

吴志伟, 贺红士, 刘晓梅, 吴志丰, 梁宇, 张培峰, 李淑华, 宋国华. 王全波丰林自然保护区阔叶红松林粗木质残体研究[J]. 生态科学, 2011, 30 (2): 150-155.  
WU Zhi-wei, HE Hong-shi, LIU Xiao-mei, WU Zhi-feng, LIANG Yu, ZHANG Pei-feng, LI Shu-hua, SONG Guo-hua. Study on coarse woody debris in broadleaved-Korean pine forest of Fenglin National Natural Reserve[J]. *Ecological Science*, 2011, 30 (2): 50-155.

## 丰林自然保护区阔叶红松林粗木质残体研究

吴志伟<sup>1,2</sup>, 贺红士<sup>1\*</sup>, 刘晓梅<sup>1</sup>, 吴志丰<sup>1</sup>, 梁宇<sup>1</sup>, 张培峰<sup>1</sup>, 李淑华<sup>3</sup>, 宋国华<sup>3</sup>, 王全波<sup>3</sup>

1. 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016
2. 中国科学院研究生院, 北京 100049
3. 黑龙江丰林国家级自然保护区, 五营 153033

**【摘要】**粗木质残体(CWD)是森林生态系统的重要组成部分,对维持森林生态系统健康具有不可忽视的贡献。采用典型取样法在黑龙江丰林国家级自然保护区设置了17块20X20m的标准样地,拟对保护区内阔叶红松林中粗木质残体的贮量、形态组成、直径、长度及腐烂度等特征进行研究。研究结果表明:(1)CWD总贮量为 $75.61\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ ,其中倒木,枯立木和树桩的贮量分别为 $66.24\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ , $2.03\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $7.34\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 。(2)倒木和枯立木的优势径级范围分别为11cm~20cm(占CWD总数的46%)和0-10cm(45%);倒木和枯立木的优势长度范围分别为0~5m(66%)和6m-10m(49%)。(3)CWD腐烂度呈近正态分布,且主要分布在II(28%),III(35%)和IV(26%)腐烂等级上。

**关键词:**粗木质残体;阔叶红松林;丰林国家级自然保护区

doi:10.3969/j.issn.1008-8873.2011.02.010 中图分类号: S718.5 文献标识码: A 文章编号: 1008-8873(2011)02-150-06

## Study on coarse woody debris in broadleaved-Korean pine forest of Fenglin National Natural Reserve

WU Zhi-wei<sup>1,2</sup>, HE Hong-shi<sup>1\*</sup>, LIU Xiao-mei<sup>1</sup>, WU Zhi-feng<sup>1</sup>, LIANG Yu<sup>1</sup>, ZHANG Pei-feng<sup>1</sup>, LI Shu-hua<sup>3</sup>, SONG Guo-hua<sup>3</sup>, WANG Quan-bo<sup>3</sup>

1. Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China
2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China
3. National Nature Protection Area of FengLin, Heilongjiang, Wuying 153033, China

**Abstract:** Coarse woody debris (CWD) is an important component in forest ecosystems and has a significant contribution to the maintenance of forest ecosystem health. A total of 17 plots each with 20 m×20 m in size were typically located and sampled throughout the Fenglin National Nature Reserve. Storage, diameter, length, and decay rank of CWD in broadleaved-Korean pine forest were investigated. The results are as follows. (1) The CWD storage of broadleaved-Korean pine forest amounted to  $75.61\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ , of which down logs, snags, stumps were  $66.24\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ ,  $2.03\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ , and  $7.34\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ , respectively. (2) The dominant diameter classes of down logs and snags were 11–20 cm (46%, of total CWD in quantity) and 0–10 cm (45%), respectively; the dominant length classes of down logs and snags were 0–5 m (66%) and 6–10 m (49%), respectively. (3) The distribution of decay classes of CWD presented approximately normal distribution, and mainly concentrated on classes II (28%), III (35%), and IV (26%).

