

文章编号: 1008-2786-(2009)4-442-07

鼎湖山木荷 (*Schima Superba*)粗死木质残体的分解研究

杨方方^{1,2}, 李跃林^{1*}, 刘兴诏^{1,2}

(1. 中国科学院华南植物园, 广东 广州 510650; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 以鼎湖山国家自然保护区季风常绿阔叶林优势种之一木荷的粗死木质残体为研究对象, 采用目前国际较认可的腐解等级划分方法, 对木荷粗死木质残体 3个腐解等级 (I II III) 的密度及养分含量进行测定分析。结果表明: 木荷粗死木质残体的密度随腐解等级的增加从 0.58 g/cm³ 下降到 0.16 g/cm³, 分解速率常数 K 值为 0.144 7/a, 在自然状态下, 木荷粗死木质残体分解 95% 所需时间约为 21 a; 粗死木质残体 C/N 比值随分解的进行先降后升而 N/P 则相反; K、Ca、Na、Mg 离子浓度随腐解等级的增加出现不同程度的增加, 但增幅不明显。研究结果旨在为系统评估粗死木质残体的分解行为在生态系统养分循环中的作用提供基础数据。

关键词: 木荷; 粗死木质残体; 分解速率; 养分含量

中图分类号: Q948

文献标识码: A

粗死木质残体 (Coarse woody debris, 简称 CWD) 指处于不同腐解时期的直径 (通常指粗头部分) 10 cm 的枯立木、倒木、大凋落枝以及地下根桩部分^[1]。它们是森林生态系统中重要的结构性和功能性组成部分, 也是一个长期的碳库和营养源^[2,3]。由于其分解周期较长, 一般情况下, CWD 分解掉 95% 需要的时间约 20~300 a 不等^[4], 因此它在水土保持、维持森林生产力、多样性保护方面发挥着不可忽视的作用。在高温多雨土层较薄的南亚热带地区, CWD 在养分贮存和碳汇方面具有重要意义^[5,6]。

木荷 (*Schima superba*), 山茶科木荷属的常绿乔木, 木质坚硬, 含油脂少, 是南方重要的防火树种, 也是我国南方主要造林树种之一, 具有重要的医药和工业价值, 木荷林是我国中亚热带陆地生态系统重要的组成部分, 分布广泛^[7]。鼎湖山季风常绿阔叶林中, 由于自然死亡和灾害天气形成了大量的 CWD, 优势种锥栗、黄果厚壳桂、木荷占系统 CWD 总贮量的 81%^[8], 以前对锥栗、黄果厚壳桂 CWD 分

解做过相关研究, 而目前对木荷 CWD 的分解研究还少见有报道^[9,10]。在全球水热格局变化条件下, 季风常绿阔叶林生态系统碳汇功能是其重要的生态系统服务功能, 鼎湖山季风常绿阔叶林 CWD 的贮量占地上部分生物量的 11.3%, CWD 碳贮量为 13.21 Mg C/hm²^[8]。因此全面刻画其树种个体水平的养分循环、特别是 C 循环的特征, 对于科学评估我国季风常绿阔叶林的生态系统服务功能有着重要的意义, 但先前的研究往往集中于生态系统层面的凋落物研究^[1]。本文以木荷 CWD 为研究对象, 通过测定其密度及 C、N、P 等营养元素含量, 分析木荷 CWD 分解过程中密度变化与时间的关系、不同分解阶段元素的变化趋势, 为今后森林生态系统养分循环的研究以及森林管理提供数据支撑。

1 材料与方法

1.1 研究地概况

研究地点设在位于广东省肇庆市东北部的鼎湖

收稿日期 (Received date): 2008-11-29; 改回日期 (Accepted): 2009-03-09。

基金项目 (Foundation item): 国家自然科学基金项目 (40730102, 30725006)。[Supported by the National Natural Science Foundation of China (Projects 40730102, 30725006).]

作者简介 (Biography): 杨方方 (1981-), 女, 河南新乡人, 硕士研究生, 主要从事森林生态系统 C、N 循环研究。[Yang Fangfang, female, born in 1981, Postgraduate, research interest is carbon and nitrogen cycling in forest ecosystems.]

