

鼎湖山锥栗粗木质残体的分解和元素动态

吕明和^{1,2}, 周国逸^{1*}, 张德强¹, 官丽莉^{1,2}

(1. 中国科学院华南植物园, 广州 510650; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 选取锥栗(*Castanopsis chinensis*)粗木质残体(coarse woody debris, CWD)的3个径级(径级1-3分别为5-10 cm, 10-20 cm和20-30 cm), 并且将每个径级的锥栗粗木质残体分为I、II、III、IV、V5个分解阶段。通过测定锥栗粗木质残体3个径级的I-III阶段的7种化学元素(C、N、P、K、Ca、Na、Mg)的浓度和CWD密度变化来研究其分解过程中的元素动态、分解速率及其分解过程中基质质量的变化。到分解阶段III时, 3个径级的重量与原来相比分别损失了36%、48%和43%。元素N、P、Mg、Ca、Na的浓度升高。元素N的累积可能和锥栗粗木质残体中寄生着固氮细菌和真菌有关。元素P、Mg、Ca、Na的浓度升高则可能是由于这4个元素因淋溶流失的速度小于锥栗粗木质残体质量的损失速度, 造成元素积聚, 元素C、K的浓度降低。N/P比值是较好的分解指示指标。虽然存在元素的净释放, 但是由于C和其它主要元素的释放速率较慢, 因而锥栗粗木质残体是森林中重要的C库和长期的元素来源。

关键词: 锥栗; 粗木质残体分解; 化学元素; 粗木质残体密度

中图分类号: Q946.921

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2006)02-0107-06

Decomposition and Nutrient Release from Coarse Woody Debris of *Castanopsis chinensis* in Dinghushan Forest Ecosystem

LÜ Ming-he^{1,2}, ZHOU Guo-yi^{1*}, ZHANG De-qiang¹, GUAN-Lili^{1,2}

(1. South China Botanical Garden, the Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: The nutrient dynamics during the decomposition of coarse woody debris (CWD) with different diameters from *Castanopsis chinensis* in Dinghushan monsoon evergreen broadleaved forest, Guangdong Province, was examined by sampling debris that were at various decaying stages. Changes in debris density were measured in debris with diameters of 5-10 cm (grade 1), 10-20 cm (grade 2) and 20-30 cm (grade 3) to study the composition rates, nutrient dynamics, and substrate quality during decay. Up to decay stage III, CWD grades 1, 2, and 3 lost its weight and carbon by 36%, 48% and 43%, and 33%, 47% and 19%, respectively. The concentrations of N, P, Mg, Ca and Na increased while C and K decreased. The increase in element content was likely due to lower leaching rate compared to the loss of CWD mass. N accumulation in CWD might be caused by nitrogen fixing bacteria and fungi. The change in ratio of N to P showed a good decomposition indicator in CWD. The release of carbon and other main nutrients was slow, thus CWD exhibited an important long-term carbon sink in the forest.

Key words: *Castanopsis chinensis*; Decomposition of coarse woody debris; Debris density; Nutrients

收稿日期: 2005-09-19 接受日期: 2005-12-26

基金项目: 国家自然科学基金(30470306), 中国科学院知识创新工程重要方向性项目(KSCX2-SW-120), 中国生态系统研究网络(CERN)联合资助

* 通讯作者 Corresponding author

粗木质残体 (coarse woody debris, CWD) 通常包括直径大于 2.5 cm 的枯立木、倒地尚未分解和处于分解中的树干、大树枝及其树桩和粗根^[1]。它在维持森林生产力、降低水土侵蚀、影响土壤发育、储存养分和水分方面发挥着重要的作用,是森林所需元素和能量的来源之一,同时还是植物、分解者和异养生物的栖息地^[2,3]。粗木质残体占森林生物量 10% 以上,相当于世界森林生态系统 C 量的 2%–10%,因此在森林中也是重要的 C 库^[3,4]。

