

天宝岩 3 种典型森林类型 CWD 持水能力的比较

游惠明¹, 何东进^{1*}, 刘进山², 蔡昌棠², 何小娟¹,
游巍斌¹, 朱乃新¹, 叶贤双¹, 王磊¹

(1. 福建农林大学, 福州 350002; 2. 永安天宝岩国家级自然保护区, 福建 永安 366032)

摘要: 对天宝岩国家级自然保护区 3 种典型森林类型内粗死木质残体(CWD)的持水量进行研究。结果表明, 柳杉(*Cryptomeria fortunei*)林内 CWD 的持水量最低; 不同森林类型各类 CWD 的水分蓄持能力不同, 猴头杜鹃(*Rhododendron simiarum*)林内以倒木 > 枯立木 > 树桩, 长苞铁杉(*Tsuga longibracteata*)林和柳杉林内为枯立木 > 倒木 > 树桩; CWD 有效持水量和自然含水率随 CWD 腐烂程度增加呈上升趋势。

关键词: 天宝岩国家级自然保护区; 粗死木质残体; 自然持水量; 有效持水量; 自然含水率

中图分类号: S714.7

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2010)06-0621-06

doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2010.06.005

The Water Holding Capacity of Coarse Woody Debris in Three Typical Forest Types in Tianbaoyan National Nature Reserve

YOU Hui-ming¹, HE Dong-jin^{1*}, LIU Jin-shan², CAI Chang-tang², HE Xiao-juan¹,
YOU Wei-bin¹, ZHU Nai-xin¹, YE Xian-shuang¹, WANG Lei¹

(1. Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China;

2. Tianbaoyan National Nature Reserve, Yong'an city, Yong'an 366032, China)

Abstract: The natural moisture content and effective water holding capacity of coarse woody debris (CWD) in three typical forest ecosystems in Tianbaoyan National Nature Reserve were studied. The results showed that the water holding capacity of CWD was the lowest in the *Cryptomeria fortunei* forest; the water holding capacity was in order as fallen tree > snags > stumps in *Rhododendron simiarum* forest, and snags > fallen tree > stumps in *Tsuga longibracteata* and *Cryptomeria fortunei* forests. The effective moisture holding capacity of CWD increased with decay class of CWD increment, as well as the natural moisture content of CWD.

Key words: Tianbaoyan National Nature Reserve; Coarse woody debris; Natural water holding capacity; Effective water holding capacity; Natural moisture content

粗死木质残体(Coarse woody debris, CWD), 是森林生态系统中的枯死木(枯立木、倒木)和小头直径大于 2.5 cm 的落枝、伐根等的总称^[1]。它是森林生态系统中重要的结构性和功能性组成要素, 在保持森林生态系统的完整性方面扮演着重要的角色^[2]。目前有关 CWD 的研究主要集中于数量特

征、分解、呼吸、营养动态、空间分布等方面^[3-11], 对其水土保持功能的研究较少^[12-14]。CWD 在发挥森林生态系统的水土保育功能上有着不可忽视的作用, 尤其对于生态脆弱的山地生态系统更为重要。天宝岩国家级自然保护区山地面积大, 地势起伏, 高差悬殊, 坡度陡, 水流势能大, 水蚀能力强, 生态

收稿日期: 2010-03-01 接受日期: 2010-06-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(30870435); 国家级大学生创新性实验计划项目(091038905); 中国博士后科学基金项目(20060390182); 福建省自然科学基金项目(2008J0116)资助

* 通讯作者 Corresponding author, email: fjhdjl009@126.com

系统的自我调节、自我修复的能力较低,使山地生态系统表现出不稳定性,即脆弱性。对山地的干扰破坏和不合理开发利用也会引起生态系统的衰退和演变,导致生态失衡,甚至崩溃^[15]。因此,如何有效提高该区域森林生态系统的水土保育功能显得尤为重要。本研究在前期工作的基础上^[16-18],对天宝岩 3 种典型森林生态系统内 CWD 的持水功能进行研究,为充分利用和发挥 CWD 的水土保育功能提供理论依据,为科学管理和保护天宝岩国家级自然保护区森林生态系统提供指导。