* 通讯作者 (Corresponding Author), E-mail: yuelin@scib.ac.cn

山自然保护区,地理坐标为 112°30'39" ~ 112°33'41" E, 23°09'21" ~ 23°11'30" N,属典型的南亚热带季风湿润气候,保护区总面积 1 155 hm²。年平均气温 20.9℃,干、湿季明显,年平均降雨量 1 956 mm,主要集中在 4~9月,年均相对湿度为 80.8%,年蒸发量 1 115 mm。样地区域气象观测塔 1994年至 2004年间的月平均温度和降雨量如图 1。

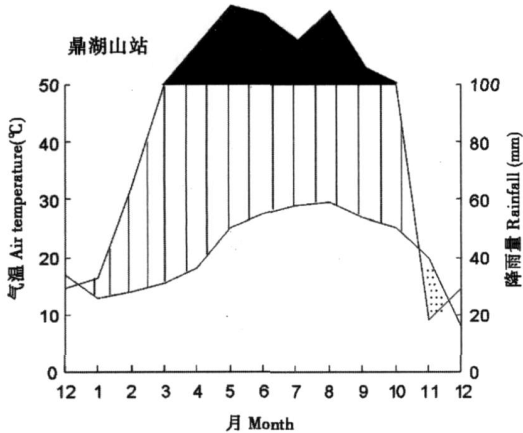


图 1 鼎湖山站气候图谱 (据季风常绿阔叶林样地气象观测塔 1994~2004年的气象数据)

Fig 1 Climate maps of Ding hushan

实验样地位于保护区核心区内的三宝峰,海拔 270~300 m,坡向东北,坡度 26°~33°;土壤类型为赤红壤,土层深厚,表层有机质含量为 29.4~42.7 g/kg^[11]。实验区植被类型为南亚热带季风常绿阔叶林(又称低山常绿阔叶林),已有近 400 a 的历史,为南亚热带植被演替的顶级群落,植被覆盖率达 85% 以上。季风常绿阔叶林群落结构复杂,成层现象明显,植物种类丰富,木本植物占绝对优势,蕨类和藤本植物也较多。该群落的主要优势种是锥栗 (*Castanopsis chinensis*)、木荷 (*Schin a superba*) 和黄果厚壳桂 (*Cryptocarya concinna*)。

野外采样

1992 - 11 将季风常绿阔叶林 1 hm² 永久样地划分为 25 个 20 m × 20 m 的 级样方,每个 级样方含有 16 个 5 m × 5 m 的小样方,对小样方内所有直径 2.5 cm,长度 1 m 的枯立木、倒木、凋落枝进行测量并记录树种。其后于 1994 - 11、1999 - 11、2003 - 03、2004 - 11 和 2008 - 11 进行了 5 次复查。此外,每年对样地内的粗死木现状进行调查并记录,尽可能登记新增粗死木的倒地时间以及状态。在鼎湖山季风常绿阔叶林永久样地内选取木荷 CWD 样

木,分解时间的确定以历年样地调查以及每年新增的木荷粗死木资料为依据。取样时分别在样木两端及中间各取一个约 1 cm 厚的圆盘,对腐烂较重的 CWD 直接采集,密封带回实验室。

腐解等级划分

由于季风常绿阔叶林高度腐解的 CWD 只占 CWD 贮量的 6%^[8] 且在腐解后期木质体和土壤溶合。基于 Sollins(1982)制定的标准^[12],根据实际情况将季风常绿阔叶林内木荷 CWD 分为如下 3 个腐解等级:

级:倒木树皮、侧枝完整或已缺损,边材完好。

级:树皮大部分脱落,边材部分腐烂。

级:树皮全无,边材大面积腐烂,心材部分腐烂。

密度和分解速率的测定

密封带回的样品中分别取出一部分进行密度测定,因其形状不规则,用保鲜膜密封并采用排水法测量其体积,体积测得后,将样品放入烘箱(105℃)烘至恒重,称量,根据干重和体积计算其密度

