]</sup>,密度较小,同时也可以反映出该森林群落还未趋于稳定,小径阶 CWD 的产生主要还是林木竞争和自然稀疏的结果。

## 5 结论

由本文可知:粤北小坑国家森林公园黎蒴栲-罗浮栲群系粗木质残体 (CWD) 的贮量、蓄积量、覆盖面积和数量分别为:  $8.25 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $27.52 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $138.87 \text{ m}^2 \cdot \text{hm}^{-2}$  和  $670 \text{ 根} \cdot \text{hm}^{-2}$ ; CWD 的空间异质性较大,其分布特征是多因素共同作用的结果,本研究中不同地形下其贮量、蓄积量、覆盖面积和数量的分布差异性不显著 ( $p > 0.05$ );倒木和枯立木是粗木质残体贮量的主要组成部分,且主要集

中在 1、4 腐解等级。此外,在平均直径( $D$ )的基础上,还引入了长度( $L$ )自变量,利用 423 组实测数据建立了不同腐解等级的 CWD 生物量幂函数回归方程,能更准确、快速地估算岭南地区亚热带常绿阔叶次生林 CWD 的本底数据,弥补冰灾前缺失的数据,为后期制定相应的管理政策和研究冰灾对 CWD 和系统植被碳库的影响等提供基础数据支撑。