1 研究区概况

天宝岩国家级自然保护区位于福建省永安市东部的西洋、上坪、青水 3 个乡(镇)交界处,位于 117°28'3"~117°35'28"E,25°50'51"~26°1'20"N,总面积 11015.38 hm²,森林覆盖率 96.8%。保护区为中、低山地貌,属中亚热带海洋性季风气候区,年平均气温 15℃,1 月均温 5℃,7 月均温 23℃,极端最高温 40℃,极端最低温 -11℃,≥10℃ 的年活动积温 4500~5800℃,无霜期 290 d,年均降水量为 2039 mm,多集中于 5~9 月,年均相对湿度 80% 以上。该保护区地处我国中亚热带南缘,为泛北极植物区与热带植物区的过渡地带,物种丰富,保存有较原始的森林植被,生态系统相对完整而富有多样

性;有常绿阔叶林、常绿针叶林、落叶阔叶林、常绿针阔混交林、山顶苔藓矮曲林、竹林、灌丛和泥炭藓沼泽 8 种植被类型、39 个群系组及 52 个群丛,包含了我国中亚热带地区许多典型的植被类型,属森林生态系统类型自然保护区,其中有大面积的长苞铁杉林和猴头杜鹃林。天宝岩的长苞铁杉林不仅个体高大,且面积达 186.7 hm²,这在全国范围内是罕见的;猴头杜鹃在天宝岩近山顶处组成较大面积的苔藓矮曲林,这在其他地区内也是罕见;天宝岩有发育良好、面积较大的天然柳杉林。

2 研究方法

2.1 样地设置与调查

在天宝岩国家级自然保护区 3 种典型森林类型中设置 14 块 20 m×30 m 样地,每个海拔梯度设置 2 块样地(表 1),采用 5 m×5 m 相邻格子法进行调查,记录各样地的群落类型、海拔、坡度、坡向等因子,并对样地内所有直径≥2.5 cm,长≥1.0 m 的枯立木、倒木、大枝和树桩进行每木调查,逐株登记其输入方式(枯立木、倒木、树桩)、高度(长度)、胸径(DBH)、大头直径(基部直径)、小头直径(尾部直径)以及中央直径。按腐烂等级将粗死木质残体划分为 5 级^[19],分别用 I、II、III、IV、V 表示,确定各类粗死木质残体不同腐烂等级的标准木。

表 1 样地基本状况
Table 1 The status of plots

样地 Plot	植被类型 Vegetation type	海拔 Altitude (m)	坡度(°) Slope	坡向 Aspect	坡位 Slope position	面积 Area (m ²)
1,2	猴头杜鹃 <i>Rhododendron simiarum</i>	1518	31	NE 130°	上坡 Upper	1200
3,4	猴头杜鹃 + 长苞铁杉 <i>R. simiarum</i> + <i>Tsuga longibracteata</i>	1324	2	NW 30°	中坡 Middle	1200
5,6	猴头杜鹃 + 长苞铁杉 <i>R. simiarum</i> + <i>T. longibracteata</i>	1218	20	SE 5°	下坡 Down	1200
7,8	长苞铁杉林 <i>T. longibracteata</i>	1511	30	SE 15°	上坡 Upper	1200
9,10	柳杉林 <i>Cryptomeria fortunei</i>	1547	17	NE 20°	上坡 Upper	1200
11,12	柳杉林 <i>C. fortunei</i>	1106	24	NE 33°	中坡 Middle	1200
13,14	柳杉林 <i>C. fortunei</i>	992	25	SW 20°	下坡 Down	1200

2.2 CWD 持水能力的测定方法

现场称量不同腐烂等级标准木的湿重,并按分层取样法,从标准木树干的上、中、下部的中央部分分别截取一定体积的样品,现场称重后带回实验室,浸泡 12 h 后(饱和)再称重,然后将样品置于烘箱烘干至恒重并称重,以备分析测定。