$$P = M / V \tag{1}$$

式中 P 表示密度, M 表示干重, V 表示体积。

CWD 分解模型选用应用最普遍的单项指数衰减模型^[13],即

$$y_t = y_0 e^{-kt} \tag{2}$$

CWD 分解掉 50%、90% 和 95% 所需要的时间的计算公式为 (3)、(4)、(5)。

$$T_{0.5} = - \ln(0.5) / k = 0.693 / k \tag{3}$$

$$T_{0.9} = - \ln(0.1) / k = 2.303 / k \tag{4}$$

$$T_{0.95} = - \ln(0.05) / k = 2.996 / k \tag{5}$$

式中 y_t 为 CWD 分解 t 时后的密度, y₀ 为刚开始分解时 CWD 的密度, k 为分解常数, t 为分解时间,单位为 a。

的养分含量测定

在对不同分解等级 CWD 密度测定的同时,将烘干样品进行粉碎并过 1 mm 网筛,进行养分含量分析。测定项目包括:全 C、全 N、全 P、全 K 和 Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺。全 C 用重铬酸钾氧化法;全 N 用凯氏定 N 法;全 P 用钼锑抗比色法;全 K 和 Na⁺ 用火焰光度计法;Ca²⁺ 和 Mg²⁺ 用原子吸收法^[14-18]。

2 结果与分析

的分解

CWD 的分解受其自身基质质量、结构组成和外

界环境因子的影响,是个非常复杂的过程^[2,4,19], CWD分解的过程正是其功能发挥的过程。CWD在分解过程中密度会逐渐减小,用密度变化来表征CWD的分解速率进而计算CWD分解速率与时间的关系。

根据CWD密度随时间的变化趋势,按照公式(2)单因素指数衰减模型对季风常绿阔叶林内木荷CWD的分解方程进行了拟合,得到木荷CWD的分解模型为 $y=0.6286e^{-0.1447t}$, ($R^2=0.944, P<0.05$) (图2)。由分解模型可知,木荷CWD的分解常数为0.1447。由分解速率公式(3)、(4)、(5)计算得到,在自然状态下木荷CWD分解50%、90%和95%所需时间约为5 a、16 a、21 a。

的养分含量

随着CWD的分解,其含水量和主要元素C、N、P以及K、Ca、Na、Mg的含量也随之改变(表1)。对于不同腐解等级的CWD,其含水量存在差异,通过

对同一时间,取样位置较为接近的CWD样品的分析发现:它们的含水量随着腐解程度的加剧,其潜在含水量有增加趋势。全碳含量随着CWD的分解先升高后降低,对CWD全碳和含水量进行多重分析表明,二者与分解等级之间均存在显著差异(见表1, $P<0.05$)。全N与全碳含量变化趋势相反,全N含量在腐烂等级的含量最高,相当于I级的2.1倍。木荷CWD的三个腐烂等级间的P含量变化甚微。CWD各腐烂等级的全K和Mg²⁺含量从腐烂等级到腐解等级呈上升趋势,但各腐烂等级之间均无显著差异现象(表1, $P>0.05$)。不同腐朽等级CWD中Ca²⁺含量的变化趋势在总体上表现为递增,在腐朽等级III时达到了含量最高点。Na⁺含量在三个腐烂等级中变现为两头高中间低的趋势。三个分解等级CWD的C/N随着CWD的分解先降后升,从268降低到161后又升到251;而N/P则相反,从12先升到15后降低到9(图3)。