**Key words:** coarse woody debris; broadleaved-Korean pine forest; Fenglin National Natural Reserve

收稿日期: 2010-09-15 收稿, 2010-11-24 接受

基金项目: 中科院知识创新工程重大项目资助(KZCX2-YW-444)和973课题2009CB421101资助

作者简介: 吴志伟(1982—),男,江西东乡人,博士研究生,主要从事森林景观生态学研究。E-mail: sanbei82@163.com

\*通讯作者: 贺红士(1962—),男,辽宁沈阳人,博士生导师,主要从事森林景观生态学研究。E-mail: heh@missouri.edu

## 1 前言 (Introduction)

粗木质残体 (Coarse woody debris, CWD) 是森林生态系统的重要组成部分, 对维持森林生态系统多样性和森林健康起着举足轻重的作用<sup>[1]</sup>。它不仅是许多脊椎动物和无脊椎动物的栖息地和生长场所<sup>[2]</sup>, 而且影响着森林碳贮量、能量流动和养分循环<sup>[3]</sup>; 同时还有蓄水、防止水土流失等功能<sup>[4]</sup>。随着对森林生态系统结构与功能的深入研究CWD在森林生态系统中的独特作用引起了生态学家、林学家和自然保护工作者的广泛关注。

目前, 国外有关 CWD 的研究内容丰富, 涉及来源、贮量与动态、分解过程、碳素、养分贮藏、生物多样性维持、经营模式等方面<sup>[5]</sup>; 研究对象主要集中在美国、加拿大和欧洲北部等的温带森林<sup>[2,6,7]</sup>。我国 20 世纪 80 年代开始了 CWD 的研究, 但研究工作还处于起步阶段, 无论是研究内容和研究范围都有待进一步扩展<sup>[8]</sup>。国内 CWD 研究内容主要集中在贮量组成、分解动态和对森林生态系统更新的影响; 研究区域主要集中在长白山林区<sup>[9-11]</sup>。从现有文献来看, 针对作为我国三大林区之一的小兴安岭林区 CWD 的研究案例并不多见。

小兴安岭丰林国家级自然保护区内自然资源丰富、植被群落类型复杂多样, 是我国目前保存下来最为典型和完整的原生阔叶红松混交林分布区之一, 也是中国和亚洲东北部很具代表性的温带原始红松阔叶混交林区。但是, 长期以来由于受外界干扰 (人为的或自然的) 较少, 单纯依赖自然演替、更新, 保护区龄组老化日趋严峻, 势必对林内 CWD 的贮量、结构以及特征产生影响, 进而影响森林生态系统的健康。掌握保护区 CWD 的贮量及其结构特征, 对制定科学合理的森林抚育、CWD 管理措施具有重要的意义。故此, 本研究在丰林国家级自然保护区阔叶红松林内设置样方, 拟分析: ①CWD 的贮量与组成; ②CWD 的径级、长度结构; ③CWD 的腐烂度特征, 以其为进一步深入研究 CWD 的动态、分解及其管理模式等奠定基础。

## 2 研究区域与研究方法 (Study area and Method)

### 2.1 自然概况

丰林国家级自然保护区 (128°58'~129°15'E, 48°02'~48°12'N) 位于小兴安岭南坡中段北缘, 黑龙

江省伊春市五营林业局境内, 总面积 18 165.4 hm<sup>2</sup>, 森林覆盖率为 95%。保护区地形平缓, 属低山丘陵地形, 呈孤岛状, 三面环水, 海拔高度在 285~688 m 之间。境内主要河流有汤旺河, 丰林河, 平原河等大小河流 9 条, 以及季节性流水的小溪, 纵贯全区, 构成一个完整的水系。受东亚海洋气流及西伯利亚寒流的双重影响, 具有大陆性及季风气候相结合的特点。气候严寒, 季节性变化很大, 总体上冬季漫长寒冷而夏季短促湿润。年平均温度在 -0.5 °C 左右, 极端最高气温为 34.9 °C, 极端最低气温为 -44.5 °C。年平均降水量为 640.5 mm。土壤主要是发育在阔叶红松林下的地带性土壤-暗棕色森林土, 成土母质以花岗岩和片麻岩的风化物为主。