CWD 持水能力通过自然含水率、自然持水量、饱和持水量及有效持水量来体现,计算方法: $R_0=$

$(m_1 - m_2)/m_2$; $W_0 = (m_1 - m_2)/nV$; $W_s = (m_3 - m_2)/nV$; $W_{sv} = W_s - W_0$,其中, m_1 为样品鲜重(g); m_2 为样品烘干后质量(g); m_3 为浸泡至恒重的样品质量(g); V 为样地面积(hm²); n = 样品鲜重/生物量; R_0 为自然含水率(%); W_0 为自然持水量(t hm⁻²); W_s 为饱和持水量(t hm⁻²); W_{sv} 为有效持水量(t hm⁻²)。数据按植被类型取平均值。

2.3 干扰林分的选择

3 种典型森林类型中,柳杉林受到的人为干扰较为严重,其倒木和树桩的形成主要是人为砍伐造成的。而海拔 1500 m 以上,人迹罕至,且风速较高,CWD 的形成与猴头杜鹃林和长苞铁杉林相似,主要是风害和病虫害造成。因此,选取柳杉林研究砍伐干扰下不同类型 CWD 有效持水量的变化(样地 9 和 10 干扰不严重,样地 11~14 干扰严重)。

3 结果和分析

3.1 CWD 持水量

猴头杜鹃林内各类型 CWD 的自然持水量以倒木(4.244 t hm^{-2})>枯立木(0.512 t hm^{-2})>树桩(0.273 t hm^{-2})、饱和持水量以倒木(6.707 t hm^{-2})>枯立木(0.976 t hm^{-2})>树桩(0.587 t hm^{-2})、有效持水量以倒木(2.463 t hm^{-2})>枯立木(0.464 t hm^{-2})>

树桩(0.314 t hm^{-2})。相似地,长苞铁杉林内各类型 CWD 的持水量也服从倒木>枯立木>树桩。猴头杜鹃林内倒木的自然持水量、饱和持水量和有效持水量占总持水量的比例分别为 84.39%、81.10%、76.00%,长苞铁杉林内倒木的持水量分别占 63.87%、60.44%、55.76%,显然,这两种林型中倒木表现出较大的水分蓄持功能。干扰严重的柳杉林内 CWD 主要由树桩构成,CWD 持水量为树桩>倒木>枯立木,且各类型 CWD 的持水量明显低于其他两种林分(表 2)。

3.2 CWD 的有效持水量

图 1 为海拔 1500 m 的 3 种森林类型内不同腐烂等级 CWD 的有效持水量。可见,中高腐烂等级的 CWD 有效持水量为猴头杜鹃林>长苞铁杉林>柳杉林,低腐烂等级的为长苞铁杉林>猴头杜鹃林>

表 2 不同森林类型 CWD 持水量的分布(t hm^{-2})
Table 2 Water holding capacity of CWD in different forest types (t hm^{-2})

林型 Forest types	类型 Types	自然持水量 Natural water holding capacity	%	饱和持水量 Saturated water holding capacity	%	有效持水量 Effective water holding capacity	%
猴头杜鹃 <i>R. simiarum</i>	倒木 Fallen	4.244 ± 0.317	84.39	6.707 ± 0.470	81.10	2.463 ± 0.013	76.00
	枯立木 Snags	0.512 ± 0.066	10.18	0.976 ± 0.089	11.80	0.464 ± 0.013	14.32
	树桩 Stumps	0.273 ± 0.008	5.43	0.587 ± 0.069	7.10	0.314 ± 0.025	9.69
长苞铁杉 <i>T. longibracteata</i>	倒木 Fallen	2.095 ± 0.078	63.87	3.436 ± 0.307	60.44	1.341 ± 0.021	55.76
	枯立木 Snags	0.986 ± 0.012	30.06	1.756 ± 0.083	30.89	0.770 ± 0.006	32.02
	树桩 Stumps	0.199 ± 0.040	6.07	0.493 ± 0.061	8.67	0.294 ± 0.037	12.22
柳杉 <i>C. fortunei</i>	倒木 Fallen	0.236 ± 0.047	32.87	0.420 ± 0.064	30.93	0.184 ± 0.010	28.75
	枯立木 Snags	0.157 ± 0.030	21.87	0.294 ± 0.053	21.65	0.137 ± 0.008	21.41
	树桩 Stumps	0.325 ± 0.049	45.26	0.644 ± 0.053	47.42	0.319 ± 0.014	49.84