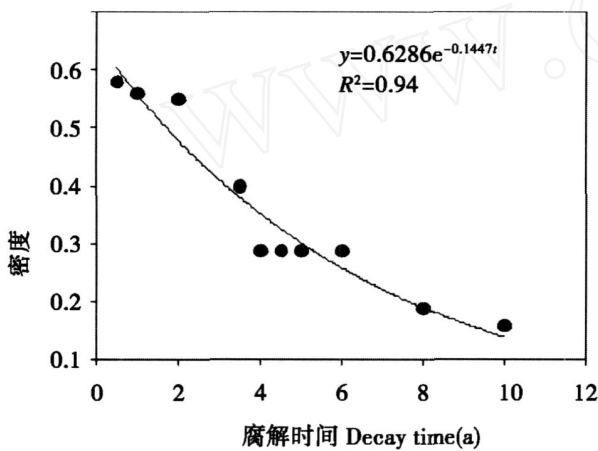


图2 腐解时间与密度之间的关系

Fig. 2 The relationship between decay time and density

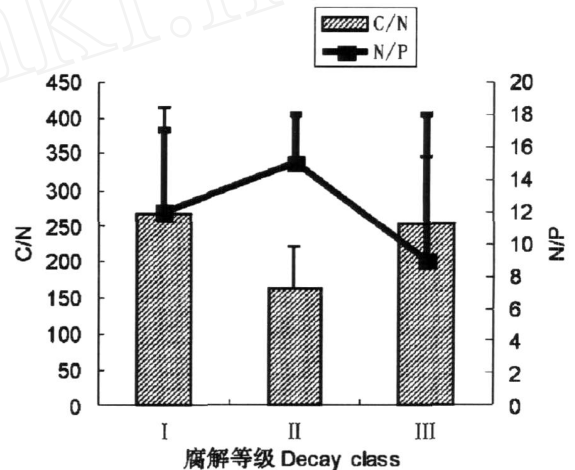


图3 腐解等级与C/N及N/P间的关系

Fig. 3 The relationship between decay class and C/N and N/P

表1 不同腐解等级CWD的含水量及养分含量多重比较结果

Table 1 The water content and nutritious content of different decomposition class CWD and Summary of multiple classical statistical analyses

腐朽等级	含水量 (%)	全 C (g/kg)	全 N (g/kg)	全 P (g/kg)	全 K (g/kg)	Na ⁺ (g/kg)	Ca ²⁺ (g/kg)	Mg ²⁺ (g/kg)
	29.67 ^a	467.5 ^{ab}	1.1 ^a	0.1 ^a	0.76 ^a	0.11 ^a	1.42 ^a	0.21 ^a
	(7)	(6)	(0.3)	(0.02)	(0.09)	(0.03)	(0.22)	(0.01)
	43.67 ^{ab}	459.4 ^a	2.3 ^a	0.15 ^a	2.31 ^a	0.33 ^a	3.32 ^a	0.4 ^a
	(5)	(2)	(0.4)	(0.05)	(1.13)	(0.15)	(1)	(0.13)
	52.67 ^b	477.9 ^b	1.2 ^a	0.16 ^a	0.38 ^a	3.79 ^a	0.2 ^a	
	(4)	(3)	(0.6)	(0.04)	(0.1)	(0.3)	(0.61)	(0.03)

注:平均值后不同字母表示差异显著,括号内数字为标准误。

Note: Mean in each column with different letter is significantly different, standard error is provided in brackets.

3 结论与讨论

的分解速率

通过对鼎湖山季风常绿阔叶林木荷 CWD 分解研究表明,木荷 CWD 的分解常数为 0.144 7/a,就分解常数 (k)而言,吕明和等在对鼎湖山季风常绿阔叶林黄果厚壳桂^[9] CWD 分解研究中得到的分解常数为 0.158 8~0.222 5。与本研究相比,所处海拔位置(海拔 280 m)基本相同而荷木的分解常数小于黄果厚壳桂,这可能由于木荷自身木质坚硬,不易分解,这说明分解速率与 CWD 的基质质量密切相关^[20]。而木荷 CWD 的 k 值高于 Mackensen^[21] 在澳大利亚对两种桉树 CWD 研究得到的 k 值 (0.127、0.041),亦高于 Ganjegunte^[4]、Guo^[22]、Garrett^[23] 在不同地点对 *Pinus radiate* 这一树种 CWD 的 k 值 (0.052、0.121、0.137)。此外,本研究结果与 Chambers^[24] 在亚马逊热带雨林 CWD 的分解常数 ($k = 0.167$) 相比稍低,也低于 Eaton^[25] 在热带干燥雨林对 *Bursera sinaruba* CWD 研究得到的 k 值 (0.643)。Chambers 和 Eaton 研究地年均温分别为 26.7、25,鼎湖山季风常绿阔叶林年均温 20.9。可

见,倒木分解速率不仅与树种有关还与其所在环境条件(海拔、温度、湿度等)相关。在低海拔地区,温湿度偏高,木质中真菌生长的最适温度是 25~30 且部分真菌都是嗜湿的^[26],致使倒木分解速率较大(表 2)。然而在 CWD 分解过程中哪个因子起决定性作用,现在还没有一致的结论。