目前粗木质残体对物质元素循环和土壤碳库的贡献并不清楚,对森林的长期可持续性管理的影响也亟待探讨。鼎湖山季风常绿阔叶林中,树木自然死亡形成了大量的粗木质残体,其中锥栗 (*Castanopsis chinensis*) 粗木质残体在种类组成方面占到 29.95%,位居第一^[5]。本文通过研究锥栗粗木质残体的分解,试图弄清分解过程中粗木质残体的分解速度、不同的分解阶段元素的动态变化,找出能够较好地反映锥栗粗木质残体分解过程的指标,为进一步阐明锥栗粗木质残体对森林生态系统的作用和贡献及森林的经营和可持续性管理提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 研究地概况

研究地设在鼎湖山国家级自然保护区内,位于广东省中西部,东经 112°30'39"–112°33'41",北纬 23°09'21"–23°11'30",面积 1 155 hm²。最高峰鸡笼山,海拔 1 000.3 m。该区属亚热带季风湿润气候,年平均降水量 1 956 mm,主要集中在 4–9 月份,占全年的 76%;

年平均温度为 20.9°C,最冷月(1 月)和最热月(7 月)平均温度分别为 12.0°C 和 28.0°C;年平均相对湿度为 80.8%。实验地点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°–33°,局部可达 40°。土壤为发育在沙页岩母质的赤红壤,土层厚度达 60–90 cm,表层有机质含量为 29.4–42.7 g kg⁻¹。植被类型为南亚热带季风常绿阔叶林,是该地区的顶级群落,已有近 400 a 的历史,植物种类丰富,群落结构复杂,成层现象明显,藤本植物和蕨类植物也较多。锥栗 (*Castanopsis chinensis*)、黄果厚壳桂 (*Cryptocarya concinna*) 和荷木 (*Schima superba*) 是该群落的主要优势种^[6]。

1.2 取样和野外测量

在 Sollins 等^[7]制定的分解阶段标准的基础上,将常绿阔叶林的优势种锥栗的粗木质残体分为 5 个分解阶段(表 1)。由于在 IV、V 阶段时,锥栗粗木质残体高度腐烂,辩种困难,因此本实验只选取 I、II、III 3 个分解阶段。分别在季风常绿阔叶林选取锥栗粗木质残体的 3 个径级,记为径级 1、径级 2、径级 3,分别为 5–10 cm, 10–20 cm 和 20–30 cm。每个径级选取分解阶段 I、II、III 作为实验材料。为了减少误差,将所有粗木质残体截长约 50 cm,并在野外进行称重,精确量取其长度及两头和中间的直径。在每个粗木质残体的两端及其中间各取一个约厚 2 cm 的圆盘(共 3 个圆盘),每个圆盘约重 100 g。样品放入密封塑料袋中带回实验室。

1.3 含水率、质量、密度和体积的测定

样品放入密封塑料袋中带回实验室,称其湿

表 1 锥栗粗木质残体五个分解阶段的区分标准(根据 Sollins 等^[7]修改)

Table 1 Characteristics of coarse woody debris with the five decomposition stages for *Castanopsis chinensis* (Adapted from Sollins et al.^[7])

分解阶段 Decay stages	木质 Texture	树皮 Bark	枝条 Branch	形状 Debris shape	入侵根 Invading roots	心材 Heartwood
I	坚硬完好 Hard, intact	完好 Intact	存在 Present	圆形 Round	无 None	完好 Intact
II	小部分开始分解 Partly decaying	完好或大部分存在 Intact or partly missing	存在 Present	圆形 Round	无 None	大部分存在 Partly missing
III	坚硬的大块,部分分解 Hard, partly missing	大部分存在 Partly missing	不存在 Absent	圆形 Round	处于边材 In sapwood	一半存在 Half missing
IV	柔软的木块 Soft pieces	大部分存在 Partly missing	不存在 Absent	圆到椭圆 Round to oval	处于心材 In heartwood	小部分存在 Largely missing
V	断成小块 Small soft portions	部分存在 Largely missing	不存在 Absent	椭圆到扁 Oval to flat	处于心材 In heartwood	少量存在 Trace