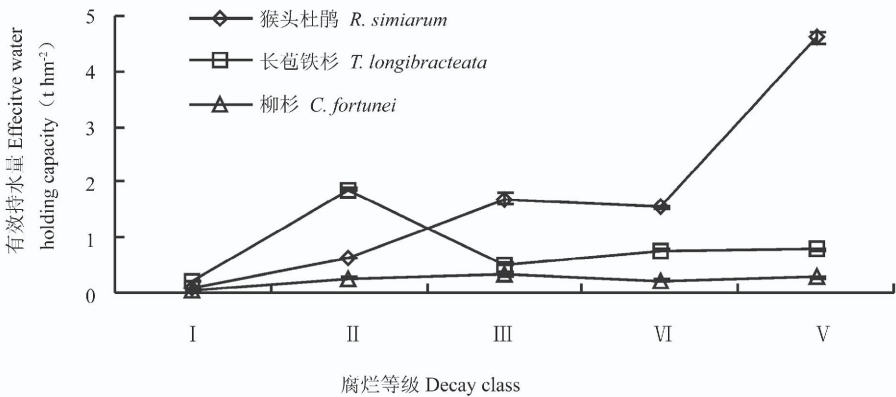


图 1 不同腐烂等级 CWD 的有效持水量
Fig. 1 Effective water holding capacity of CWD in different decay classes

柳杉林;猴头杜鹃林 CWD 的有效持水量随腐烂等级的增加而增加,而长苞铁杉林及柳杉林的变化不大,且干扰较少的柳杉林内各腐烂等级 CWD 的有效持水量均最低,这可能是 CWD 的输入以枯立木为主,而枯立木的持水量较小(表 2)的缘故。

图 2 为海拔 1500 m 的 3 种森林类型内不同类型 CWD 的有效持水量。可见,猴头杜鹃林内 CWD 及倒木的有效持水量明显高于长苞铁杉林和柳杉

林;猴头杜鹃林内不同类型 CWD 的有效持水量为倒木 > 枯立木 > 树桩,长苞铁杉林和柳杉林为枯立木 > 倒木 > 树桩;且柳杉林 CWD 的有效持水量均最低。这说明柳杉林 CWD 对涵养水源、保持水土功能的贡献远小于长苞铁杉林和猴头杜鹃林,也就是说,3 种纯林 CWD 的有效持水量以猴头杜鹃林 > 长苞铁杉林 > 柳杉林。

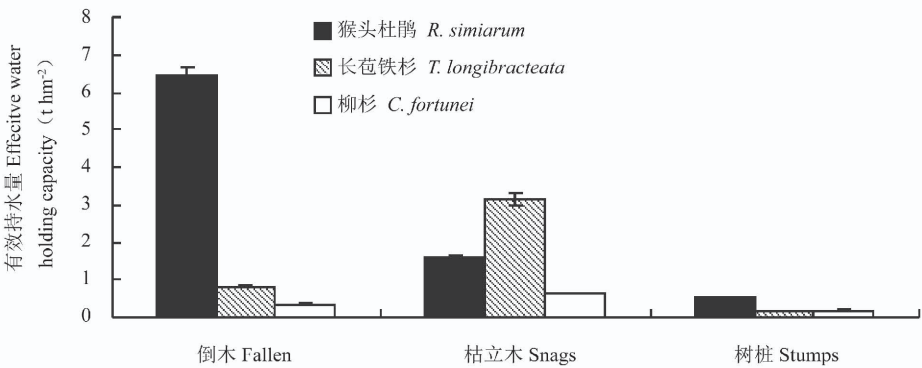


图 2 不同类型 CWD 的有效持水量
Fig. 2 Effective water holding capacity of different CWD types