的含水量及元素含量特征

CWD 含水量与腐解等级密切相关,木荷 CWD 含水量随着分解的进行而增加(见表 1),这一结果与鼎湖山黄果厚壳桂、锥栗^[9、10] CWD 中的含水量变化趋势一致。表明 CWD 在森林中的储水功能,其持水力在森林生态系统中特别是在干季具有重要意义。不同分解阶段,CWD 含水量呈现阶段性特点,即随着分解的进行,不同分解阶段的含水量不同,含水量的不同可能是导致分解速率不同的一个主要原因。尽管 CWD 的持水力与土壤(0~20 cm)相比很小,但 CWD 含水量不同会影响 CWD 的分解速率,含水量过高会减弱真菌活动以及呼吸作用进而导致分解速率的下降^[27]。Progar^[28] 认为在多雨森林倒木的呼吸和分解速率受到高水分含量的抑制。CWD 含水量对分解的影响呈非线性,含水量极高和极低都会制约分解者的活性从而影响分解速率^[29],

表 2 一些树种在不同气候条件下的分解速率常数的比较

Table 2 Decomposition rate constants of CWD of some species in different climate condition

森林类型及树种 Forest type and species	温度 () Temperature	k (a^{-1})	参考文献 Reference
Dry tropical forest, <i>Bursera sinaruba</i> 热带干燥雨林,苦木裂榄	25	0.643	Eaton <i>et al.</i> (2006年)
Pine forest, <i>Pinus radiate</i> 松林,辐射松	5.7~20.4	0.121	Guo <i>et al.</i> (2006年)
Lowland tropical rainforest, <i>Pinus radiate</i> 低地热带雨林,辐射松	11.2~21.2	0.049	Mackensen <i>et al.</i> (2003年)
Temperate pine forest, <i>Pinus radiate</i> 温带松林,辐射松	4.6~16.2	0.052	Ganjegunte <i>et al.</i> (2004年)
Lowland tropical rainforest, <i>Eucalyptus regnans</i> 低地热带雨林,王桉	7.3~19.5	0.127	Mackensen <i>et al.</i> (2003年)
Lowland tropical rainforest, <i>Eucalyptus maculate</i> 低地热带雨林,斑皮桉	4~23	0.041	Mackensen <i>et al.</i> (2003年)
Monsoon evergreen broad-leaved forest, <i>Cryptocarya concinna</i> 常绿季风阔叶林,黄果厚壳桂	20.9	0.159	吕明和等 (2006年)
Second P. radiate forest, <i>Pinus radiate</i> 次生松林,辐射松	14.0	0.137	Garrett <i>et al.</i> (2008年)
Monsoon evergreen broad-leaved forest, <i>Schin a superba</i> 常绿季风阔叶林,木荷	20.9	0.145	本实验

很多研究表明 CWD 含水量随着分解的进行而升高^[2,30-32]。Barker^[31]对花旗松的分解研究认为含水量的适当减少能够通过增加真菌和昆虫的活性使得分解速率显著提高。

C/N是表征 CWD 分解速率的重要指标,C/N越大分解速率越慢,木荷 CWD的这个比值表现为 > >,说明在腐解阶段 时分解速度最快,结果与黄果厚壳桂^[9]CWD中 C/N比趋势一致而与锥栗^[10]CWD中变化相反,这可能与 CWD初始 C、N含量有关。在分解过程中 N、P变化趋势相同,在 时最高,而 N/P先升后降,整体降低,表现出在分解中元素 P被固定,而 P含量相对稳定与其自身不易淋溶的性质有关,这与 Fabey^[33]研究美国黑松倒木分解过程中全 P含量的变化趋势基本一致。

全碳含量在腐解 最高,在 时最低,全碳含量降低一般与 CWD密度的减小相一致,但 C释放并不等同于 CWD质量损失,C多以 CO₂的形式归还到系统中,因 CWD分解周期较长,C损失速度与木质体腐解速度不同步,这也是在高腐解阶段 C含量没有下降的原因。本研究中不同分解等级 CWD全碳含量差异显著,到分解后期全 C含量减少,全碳含量随着分解进行下降的趋势与 Ganjegunte^[3]在新西兰对辐射松以及 Hamon^[26]在美国对松林分解研究中的结果一致。Ganjegunte^[3]认为 C含量在大凋落枝和树皮中随分解的进行下降而在树干中则表现为先升高后降低后继续升高的趋势,这与树干的分解速率较高有关。Garrett^[24]对辐射松粗根的分解研究表明其 C含量在经过 11 a分解降低到最初的 50%, Köhl^[34]在奥地利对 27个树种倒木 10 a的观测结果显示 C含量释放速率随分解的进行而增加,同样说明 C含量会随着分解进行而下降的趋势。