重,后放入 65℃ 的烘箱中烘干至恒重(约 7 d)再称其干重。其前后的质量差除以样品湿重即为含水率。锥栗 CWD 的干重由其野外测得的湿重减去含水量得出。密度由干重除以体积得出,体积和密度的计算公式如下:

$$V(m^3) = \frac{1}{3} \left[\frac{1}{4} \pi L (d_B^2 + d_M^2 + d_T^2) \right]$$

$$p = \frac{M}{V}$$

其中 P 表示密度, M 表示干重, V 表示体积, L 表示粗木质残体的长度, d_B 、 d_M 、 d_T 分别为粗木质残体底部、中间和顶部的直径。用锥栗粗木质残体分解阶段密度的降低程度来表示它的分解程度。

1.4 化学分析

样品经机械破碎再粉碎过 1 mm 孔径网筛,作元素分析用。

C 用重铬酸钾-硫酸氧化法, N 用凯氏法, P 用钼锑抗比色法, K、Na、Mg、Ca 经硫酸-高氯酸消煮法消煮后用 Optima 2000 DV 扫描 CCD 等离子体发射光谱仪测定^④。

2 结果和分析

2.1 密度、含水量、C/N 比和 N/P 比

从分解阶段 I 到 III, 3 个径级的粗木质残体密度显著降低(表 2)。在分解阶段 I, 径级 1 和径级 3 的密度相同, 两者均稍低于径级 2 的密度, 即径级

2>径级 3=径级 1。到分解阶段 III, 3 个径级的密度大小顺序为径级 1>径级 2>径级 3, 但没有统计学上的差异。此时, 径级 1、2 和 3 的粗木质残体质量已分别丧失了 36%、48% 和 43%。密度变化随分解阶段而降低, 而统计分析表明, 径级和分解程度之间的相关性并不显著, 表明该地区粗木质残体径级对分解速率的影响并不明显。

C/N 比在 3 个径级中随分解的进行表现出不同的变化规律。在径级 1 和径级 3 中呈降低趋势, 从 179-270 降低到 100-186; 在径级 2 中却持续升高, 从 126 增加到 229。从中可以看出初始 C/N 比值相对较高的径级其 C/N 比值随分解而降低, 而初始 C/N 比值较低的径级则随分解而升高。

N/P 比变化规律在 3 个径级中表现一致, 呈先降低后升高的变化, 但整体仍降低。其中径级 2 和径级 3 的比值始终相近, 且在各个分解阶段始终大于径级 1, 因此 N/P 比可以作为锥栗粗木质残体分解的指示指标。此外, 锥栗粗木质残体的心材在每个分解阶段变化明显, 易于观察辨认, 也可以和 N/P 比一起作为锥栗粗木质残体分解的指示指标。

CWD 水分的固持与其直径和分解状态都密切相关。锥栗粗木质残体的含水量随分解的进行而增加, 并且随着径级的增加有升高的趋势, 表明粗木质残体在森林中扮演着重要的保持水分的功能(表 2)。粗木质残体的这一水分保持功能在森林生态系统中有着重要的作用和意义。森林中粗木质残体均

表 2 锥栗粗木质残体不同径级不同分解阶段中的密度、含水率、C/N、N/P 的变化

Table 2 Density, water content, ratios of carbon to nitrogen and nitrogen to phosphorus in coarse woody debris of *Castanopsis chinensis* with different diameters at various decay stages

径级及分解阶段 Debris diameter and decay stages	密度 Density (g cm ⁻³)	含水率 Water content (%)	C/N	N/P
径级 1 Diameter 1 (5-10 cm)				
I	0.48±0.05	38±10	179±45	16±5
II	0.37±0.04	42±15	255±58	5±2
III	0.31±0.02	43±12	100±21	11±6
径级 2 Diameter 2 (10-20 cm)				
I	0.55±0.04	34±12	126±21	30±8
II	0.33±0.06	43±13	203±23	13±6
III	0.28±0.02	44±10	229±34	17±8
径级 3 Diameter 3 (20-30 cm)				
I	0.48±0.03	43±12	270±44	27±4
II	0.45±0.08	43±16	199±33	13±7
III	0.27±0.08	63±18	183±41	16±5

For decay stages I, II and III see Table 1.