表 3 不同森林类型 CWD 自然含水率的分布(%)
Table 3 Natural moisture content of CWD in different forest types (%)

林型 Forest types	类型 Types	腐烂等级 Decay class				
		I	II	III	IV	V
猴头杜鹃 <i>R. simiarum</i>	倒木 Fallen	47.18 ± 2.64	23.13 ± 2.03	29.68 ± 1.86	89.25 ± 4.89	239.76 ± 11.52
	枯立木 Snags	65.47 ± 4.20	63.65 ± 3.97	78.98 ± 5.39	163.77 ± 10.10	112.33 ± 12.24
	树桩 Stumps	/	47.14 ± 2.76	49.00 ± 3.01	40.21 ± 1.13	421.37 ± 17.59
长苞铁杉 <i>T. longibracteata</i>	倒木 Fallen	48.70 ± 2.95	52.21 ± 3.72	177.83 ± 12.01	29.96 ± 2.46	/
	枯立木 Snags	33.57 ± 2.64	62.1 ± 4.26	116.1 ± 9.89	135.94 ± 10.05	167.80 ± 12.49
	树桩 Stumps	/	100.42 ± 9.87	76.18 ± 6.17	229.96 ± 16.88	173.60 ± 13.56
柳杉 <i>C. fortunei</i>	倒木 Fallen	57.59 ± 3.39	71.72 ± 3.72	122.81 ± 9.78	93.50 ± 7.42	225.76 ± 15.03
	枯立木 Snags	14.97 ± 1.13	55.23 ± 2.84	105.86 ± 4.75	234.00 ± 16.34	415.36 ± 18.26
	树桩 Stumps	/	75.46 ± 5.65	110.81 ± 7.68	175.88 ± 13.24	340.32 ± 16.78

3.3 CWD 的自然含水率

从表 3 可见,总体上随腐烂等级的增加,3 种森林分内不同类型 CWD 的自然含水率大致呈递增趋势。自然条件下,高腐烂等级 CWD 的自然含水率明显高于低腐烂等级,说明腐烂等级高的 CWD 表现出更大的水分蓄持能力。这与前人的研究结果^[12-14]相符。其次,猴头杜鹃林内各类型 CWD 的自然含水率(23.13%~421.37%)比哀牢山原生湿性常绿阔叶林的(13.9%~380%)^[14]稍高;长苞铁杉林、柳杉林内倒木的自然含水率(29.96%~225.76%)比长江上游亚高山暗针叶林的(102.3%~507.1%)^[13]稍

低;柳杉林内 V 级枯立木的自然含水率(415.36%)明显高于长江上游亚高山暗针叶林(339.2%)。森林 CWD 的持水量与外界环境及 CWD 本身持水性能密切相关,其本身持水性能又与其种类、分解程度、降雨等条件紧密相关。对不同地区的 CWD 的自然含水率进行比较后发现,本研究的测定结果与前人的研究结果相比存在一定差异,可能由于不同地区不同森林类型内 CWD 的种类不同、腐解状态不同、CWD 的贮量不同、CWD 所处环境条件(如森林郁闭度、环境干湿状态)不同等等因素所致。此外,长苞铁杉林内 CWD 的含水率大于或等于其林

冠层、林下植被层的含水率^[20]。可见,CWD 对长苞铁杉林的水分蓄持功能的发挥有重要作用,有利于维持坡度较陡的山地森林生态系统的水分平衡。

3.4 干扰下 CWD 有效持水量的变化

从表 4 可见,受干扰后树桩的有效持水量所占比例显著增加,倒木的下降,枯立木的急剧降低,说明树桩对森林的水土保育功能的贡献率低于倒木

及枯立木,这与前人的研究结果^[12-14]相似。未受干扰的柳杉林 CWD 的有效持水量明显低于其他两种林分,且干扰后 CWD 的有效持水量以树桩为主,因此,CWD 在柳杉林分的水文生态功能不能得到充分发挥,不利于高差大、坡度陡的柳杉林森林生态系统的持续稳定发展。