全 N含量木荷 CWD与锥栗、黄果厚壳桂 CWD相比偏低,但也随腐解等级的增加而升高,这与 Garrett^[24]、吕明和^[9]及杨丽韞^[35]在倒木分解研究中全 N的变化趋势相同。造成 N含量升高的原因主要在于细菌的固氮作用、降雨增加 N的输入等。随着 CWD的分解 N素持续累积表明 CWD在系统中可能成为一个不可忽视的氮源。

全 K、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺含量在分解过程中都有不同程度的升高,其中 Ca²⁺表现为持续升高,到腐解等级 时其浓度比原来增加了 171%,这一结果与 Krankina^[36]研究结果相近。K、Mg²⁺变化趋势相

同,先升后降,而 Na⁺含量随着分解先降后升,总体升高。

倒木分解与其木质性质、所处位置、所在小气候环境、微生物及土壤动物活动等都密切相关。由于 CWD分解周期较长,很多倒木在调查前就已经处于分解状态,倒木具体从什么时候开始分解很难估算,因此有必要进行长期深入的观测研究。

参考文献 (References)

- [1] Yan Enrong, Wang Xihua, Huang Jianjun. Concept and classification of coarse woody debris in forest ecosystems[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25 (1): 158 ~ 167 [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]
- [2] Hamon M. E., Franklin J. F., Swanson F. J., et al. Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems[J]. *Advances in Ecological Research*, 1986, 15: 133 ~ 302
- [3] Ganjegunte G. K., Gondron L. M., Clinton P. W., et al. Decomposition and nutrient release from radiata pine (*Pinus radiata*) coarse woody debris[J]. *Forest Ecol Manage*, 2004, 187: 197 ~ 211
- [4] Garrett L., Davis M. and Oliver G., Decomposition of coarse woody debris, and methods for determining decay rates, N Z J[J]. *Forest Sci*, 2007, 37: 227 ~ 240
- [5] Chen Hua, Xu Zhenbang. History, current situation and tendency of CWD ecological research[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 1991, 10 (1): 45 ~ 50 [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]
- [6] Li Linghao, Xing Xuerong, Huang Daming, et al. Storage and dynamics of coarse woody debris in *Castanopsis eyrei* forest of Wuyi Mountain, with some considerations for its ecological effects[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 1996, 20 (2): 132 ~ 143 [李凌浩,邢雪荣,黄大明,等. 武夷山甜槠林粗死木质残体的贮量、动态及其功能评价[J]. *植物生态学报*, 1996, 20 (2): 132 ~ 143]
- [7] Ni Jian. Relationship between geographical distribution of *Schinus molle*, its forest and climate in China[J]. *Plant Resour & Environ*, 1996, 5 (3): 28 ~ 34 [倪健. 中国木荷及木及木荷林的地理分布与气候的关系[J]. *植物资源与环境*, 1996, 5 (3): 28 ~ 34]
- [8] Tang Xuli, Zhou Guoyi. Coarse Woody Debris Biomass And Its Potential Contribution to the Carbon Cycle in Successional Subtropical Forest of Southern China[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29 (4): 559 ~ 568 [唐旭利,周国逸. 南亚热带典型森林演替类型粗死木质残体储量及其对碳循环的潜在影响[J]. *植物生态学报*, 2005, 29 (4): 559 ~ 568]
- [9] Lu Minghe, Zhou Guoyi, Zhang Deqiang. Decomposition of *Cryptocarya concinna* coarse woody debris (CWD) in Dinghushan [J]. *Journal of Guangxi Botany*, 2006, 26 (5): 523 ~ 529 [吕明和,周国逸,张德强. 鼎湖山黄果厚壳桂粗死木质残体的分解[J]. *广西植物*, 2006, 26 (5): 523 ~ 529]
- [10] Lu Minghe, Zhou Guoyi, Zhang Deqiang, et al. Decomposition and