能贮存水分且为树根和外菌根真菌提供栖息地,这在较长的旱季,作用就更加显著。在旱季森林中粗木质残体是重要的水分来源⁹。

2.2 碳和其它元素

从分解阶段 I 到 III, 3 个径级的碳含量逐渐降低, 但变化不大。在同一分解阶段不同径级间碳的浓度有差异。在分解阶段 I, 碳含量在 3 个径级中的顺序为径级 2>径级 3>径级 1。到分解阶段 III 时, 碳浓度的顺序为径级 3>径级 1>径级 2。随着分解的进行, 径级间碳含量的差别逐渐减小(图 1)。

在分解过程中, 碳含量降低与粗木质残体质量的降低是一致的。从阶段 I 到 III, 径级 1 的粗木质残体质量损失 36%, 碳的总量损失 33%; 而径级 2 的分别为 48% 和 47%; 径级 3 的则分别为 43% 和 19%。显然, 碳作为粗木质残体最重要的构成元素, 含碳有机物的分解对粗木质残体质量的损失贡献最大, 一部分经微生物分解以 CO₂ 形式释放到大气中去, 另一部分则以淋溶等方式损失。

在分解过程中, N、P 元素含量具有相同的变化趋势, 在径级 1 和径级 3 中随分解的进行而升高, 在径级 2 则随分解的进行而下降。至分解阶段 III 时, 径级 1 和径级 3 的粗木质残体 N 的含量分别比原来增加了 171% 和 135%, P 含量增加 260% 和 220%, 表现出在分解过程中对元素 N、P 的固持或富集; 在径级 2 中, N、P 的含量分别降低了 50% 和 17% (图 1), 这又显示了 N、P 的流失。从图 1 的结果可以看出, 随着分解的进行, 粗木质残体中 N 含量的变化与其初始值密切相关。在初始含量较高的径级 2 中, N 的含量随分解的进行而降低, 而在初始含量较低的径级 1 和 3 中, N 的含量则随分解而上升。Laiho¹⁰等曾发现不同树种间存在着类似的现象, 据本文的结果, 这种现象在同一树种不同径级间也存在。

Ca、Mg、Na 在分解过程中整体表现出升高的趋势, 可能是元素因淋溶流失的速度小于锥栗粗木质残体质量的损失速度, 因而造成元素富集。具体为 Ca 元素在 3 个径级中持续显著升高, 其中径级 3 的积聚表现最为显著, 为原来的 363%, 径级 2 和 1 的积聚为 206%、189%。Mg 在径级 1 中稍微降低然后升高, 在其它两个径级中持续升高。Na 浓度在径级 2 中持续升高, 在其它两个径级中都是先降低后升高。这一结果与 Krankina¹¹研究发现 Ca、Mg、Na 的

浓度在整个分解过程中升高 200%–300% 的结果相近。

K 浓度在 3 个径级中则表现出降低的趋势。在径级 1 和 3 中先升高后降低, 在径级 2 中持续降低, 但是 K 浓度的降低并非像 Preston 等^{11,12} 研究报道的那样显著。这一差异可能和锥栗的分解特征有关。由于通常树皮的 K 含量要显著高于心材和边材, 因此树皮的快速分解和 K 的大量流失显著相关。根据野外调查得到的锥栗粗木质残体不同分解阶段的特征可知, 锥栗树皮的分解速度要远低于心材的分解速度。到分解阶段 III 时大部分的树皮依然存在, 而心材已部分分解, 且有大量的白蚁取食心材, 心材出现空洞(表 1)。这和 Preston¹²等在实验中观测到的在粗木质残体分解早期树皮大量快速分解脱落的现象相反。因此本实验中 K 元素的损失并不显著, 甚至有暂时升高的现象。

3 讨论

锥栗粗木质残体在分解过程中 N、P、Ca、Mg、Na 元素得到积累, C、K 元素得以释放, 但元素固持和释放的速率都很缓慢。森林生态系统在长期演替过程中存在大量的粗木质残体, 其在系统中始终扮演着重要的角色。粗木质残体在分解过程中元素的缓慢释放, 可以为系统对养分的需求起到很好的调节作用。当森林生态系统受到干扰或破坏时, 粗木质残体中元素的固持和释放对元素从一个系统向另一个系统转移有着重要的作用¹³, 这对森林的演替和林木的更新具有重要意义。