表 4 柳杉林内 CWD 有效持水量(%)
Table 4 Effective water holding capacity of CWD in *Cryptomeria fortunei* forests (%)

干扰 Disturbance	海拔 Altitude (m)	倒木 Fallen	枯立木 Snags	树桩 Stumps
无干扰 Undisturbed	1547	29.05	55.48	15.47
砍伐 Cutting	1106	32.30	0.00	67.70
砍伐 Cutting	992	28.19	2.33	69.48

4 小结和讨论

CWD 作为森林生态系统的重要组成部分,在发挥森林生态系统的水源涵养功能上有着不可忽视的作用^[12-14]。前人的研究表明^[9],森林生态系统中 CWD 均具有一定的蓄水能力。本研究表明,不同林分内不同类型 CWD 的持水能力不同,猴头杜鹃林表现为倒木>枯立木>树桩,长苞铁杉林和柳杉林为枯立木>倒木>树桩。自然状态下 3 种典型森林生态系统内 CWD 的自然含水率随腐烂等级增加呈增加趋势,这与前人的研究结果^[13-14]相符。CWD 自然含水率的差异较大,可能是由于不同研究区域各腐烂等级 CWD 的数量及树种等有差异。此外,有关柳杉林的研究发现,对 CWD 持水能力较低的山地森林生态系统,再施加砍伐干扰不利于充分发挥 CWD 的持水功能,这可为保护区科学管理和保护森林提供科学依据,提高 CWD 的持水能力,促进森林演替及稳定发展。森林管理与保护的过程中,可以借鉴此次研究的成果,根据不同类型 CWD 的持水能力的差异,保留持水能力较强的 CWD,适当清除持水能力弱且容易产生病虫害的 CWD,以提高森林生态系统的水分蓄持能力,促进森林持续稳定地健康发展。

由于受调查样地的限制,本研究仅针对相同海拔梯度下不同森林生态系统的 CWD 持水量及自然含水量展开分析,未探讨不同海拔梯度的变化规律。然而,地形也是影响 CWD 持水功能发挥的重要因子,这还有待于进一步研究。此外,CWD 水文功能还包括截留降水、调节林地蒸发、影响土壤质地等方面,涉及 CWD 与降水、植被类型、土壤等多

种因素的相互作用机制及多学科理论和方法的运用,对此目前尚缺乏系统的研究。近年来,由于森林破坏而引起的水土流失、干旱等生态问题日益严重,森林生态系统的水文学研究已成为研究的焦点和热点。CWD 在森林经营中的重要作用,不仅有利于提高森林生态系统水分蓄持能力,提高森林资源利用率,促进森林生态系统的稳定与可持续发展,也是自然生态演替中的一环,扮演分解者的角色,有利于森林生态系统中养分循环和能量流动^[11]。因此,需要加强对 CWD 结构和功能的研究,以便为 CWD 的管理提供理论指导,同时,有必要对森林生态系统中的 CWD 的重要性进行广泛宣传,以提高对其的重视度,提高森林资源的有效利用率。

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]. Adv Ecol Res, 1986, 15: 133-302.

[2] Sollins P. Input and decay of coarse woody debris in coniferous stands in western Oregon and Washington [J]. Can J For Res, 1982, 12: 18-28.

[3] He D J (何东进), He X J (何小娟), Hong W (洪伟), et al. Quantitative characteristics of coarse woody debris in natural *Rhododendron siniarum* forests in Tianbaoyan National Nature Reserve [J]. J Fujian Coll For(福建林学院学报), 2008, 28(4): 293-298.(in Chinese)

[4] Harmon M E, Cromack K, Smith B G, et al. Coarse woody debris in mixed-conifer forests, Sequoia National Park, California [J]. Can J For Res, 1987, 17: 1265-1272.

[5] Cliton P W, Allwn R B, Davis M R. Nitrogen storage and availability during stand development in a New Zealand *Nothofagus* forest [J]. Can J For Res, 2002, 32(2): 344-352.