保护区内植被类型多样, 属长白山植物区系小兴安岭亚区, 地带性植被为温带针阔叶混交林, 是我国目前原始天然红松林生态系统保存最完整, 面积最大的分布区。针叶树种有红松 (*Pinus koraiensis*)、臭冷杉 (*Abies nephrolepis*)、云杉 (*Picea spp.*)、兴安落叶松 (*Larix gmelinii*) 等; 阔叶树有椴树 (*Tilia spp.*)、枫桦 (*Betula costata*)、水曲柳 (*Fraxinus mandhurica*)、黄檗 (*Phellodendron amurense*)、胡桃楸 (*Juqlans mandshurica*)、榆树 (*Ulmus spp.*)、色木槭 (*Acer mono*)、蒙古栎 (*Quercus mongolica*)、白桦 (*Betula platyphylla*)、山杨 (*Populus davidiana*) 等。

### 2.2 研究方法

#### 2.2.1 外业调查

到目前为止对 CWD 还没有一个统一的定义, 在不同的区域、对于不同的研究对象和研究范围, 研究者通常根据自己的研究需要来定义和调查 CWD<sup>[12]</sup>。本研究 CWD 定义为直径  $\geq 7.6$  cm 的死木质物, 包括倒木 (含大枝)、枯立木和树桩, 其中倒木为直径  $\geq 7.6$  cm, 并且与地面夹角  $< 45^\circ$  的死木质残体, 包括风倒、折断和采伐剩余物等; 枯立木是胸径  $\geq 7.6$  cm, 与地面夹角  $> 45^\circ$  的死木; 树桩包括伐木桩和倒木残体。

2010年7月份在丰林国家级自然保护区阔叶红松林内, 按照典型取样法设置 17 块样地, 样地大小为 20 m  $\times$  20 m。倒木记录长度、小端直径、中端直径、大端直径和腐烂级; 枯立木记录胸径、树高; 树桩记录中端直径和高度。按照文献<sup>[12]</sup>, 把不同腐烂程度的倒木划分为五个等级: I、II、III、IV 和 V (见表 1)。

表 1 CWD腐烂级划分标准

Tab.1 Classification system of forest CWD decay class

项目Item	分解等级Decay Class				
	I	II	III	IV	V
枝叶 Branches, twigs and leaves	枝叶全存在 Present	<5 cm的小枝脱落 Twigs less than 5 cm stubs	<10 cm的大枝脱落 Twigs less than 10 cm stubs	枝节脱落 Branch stubs	不存在 Absence
树皮 Bark	完整, 坚固 Intact, tight	存在 Present	大部分存在 Majority present	大部分脱落 Majority absent	无 Absent
木质结构完整性 Wood texture integrity	坚固, 原色 Solid, original color	坚固, 原色 Solid, original color	半坚实, 原色至 褪色 Semi-solid Original color to faded	部分变软, 原色 至褪色 Partly soft, original color to faded	变软破碎, 褪色 Fragmented, faded
植物生长状况 Vegetation condition	无 No present	无 No present	少量苔藓 Mosses cover less than 35%	少量灌木, 幼苗, 苔 藓覆盖一半 Few shrubs, seedlings, mosses cover about 50%	灌木, 幼苗较多; 苔藓 覆盖面积超过表面积的 50% More shrubs, seedlings, Mosses cover more than 60% of surface area

2.2.2 内业计算

本研究倒木体积计算公式为<sup>[13]</sup>:

$$V = \frac{(\pi/8)(D_s^2 + D_L^2) * L_i}{10000}$$

式中:  $V$  为单个倒木的体积( $m^3$ );  $D_s$ 、 $D_L$  为小端和大端直径( $cm$ );  $L_i$  为倒木长度( $m$ )。