粗木质残体的分解周期一般都比较长, 这在一定程度上限制了该项工作的开展。目前长期跟踪研究过粗木质残体的分解实验并不多, 更多的实验是先通过确定粗木质残体分解的时间, 再用时间序列法进行经验推导¹⁴, 这种方法显然无法确定影响粗木质残体分解因素的强弱, 而且在缺乏足够背景资料的条件下, 粗木质残体分解时间的确定也有很大的不确定性。只有通过长期的定位观测实验, 对粗木质残体的分解过程及其影响因素进行长期的跟踪测定, 才能揭示粗木质残体的分解过程和特征及其元素含量的动态变化规律, 为生态系统养分循环研究, 尤其是碳平衡研究的进一步完善提供理论依据。

致谢 鼎湖山生态系统定位研究站工程师刘世忠、褚国伟提供野外帮助, 特此致谢。

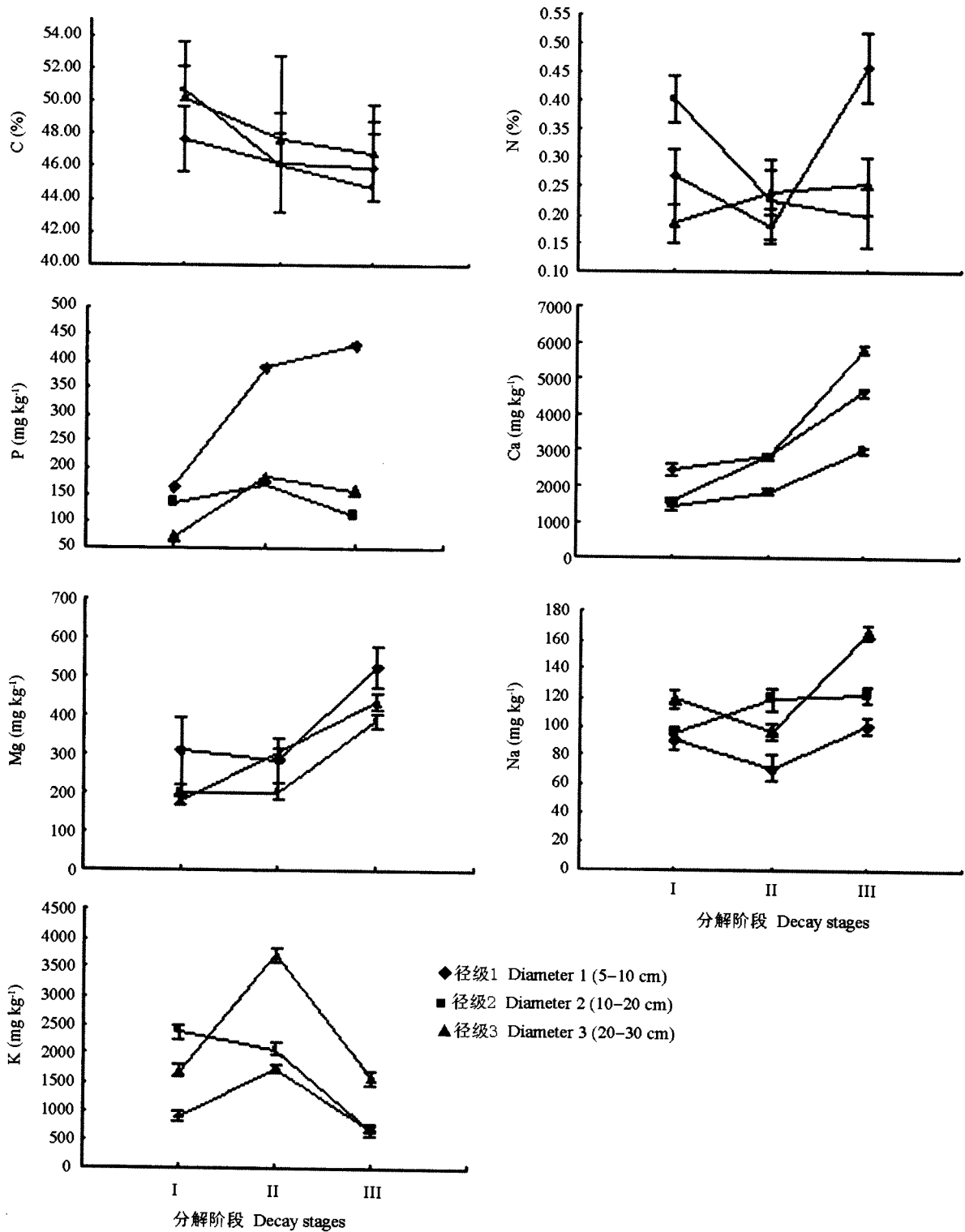


图 1 锥栗粗木质残体 3 个径级中的三个分解阶段中 C、N、P、Ca、Mg、Na、K 的含量

Fig. 1 The concentrations of C、N、P、Ca、Mg、Na and K in coarse woody debris of *Castanopsis chinensis* with different diameters at three decay stages

参考文献

- [1] Li L H(李凌浩), Dang G D(党高弟), Wang T J(汪铁军), et al. Coarse woody debris in an *Abies fargesii* forest in the Qinling Mountains[J]. *Acta Phytoecol Sin* (植物生态学报), 1998, 22 (5): 434-440.(in Chinese)
- [2] Franklin J F, Shugart H H, Harmon M E. Tree death as an ecological process [J]. *Bioscience*, 1987, 37:550-556.
- [3] Harmon M E, Franklin J F, Swanson F J, et al. Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems [J]. *Adv Ecol Res*, 1986, 15:133-302.
- [4] Hou P(侯平), Pan C D(潘存德). Coarse woody debris and its function in forest ecosystem [J]. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 2001, 12(2):309-314.(in Chinese)
- [5] Tang X L(唐旭利), Zhou G Y(周国逸), Zhou X(周霞), et al. Coarse woody debris in Dinghushan Nature Reserve [J]. *Acta Phytoecol Sin*(植物生态学报), 2003, 27:484-489.(in Chinese)
- [6] Huang Z F(黄展帆), Fan Z G(范征广). The climate of Ding Hu Shan [A]. *Tropical and Subtropical Forest Ecosystem Vol.1* [C]. Haikou: Popular Science Press, Guangzhou Branch, 1982. 11-16.(in Chinese)