## 参考文献:

- [1] Harmon M E, Franklin J F, Swanson F J, *et al.* Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems[J]. *Ecology Research*, 1986, 15:133–302.
- [2] Garbarino M, Marzano R, Shaw J D, *et al.* Environmental drivers of deadwood dynamics in woodlands and forests[J]. *Ecosphere*, 2015, 6(3): 1–24.
- [3] Davis J G, Chapman J I, Wu S Y, *et al.* Spatiotemporal Dynamics of Coarse Woody Debris in an Old-Growth Temperate Deciduous Forest[J]. *Forest Science*, 2015, 61(4): 680–688.
- [4] Kwak J H, Chang S X, Naeth M A, *et al.* Coarse Woody Debris Increases Microbial Community Functional Diversity but not Enzyme Activities in Reclaimed Oil Sands Soils[J]. *PLoS one*, 2015, 10(11): e0143857.
- [5] Goldin S R, Hutchinson M F. Thermal refugia in cleared temperate Australian woodlands: Coarse woody debris moderate extreme surface soil temperatures[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2015, 214: 39–47.
- [6] Goldin S R, Brookhouse M T. Effects of coarse woody debris on understorey plants in a temperate Australian woodland[J]. *Applied Vegetation Science*, 2015, 18(1): 134–142.
- [7] Frank S C, Steyaert S M J G, Swenson J E, *et al.* A “clearcut” case? Brown bear selection of coarse woody debris and carpenter ants on clearcuts[J]. *Forest ecology and management*, 2015, 348: 164–173.
- [8] Pitt D B, Batzer D P. Potential impacts on stream macroinvertebrates of an influx of woody debris from eastern hemlock demise[J]. *Forest Science*, 2015, 61(4): 737–746.
- [9] Kraut A, Liira J, Lõhmus A. Beyond a minimum substrate supply: Sustaining saproxylic beetles in semi-natural forest management[J]. *Forest Ecology and Management*, 2016, 360: 9–19.
- [10] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Good Practice Guidance for Land Use, Land Use Change and Forestry [R]. Institute for Global Environmental Studies (IGES), 2003.
- [11] 闫恩荣,王希华,黄建军. 森林粗死木质残体的概念及其分类[J]. *生态学报*, 2005, 25(1): 158–167.
- [12] 胡海清,罗碧珍,魏书精,等. 森林粗木质物残体贮量及功能研究综述[J]. *世界林业研究*, 2013, 26(2): 24–29.
- [13] 严 晓. 粗死木残体在城市绿化中的应用[J]. *安徽农业科学*, 2010, 38(13): 7090–7092.
- [14] 杨丽韞,代力民,张扬建. 长白山北坡暗针叶林倒木储量和分解的研究[J]. *应用生态学报*, 2002, 13(9): 1069–1071.
- [15] 王文娟,常 禹,刘志华. 大兴安岭呼中林区粗木质残体贮量及其环境梯度[J]. *应用生态学报*, 2009, 20(4): 773–778.
- [16] 刘妍妍,金光泽. 地形对小兴安岭阔叶红松(*Pinus koraiensis*)林粗木质残体分布的影响[J]. *生态学报*, 2009, 29(3): 1398–1407.
- [17] 李凌浩,邢雪荣,黄大明,等. 武夷山甜槠林粗死木质残体的储量、动态及其功能评述[J]. *植物生态学报*, 1996, 20(2): 132–143.
- [18] 魏 平,温达志,黄忠良,等. 鼎湖山季风常绿阔叶林死木生物量及其特征[J]. *生态学报*, 1997, 17(5): 505–510.
- [19] 杨方方,李跃林. 鼎湖山粗木质残体生物量特征[J]. *应用与环境生物学报*, 2011, 17(5): 750–752.
- [20] 杨礼攀,刘文耀,杨国平,等. 哀牢山湿性常绿阔叶林和次生林木质物残体的组成与碳储量[J]. *应用生态学报*, 2007, 18(10): 2153–2159.
- [21] 何东进,何小娟,洪 伟,等. 天宝岩猴头杜鹃林粗死木质残体数量特征[J]. *福建林学院学报*, 2008, 28(4): 293–298.
- [22] 温琳华,梁宏温,温远光,等. 大明山常绿阔叶林粗死木质残体贮量的初步研究[J]. *广西林业科学*, 2010, 39(4): 197–200.
- [23] 柳泽鑫,张 璐,区余端,等. 冰灾后粤北常绿阔叶林粗死木质残体的组成与结构[J]. *西南林业大学学报*, 2011, 31(4): 18–23.
- [24] 黄志宏,田大伦,周光益,等. 广东南岭不同林分类型土壤养分状况比较分析[J]. *东北林业大学学报*, 2009, 37(9): 63–67.
- [25] Oheinb G, Westphal C, Hardtle W. Diversity and spatio-temporal dynamics of dead wood in a temperate near-natural beech forest (*Fagus sylvatica*) [J]. *European Journal Forest Research*, 2007, 26: 359–370.
- [26] 刘翠玲,潘存德,梁 瀛. 鳞毛蕨天山云杉林粗死木质残体贮量及其分解动态[J]. *干旱区地理*, 2009, 32(2): 175–182.
- [27] Spetich M A, Shifley S R, Parker G R. Regional distribution and dynamics of coarse woody debris in mid-western old-growth forests [J]. *Forest Science*, 1999, 45: 302–313.
- [28] Zhang M, Xiong G M, Chen Z G, *et al.* The topology heterogeneity of *Fagus enleriana*–*Cycloba lanopsis oxyalan* community in shennongjia region[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(12): 2687–2692.
- [29] 张修玉,管东生,张海东. 广州三种森林粗死木质残体(CWD)的储量与分解特征研究[J]. *生态学报*, 2009, 29(10): 5227–5236.
- [30] 郑关关,洪 伟,吴承祯,等. 灵石山常绿次生林不同海拔 CWD 贮量特征[J]. *福建林学院学报*, 2009, 29(1): 6–10.
- [31] Pedlar J H, Pearce J L, Venier L A, *et al.* Coarse woody debris in relation to disturbance and forest type in boreal Canada[J]. *Forest Ecology and Management*, 2002, 158: 189–194.
- [32] 何 帆,王得祥,张宋智,等. 小陇山林区主要森林群落凋落物和死木质残体储量[J]. *应用与环境生物学报*, 2011, 17(1): 46–50.
- [33] Carmona M R, Armesto J J, Aravena J C, *et al.* Coarse woody debris biomass in successional and primary temperate forests in Chiloe Island, Chile[J]. *For Ecol Manage*, 2002, 164: 265–275.

(责任编辑:徐玉秀)