枯立木、树桩体积计算公式为<sup>[14]</sup>:

$$V = DBA * H * f$$

式中:  $V$  为单个枯立木或树桩的体积( $m^3$ );  $DBA$  为枯立木的胸高断面积( $m^2$ ) (树桩为中端断面);  $H$  为高度( $m$ );  $f$  为行数(枯立木取值 0.41, 树桩取值 1)。

2.2.3 数据分析

所有数据均采用EXCEL 2003 和SPSS 13.0统计软件进行分析。

3 结果与分析 (Results and Analysis)

3.1 CWD贮量与形态组成

从表 2 可以看出, 丰林自然保护区 CWD 的总贮量为  $75.61 m^3 \cdot hm^{-2}$ 。其中, 倒木为  $66.24 m^3 \cdot hm^{-2}$ , 枯立木为  $2.03 m^3 \cdot hm^{-2}$ , 树桩为  $7.34 m^3 \cdot hm^{-2}$ , 分别占 CWD 总贮量的 88%, 3%和 10%; 从表 2 还可以看出, 阔叶红松林 CWD 的总株数为  $389 N \cdot hm^{-2}$ 。其中, 倒木有  $268 N \cdot hm^{-2}$ , 枯立木有  $52 N \cdot hm^{-2}$ , 树桩

表 2 CWD 贮量 ( $m^3 \cdot hm^{-2}$ ) 与株数 ( $N \cdot hm^{-2}$ )

Tab.2 Storage ( $m^3 \cdot hm^{-2}$ ) and amount ( $N \cdot hm^{-2}$ ) of CWD

项目 Item	粗木质残体来源 Source of CWD				显著性 Significance
	倒木 Down log	枯立木 Snag	树桩 Stump	合计 Total	
贮量 Storage	66.24	2.03	7.34	75.61	$p < 0.01$
株数 Amount	268	51	70	389	$p < 0.01$

有  $70 \text{ N}\cdot\text{hm}^{-2}$ , 分别占 CWD 总株数的 69%, 13% 和 18%。综合 CWD 贮量和数量组成结构可以看出, 在 CWD 的形态组成中, 倒木是 CWD 的构成主体, 其次为树桩, 枯立木最少, 各类型间呈显著性差异 ( $p < 0.01$ )。