- nutrient release from coarse woody debris of *Castanopsis chinensis* in Dinghushan forest ecosystem [J]. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2006, 14 (2): 107 ~ 111 [吕明和,周国逸,张德强,等. 鼎湖山锥栗粗木质残体的分解和元素动态 [J]. 热带亚热带植物学报, 2006, 14 (2): 107 ~ 111]
- [11] He Jinhai, Chen Zhaoqi, Liang Yongen The soil of Dinghushan Biosphere Reserve [J]. *Trop Subtrop Bot*, 1982, 1: 25 ~ 37 [何金海,陈兆其,梁永奕. 鼎湖山自然保护区之土壤 [J]. 热带亚热带森林生态系统研究, 1982, 1: 25 ~ 37]
- [12] Sollins P. Input and decay of coarse woody debris in coniferous stands in western Oregon and Washington [J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 1982, 12: 18 ~ 28
- [13] Olson, J. S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological system [J]. *Ecology*, 1963, 44: 322 ~ 331
- [14] Duan Yiping Determination of organic carbon in organic-inorganic compound fertilizers [J]. *Shanxi Chemical Industry*, 2002, 22 (2): 32 ~ 34 [段毅平. 有机无机复混肥中有机质含量的测定 [J]. 山西化工, 2002, 22 (2): 32 ~ 34]
- [15] Li Xingfang, Wang Shichang, Li Guangping Compare about different determinations of coarse protein [J]. *Feedstuff Industry*, 2003, 24 (8): 37 ~ 38 [李兴芳,王士长,李广平. 粗蛋白不同测定方法的比较 [J]. 饲料工业, 2003, 24 (8): 37 ~ 38]
- [16] Liu Lanying, Xu Ying, Tan Xiaoyan, et al Some determinative measurements of P in commensariat and feedstuff [J]. *Heilongjiang Food*, 2003, 3: 33 ~ 34 [刘兰英,许颖,谭晓燕,等. 粮食及饲料中磷含量几种测定方法 [J]. 黑龙江粮食, 2003, 3: 33 ~ 34]
- [17] Hao Zhuomin Determination of available K in soil [J]. *Journal of Zhaowuda Mongolian Teachers College*, 2000, 21 (3): 81 ~ 82 [郝卓敏. 土壤速效钾的测定 [J]. 昭乌达蒙族师专学报, 2000, 21 (3): 81 ~ 82]
- [18] Du Hangen, Jiang Haping AAS Determination of Ca, Mg and Fe in industrial waste residue through atomic absorption spectroscopy [J]. *Zhejiang Chemical Industry*, 2000, 31 (2): 49 ~ 51 [杜汉根,蒋海萍. 原子吸收法测定工业废渣中 Ca, Mg, Fe 含量 [J]. 浙江化工, 2000, 31 (2): 49 ~ 51]
- [19] Mackensen J, Bauhus J, and Webber E. Decomposition rates of coarse woody debris—a review with particular emphasis on Australian tree species [J]. *Aust J Bot*, 2003, 51: 27 ~ 37
- [20] Alban, DH. Pastor, J. Decomposition of aspen, spruce, and pine boles on two sites in Minnesota [J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 1993, 23: 1744 ~ 1749
- [21] Mackensen J, Bauhus J. Density loss and respiration rates in coarse woody debris of *Pinus radiata*, *Eucalyptus regnans* and *Eucalyptus maculata* [J]. *Soil Biol Biochem*, 2003, 35: 77 ~ 186
- [22] Guo L. B., Bek E. and Gifford R. M. Woody debris in a 16-year old *Pinus radiata* plantation in Australia: mass, carbon and nitrogen stocks, and turnover [J]. *For Ecol Manage*, 2006, 228: 45 ~ 151
- [23] Garrett L. G., Oliver G. R. Pearce S. H., et al Decomposition of *Pinus radiata* coarse woody debris in New Zealand [J]. *Forest Ecology and Management* 2008, 255: 3839 ~ 3845
- [24] Chambers JQ, Higuchi N, Schimel JP, et al Decomposition and carbon cycling of dead trees in tropical forest of the central Amazon [J]. *Oecologia*, 2000, 122: 380 ~ 388
- [25] Eaton J. M., Lawrence D. Woody debris stocks and fluxes during succession in a dry tropical forest [J]. *Forest Ecology and Management*, 2006, 232: 46 ~ 55
- [26] Hamon M E, Cromack K, Smith BG Coarse woody debris in mixed-conifer forests, Sequoia National Park [J]. *California Can J For Res*, 1987, 17: 1265 ~ 1272
- [27] Brais S., Sadi F., Bergeron Y., et al Coarse woody debris dynamics in a post-fire jack pine chronosequence and its relation with site productivity [J]. *Forest Ecology and Management*, 2005 220: 216 ~ 226
- [28] Progar R. A., Schowalter T. D., Freitag C. M., et al Respiration from coarse woody debris as affected by moisture and saprotroph functional diversity in Western Oregon [J]. *Oecologia*, 2000, 124: 426 ~ 431
- [29] Chen H., Hamon M. E., Griffiths R. P., et al Effects of temperature and moisture on carbon respired from decomposing woody roots [J]. *Forest Ecol Manage* 2000, 138: 51 ~ 64
- [30] Chambers J. Q., Schimel J. P., Nobre A. D. Respiration from coarse wood litter in central Amazon forests [J]. *Biogeochemistry* 2001, 52: 115 ~ 131
- [31] Lamberty B. B., Wang C., Gower S. T. Annual carbon flux from woody debris for a boreal black spruce fire chronosequence [J]. *J. Geophys Res - Atmos* 2002, 107: 8220
- [32] Barker J. S., Decomposition of Douglas-fir coarse woody debris in response to difference moisture content and initial heterotrophic colonization [J]. *Forest Ecology and Management*, 2008, 255: 598 ~ 604
- [33] Fahey T. J. Nutrient dynamics of aboveground detritus in lodgepole pine (*Pinus contorta ssp. latifolia*) ecosystems, southeastern Wyoming [J]. *Ecological Monographs*, 1983, 53: 51 ~ 72
- [34] Köhl M., Stüner W., Kenter B. and Riedel T. Effect of the estimation of forest management and decay of dead woody material on the reliability of carbon stock and carbon stock changes—A simulation study [J]. *Forest Ecology and Management*, 2008, 232: 46 ~ 55
- [35] Yang Liyun, Dai Lin in The decomposition and nutrient content of fallen woods in the moss-*Pinus koraiensis* dark-conifer forest at north slope of Changbai Mountain [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22 (2): 185 ~ 189 [杨丽轶,代力民. 长白山北坡苔藓红松暗针叶林倒木分解及其养分含量 [J]. 生态学报, 2002, 22 (2): 185 ~ 189]
- [36] Krankina ON, Hamon ME Dynamics of the dead wood carbon pool in northwestern Russian boreal forests [J]. *Water Air Soil Pollut*, 1995, 82: 227 ~ 238