- [6] Sun X Y(孙秀云), Wang C K(王传宽). Carbon dioxide fluxes from downed log decomposition of major tree species in northeastern China [J]. *Acta Ecol Sin(生态学报)*, 2007, 27(12): 5130–5137.(in Chinese)
- [7] Brian W B, Han Y H C. Effects of forest type and disturbance on diversity of coarse woody debris in boreal forest [J]. *Ecosystems*, 2008, 11: 1078–1090.
- [8] Greenberg C H. Response of white-footed mice (*Peromyscus leucopus*) to coarse woody debris and microsite use in southern Appalachian treefall gaps [J]. *For Ecol Manag*, 2002, 164: 57–66.
- [9] Ban Y(班勇), Xu H C(徐化成), Li Z D(李湛东). Mortality patterns of *Larix gmelini* and effect of fallen dead wood on regeneration of old *Larix gmelini* forest [J]. *Chin J Appl Ecol(应用生态学报)*, 1997, 8(5): 449–454.(in Chinese)
- [10] Scott L S, Jason J M. Fuel treatment effects on snags and coarse woody debris in a Sierra Nevada mixed conifer forest [J]. *For Ecol Manag*, 2005, 214: 53–64.
- [11] He D J(何东进), He X J(何小娟), Hong W(洪伟), et al. Reserch progress of coarse woody debris in forest ecosystems [J]. *For Res(林业科学研究)*, 2009, 22(5): 715–721.(in Chinese)
- [12] Liu H Y(刘惠英), Zhang S Y(张思玉), Ji X(吉霞). The soil and water conservation function of coarse woody debris [J]. *World For Res(世界林业研究)*, 2004, 17(3): 25–28.(in Chinese)
- [13] Zhao Y T(赵玉涛), Yu X X(余新晓), Cheng G W(程根伟), et al. A slighting tache in field of forest hydrology research —— Hydrological effects of coarse woody debris (CWD) [J]. *J Mount Sci(山地学报)*, 2002, 20(1): 12–18.(in Chinese)
- [14] Yang L P(杨礼攀). Biomass, composition and ecological functions of woody debris in montane moist evergreen broad-leaved forest in Ailao mountains, SW China [D]. Beijing: Graduate University of Chinese Academy of Sciences, 2007: 1–93.(in Chinese)
- [15] Chen S L(陈松林). A study on fragility of mountain ecosystem and its ecological reconstruction in Fujian [J]. *Fujian Geog(福建地理)*, 2001, 16(2): 9–12.(in Chinese)
- [16] He X J(何小娟), He D J(何东进), Hong W(洪伟), et al. Study on spatial distribution of natural *Rhododendron simiarum* populations in Tianbaoyan Nature Reserve [J]. *J Yunnan Agri Univ(云南农业大学学报)*, 2009, 24(5): 734–738.(in Chinese)
- [17] Wang Q B(王其炳), He D J(何东进), Hong W(洪伟), et al. Influence of disturbances on the population competition of natural *Cryptomeria fortunei* in Tianbaoyan Nature Reserve [J]. *J SW For Univ(西南林学院学报)*, 2009, 29(1): 12–16.(in Chinese)
- [18] Zheng K J(郑开基), He D J(何东进), Hong W(洪伟), et al. The study on species diversity of *Cryptomeria fortunei* community at different altitude levels in Tianbaoyan Nature Reserve [J]. *J Sichuan Agri Univ(四川农业大学学报)*, 2009, 27(3): 289–294.(in Chinese)
- [19] Yan E R(闫恩荣), Wang X H(王希华), Huang J J(黄建军). Concept and classification of coarse woody debris in forest ecosystems [J]. *Acta Ecol Sin(生态学报)*, 2005, 25(1): 158–167.(in Chinese)
- [20] Zhong X S(钟祥顺). Study on water conservation function of natural *Tsuga longibracteata* forest [J]. *J Fujian Coll For(福建林学院学报)*, 1999, 19(3): 261–264.(in Chinese)