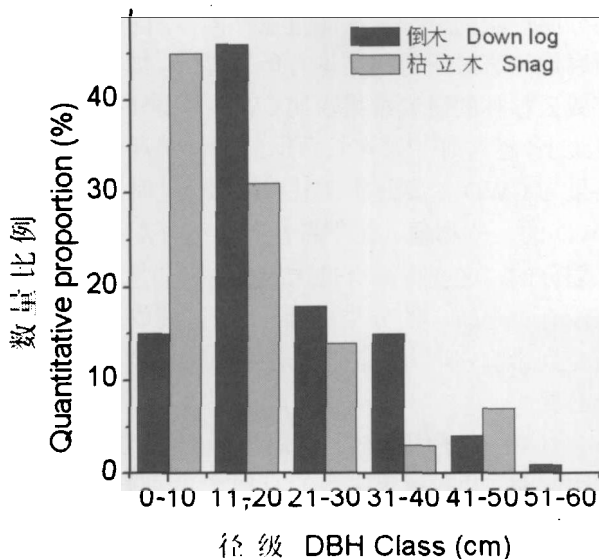


图 1 倒木和枯立木的径级分布

Fig.1 Distribution of down logs and snags at various DBH classes

### 3.2 CWD 径级、长度结构特征

径级结构是指 CWD 在不同胸径级死亡木中所占的株数比。以 10 cm 为径阶, 将倒木和枯立木划分为 0~10 cm、11 cm~20 cm、21 cm~30 cm、31 cm~40 cm、41 cm~50 cm 和 51 cm~60 cm 六个径级 (见图 1)。从图 1 可以看出, 丰林自然保护区倒木和枯立木径级结构存在一定的相似性, 即随着径级的增加, CWD 个体数量比减少。但二者之间还是有一定的差异: 倒木径级分布范围较大, 在 0~60 cm 范围内均有分布, 以 11 cm~20 cm 径级为优势, 占总倒木数量的 46%, 而枯立木径级分布比较集中, 主要分布在 0~20 cm 径级, 且以 0~10 cm 径级为优势 (占总枯立木数量的 45%); 倒木中 21 cm~40 cm 径级的个体数量比明显高于枯立木, 但在 41 cm~50 cm 径级的个体数量略低于枯立木; 大于 50 cm 粗大径级的 CWD 只在倒木中发现 (<5%), 枯立木中没有。从该研究结果可以看出, 径级 0~20 cm 林木的死亡率较高, 是林木管理的重点监护对象。

长度结构是指 CWD 在不同长度级死亡木中所占的株数比。以 5 m 为阶梯, 将倒木和枯立木划分为

0~5 m、6m~10 m、11 m~15 m 和 16 m~20 m 四个级 (见图 2)。从图 2 可以看出, 丰林自然保护区 CWD 长度结构差异较大, 倒木和枯立木的优势长度分别为 0~5 m

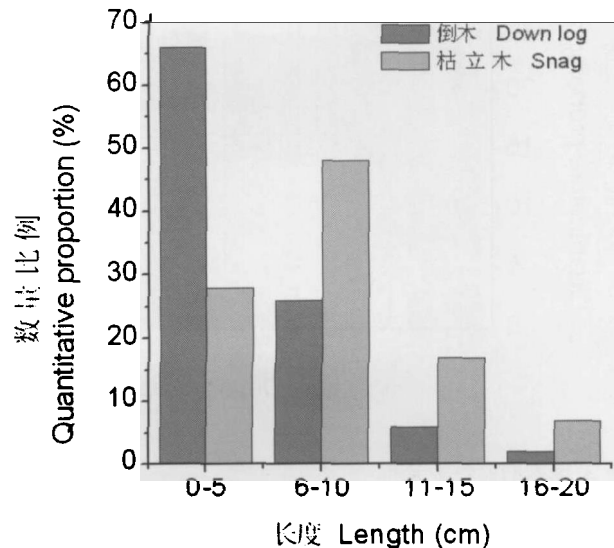


图 2 倒木和枯立木的长度分布

Fig.2 Distribution of down logs and snags at various length classes

和 6 m~10 m, 分别占 CWD 总数量的 66% 和 49%。倒木个体数量随着长度的增加, 递减趋势非常明显, 呈倒“J”型分布, 而枯立木个体数量则表现为向两极递减趋势, 呈倒“U”型分布。除 0~5 m 长度级外, 枯立木个体数量比均高于倒木, 分别高出 23%, 13% 和 5%。从该研究结果可以看出, 丰林自然保护区 CWD 长度集中在 0~10 m。

### 3.3 CWD 腐烂级分布

一般认为枯立木没有与土壤接触, 腐烂速度比倒木慢, 所以本研究仅分析了倒木腐烂特征。倒木腐烂级结构是指倒木在不同腐烂级死亡木中所占的株数比 (见图 3)。从图 3 可以看出, 倒木腐烂级个体数量基本呈正态分布。丰林保护区腐烂级为 II、III 和 IV 等级的倒木为主要成分, 分别占总倒木数的 28%, 35% 和 26%, I 与 V 腐烂级的倒木株数少, 分别占总倒木数的 3% 和 8%。