- [7] Sollins P. Input and decay of coarse woody debris in coniferous stands in western Oregon and Washington [J]. *Canadian J For Res*, 1982, 12:18-28.
- [8] Dong M. Survey, Observation and Analysis of Terrestrial Bio-communities [M]. Beijing: Standard Press of China, 1999, 152-154.(in Chinese)
- [9] Victoria Stevens. The ecological role of coarse woody debris: an overview of the ecological importance of CWD in B. C. forests [A]. In: Victoria B C. B.C. Ministry of Forests Research [M]. British Columbia, Ministry of Forests Research, 1997. 30
- [10] Laiho R, Prescott C E. The contribution of coarse woody debris to carbon, nitrogen, and phosphorus cycles in three Rocky Mountain coniferous forests [J]. *Can J For Res*, 1999, 29:1592-1603.
- [11] Krankina O K, Harmon M E, Griazkin A V. Nutrient stores and dynamics of woody detritus in a boreal forest: modelling potential implications at the stand level [J]. *Can J For Res*, 1999, 29:20-32.
- [12] Preston C M, Trofymow J A, Niu J, et al. ¹³CPMAS-NMR spectroscopy and chemical analysis of coarse woody debris in coastal forests of Vancouver Island [J]. *For Ecol Manage*, 1998, 111:51-68.
- [13] O'Neill R V, Harris W F, Ausmus B S, et al. Mineral Cycling in Southeastern Ecosystems [M]. Oak Ridge, Tenn: Technical Information Center, Office of Public Affairs, U.S. Energy Research and Development Administration, 1974. 1-3.
- [14] Busse M D. Downed bole-wood decomposition in lodgepole pine forests of central Oregon [J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1994, 58:221-227.