Decomposition of Coarse Woody Debris (CWD) of Dominant Species *Schinus molle* in Monsoonal Evergreen Broadleaved Forest of Dinghushan Nature Reserve

YANG Fangfang^{1, 2}, LI Yuelin¹, LIU Xinzhaoh¹

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

2. Graduate School, Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China)

Abstract: According to an international standardized definition and classification that recently adopted widely for Coarse woody debris (CWD), CWD has been investigated in Dinghushan Nature Reserve monsoonal evergreen broadleaved forest, Guangdong Province in lower subtropical China, where permanent field plots from a 16-year (from 1992 to 2008) study of ecosystem structure and function in an old growth forest were surveyed to obtain sample data on CWD volume, density, and mass of dominant species *Schinus molle*. CWD was studied to examine nutrient by classifying three classes I, II, and III respectively. The results showed that (1) the density of *Schinus molle* CWD decreased from 0.58 g/cm³ to 0.16 g/cm³ with the decay class increasing, and decay rate (K) of *Schinus molle* CWD in a monsoonal evergreen broadleaved forest estimated as 0.1447 per year. Under natural conditions, the decay time of *Schinus molle* CWD at the loss of 95% initial mass is approximately 21a; (2) The variation responding to all the three classes I, II, and III decreased in C/N ratio from 268 to 161 then increased to 251 respectively, while N/P ratio increased from 12 to 15 then decreased to 9. (3) the concentrations of K⁺, Ca²⁺, Na⁺, Mg²⁺ increased with the change from one class to the succeeding class but not significantly. The goal here was to determine the decomposition rate of *Schinus molle* CWD; it is expected that this study will help explain the behavior CWD in nutrient cycling in forest ecosystem.

Key words: *Schinus molle*; coarse woody debris; decomposition rate; nutrient content