## 4 结论与讨论 (Conclusion and discussion)

(1) 丰林国家级自然保护区阔叶红松林 CWD 的

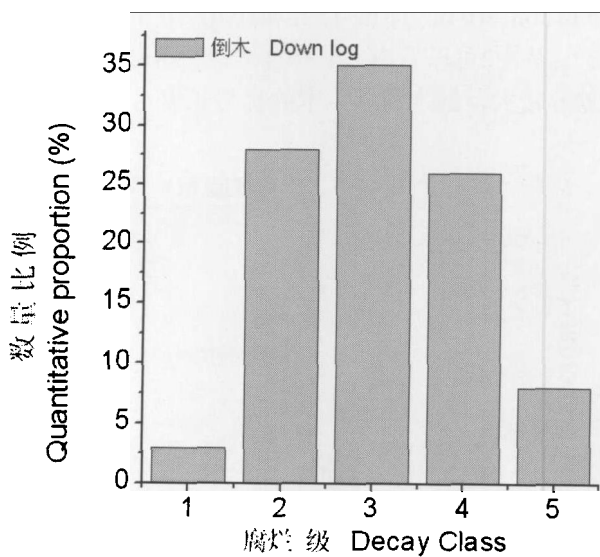


图 3 倒木的腐烂级分布

Fig.3 Distribution of down logs at various decay classes

总贮量为 $75.61 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ ，其中倒木为 $66.24 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ ，立木为 $2.03 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ ，树桩为 $7.34 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ ，各类型间呈显著性差异 ( $p < 0.01$ )。本研究与刘妍妍<sup>[15]</sup>等在小兴安岭凉水国家级自然保护区 ( $76.80 \sim 102.53 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ ) 和谷会岩<sup>[9]</sup>等在长白山白河林业局 ( $78.88 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ ) 的研究结果相似，但稍微低一些。CWD个体数量与刘妍妍等研究结果 ( $363 \text{ N} \cdot \text{hm}^{-2} \sim 417 \text{ N} \cdot \text{hm}^{-2}$ ) 相似，但比陈华<sup>[3]</sup>等在长白山自然保护区的研究结果 ( $114 \text{ N} \cdot \text{hm}^{-2}$ ) 高出很多，这可能与不同研究者对CWD的定义与统计方法不同有关。相关研究表明<sup>[16]</sup>，世界上天然针叶林的CWD平均贮量为 $72 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ ，最高可达 $138 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ ，本研究中天然红松林的CWD贮量与世界天然针叶林平均贮量相近。

(2) CWD来源有三个<sup>[12,17]</sup>：一是林木中生长期竞争和老龄林内树木自然死亡；二是风倒、雪压、林火、雷电和病虫害等自然干扰；三是采伐等人为干扰。在温带森林中，大风往往导致树木风倒(根拔)或风折，森林火灾、病虫害、林木竞争和抑制作用往往导致活立木直接或间接的死亡<sup>[11]</sup>。丰林为国家级自然保护区，受人为干扰很少，自然演替为林木更新的主要方式，森林龄组老龄化严重，幼中龄林面临断档之势。野外调查发现丰林保护区倒木的输入源以风、雪等自然干扰下干折或者拔根倒而形成的死木质为主，人为干扰(采伐)、森林火灾和病虫害的作用非常小；枯立木的形成主要是林木老死、林木竞争和抑制作用的

结果。

(3) 丰林自然保护区以II、III和IV腐烂级倒木数量居多，且呈正态分布，这与相关研究人员在小兴安岭<sup>[15,16]</sup>和长白山林区<sup>[9]</sup>的研究结果类似。但是由于划分腐烂级的分类系统侧重点不同，不同研究者在判断腐烂等级时所得的结论有所差异<sup>[15]</sup>，如Motta等在挪威云杉林的研究结果表明CWD主要分布在I和II等级上，赵秀海<sup>[11]</sup>等在长白山红松针阔混交林的研究结果为CWD主要分布在II和III级上。腐烂级是通过CWD的一些物理、化学特性和一些外观上的形态特征划分的，这些特征有量化的，也有非量化的。目前还没有一个统一的分类标准，不同研究成果间的比较而受到影响，所以制定一套通用的腐烂级分类系统十分必要。

(4) 传统的森林经营思想，把CWD看作“是一堆引起病、虫、火等灾害的废物”，片面强调“将林中的倒木和站杆清理出去”，而忽视了CWD的生态功能<sup>[11,18]</sup>。随着对CWD研究的深入，人们逐渐认识到森林CWD是森林生态系统中重要的结构性和功能性要素，直接影响着森林生物多样性的保护和森林群落的演替。森林生态系统中应该保留多少CWD？最优分布格局是什么？等，是丰林自然保护区CWD经营与管理需考虑的问题。

#### 参考文献 (References)

- [1] 杨丽韞, 代力民, 张扬建. 长白山北坡暗针叶林倒木贮量和分解的研究[J]. 应用生态学报, 2002, 3(9):1069-1071.
- [2] 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[J]. 生态学报, 2009, 29(10):5227-5236.
- [3] 陈华, 徐振邦. 长白山红松针阔混交林倒木站杆树种组成和储量的调查[J]. 生态学杂志, 1992, 11(1):17-22.
- [4] 代力民, 徐振邦, 杨丽韞. 红松阔叶林倒木贮量动态的研究[J]. 应用生态学报, 1999, 10(5):513-517.
- [5] 王文娟, 常禹, 刘志华, 陈宏伟, 荆国志, 张红新, 张长蒙. 大兴安岭呼中林区火烧迹地粗木质残体特征[J]. 应用生态学报, 2009, 20(8):1805-1810.
- [6] Jonsson M T, Jonsson B G. Assessing coarse woody debris in Swedish woodland key habitats: Implications for conservation and management[J]. *Forest Ecology and Management*, 2007, 242(3):363-373.

- [7] Harmon M E, Franklin J F, Swanson F J, Sollins P, Gregory S V, Lattin G D, Anderson J D, Cline S P, Aumen N G, Sedell J R, Lienkaemper G W, Cromack Jr K, Cummins K W. Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems[J]. *Advances in Ecology Research*, 1986, 15:133-302
- [8] 李世吉, 杨礼攀. 森林粗木质物残体(CWD)的研究进展[J]. 林业调查规划, 2009, 34(3):37-43.
- [9] 谷会岩, 代力民, 王顺忠, 于大炮, 周莉. 人为干扰对长白山红松阔叶混交林粗木质残体的影响[J]. 林业科学, 2006, 42(10):1-5.
- [10] 代力民, 徐振邦, 陈华. 阔叶红松林倒木贮量的变化规律[J]. 生态学报, 2000, 20(3):412-416.
- [11] 赵秀海. 长白山红松阔叶混交林中倒木的分布格局[J]. 吉林林学院学报, 1995, 11(4):200-204.
- [12] 刘志华, 常禹, 胡远满, 李月辉, 王金海, 张红新, 张长蒙. 呼中林区与呼中自然保护区森林粗木质残体储量的比较[J]. 植物生态学报, 2009, 33(6):1075-1083.
- [13] Waddell K L. Sampling coarse woody debris for multiple attributes in extensive resource inventories[J]. *Ecological Indicators*, 2002, 1(3):139-153.
- [14] 徐化成. 中国大兴安岭森林[M]. 北京:科学出版社, 1998, 164-182.
- [15] 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.
- [16] 金光泽, 刘志理, 蔡慧颖, 台秉洋, 蒋小兰, 刘妍妍. 小兴安岭谷地云冷杉林粗木质残体的研究[J]. 自然资源学报, 2009, 24(7):1256-1266.
- [17] Carmona R C, Juan J A, Juan C A, Pérez C A. Coarse woody debris biomass in successional and primary temperate forests in Chiloe Island, Chile[J]. *Forest Ecology and Management*, 2002, 64(1):265-275.
- [18] 陈华, 徐振邦. 粗木质物残体生态研究历史、现状和趋势[J]. 生态学杂志, 1991, 10(1):45-50.

