

粗木质残体(CWD)的水文生态功能

——当前森林水文研究中被忽视的重要环节

赵玉涛¹, 余新晓¹, 程根伟², 罗辑²

(1 北京林业大学, 国家林业局水土保持重点开放实验室, 北京 100083; 2 中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041)

摘 要: 目前对森林生态系统粗木质残体的研究主要着眼于数量动态、分布格局、分解速率以及对生物多样性保护的作用上, 而对江河上游森林生态系统中粗木质残体的水文调蓄、缓洪滞淤等功能至今还未能引起足够的重视。CWD 作为森林生态系统的重要部分, 其水文生态功能的发挥主要是通过影响降水在林内的再分配以及林内微环境来实现的。森林 CWD 水文功能的发挥要同时受到外界环境和其本身持水性能的影响。CWD 腐朽级的级别愈高, 自然相对含水量愈高, 而且愈容易吸水达到饱和。在长江上游亚高山暗针叶林生态系统中, 自然状态下 CWD 可以蓄持约 7.41mm 的降水, 若使 CWD 全部达到饱和则可以蓄持降水达 9.91mm, 这意味着自然状态下的 CWD 的有效持水量可达到 2.50mm, 无疑对于长江上游森林生态系统的蓄水调水、滞洪防蚀功能是一大贡献。

关键词: 森林生态系统; 粗木质残体(CWD); 水文功能;

中图分类号: P343

文献标识码: A

粗死木质残体(coarse woody debris)简称 CWD, 是森林群落内的枯死木(站杆、倒木)和小头直径大于 2.5cm 落枝、伐根等的总称^[1]。CWD 一词最早见于 1982 年 Sollins 对针叶林粗木质残体的研究^[2]。初期对 CWD 的研究主要是结合对昆虫的研究开展的, 随后随着北美及欧洲国家森林经营的逐步集约化, CWD 对林地土壤营养物质循环及其在森林更新中的作用开始逐步引起关注。目前大量研究资料表明 CWD 不但是森林生态系统生产力的重要组成部分, 影响着林地的土壤过程、林地小地形和林中生物的生境^[3~7], 而且在一定程度上影响着干扰的发生、强度及其传播, 其数量、结构、动态在某种程度上反映着森林的干扰历史^[8]。

随着由于森林的破坏而引起的风、沙、污、旱、盐、碱、涝等生态水问题的日益严重, 生态水文学已成为目前国际水文研究和生态研究的焦点和热点, 由此森林生态系统的水文功能研究也愈显得重要。作为森林生态系统中重要部分的 CWD, 在发挥森林生态系统的水文功能上有着不可忽视的作用, 根据笔者对长江上游贡嘎山东坡暗针叶林生态系统

CWD 水文效应的初步调查分析, 结果显示: 自然条件下, 倒木、站杆分别可蓄持 6 mm~9 mm 的水量, CWD 总蓄持水量可达到 10 mm 左右。进一步重视 CWD 在森林生态系统中对水量的调节作用和缓洪滞淤、保持水土作用是非常重要, 也是非常必要的。

1 CWD 对森林流域水文的影响

森林生态系统在其演替过程中均会因为外界生物因子、非生物因子的作用以及自身的生长节律而有一定数量的树木死亡形成站杆或倒木。CWD 作为森林生态系统的重要部分, 其水文生态功能的发挥主要是通过对降水在林内再分配以及林内环境的影响来实现的。

1.1 CWD 对降水的截留

森林 CWD 具有较大的水分截持能力, 从而影响到穿透降雨对土壤水分的补充和植物的水分供应。森林 CWD 吸持水量的动态变化在森林水文循环中的意义在于其对林冠下大气和土壤之间水分和能量传输的影响, 并直接关系到森林流域的产流机制。

收稿日期: 2001-09-18; 改回日期: 2001-12-18。

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(39930130)、高等学校博士点基金资助项目(200002209)资助。

作者简介: 赵玉涛(1975-), 男(汉族), 山东人, 北京林业大学水土保持与荒漠化防治专业在读博士生, 主要从事森林水文和景观生态方面的研究。E-mail: yutaobao@sina.com。

Hamon 等在俄勒冈州对老龄铁杉/黄杉林前 8a 内倒木的季节性和长期水分平衡变化进行了研究, 结果显示: 倒木腐烂 1 a~2 a 后, 38%~47% 的林冠穿透雨从他们表面流走, 29%~34% 淋溶到他们下面, 21%~30% 被吸收和蒸发。分解 8 a 后, 水进入倒木后淋溶数量增加了 1.3 倍, 径流流走则降低了 1.3 倍。被倒木吸收和蒸发的水分比例大小意味着在老龄林中他们截留了 2%~5% 的到达林地地面的林冠穿透雨, 甚至在腐烂初期, 他们可能影响到太平洋西北部老龄林的水文循环^[9]。

1.2 影响林地蒸发

一方面, 森林 CWD 的存在, 相对的增加了林地总表面积, 也就导致了林地蒸散量的增加。另一方面, 由于 CWD 对林地土壤的覆盖, 减小了林地的蒸发。

1.3 影响土壤入渗

森林 CWD 的性质影响着土壤的渗透。闫文德等对祁连山森林 CWD 水文作用的研究指出, 在大量 CWD 存在的林地内, 土壤具有容重低、孔隙度高、水分入渗快等特征^[10]。高渗透性的林地土壤可以把下渗水分分成不断在相互转化的垂直入渗和侧渗两种形式。这一高入渗的特点, 在数量上减少了地表径流量, 在时空上滞后了雨季降水的汇集, 对森林流域水分的传输表现出很强的调节作用。

1.4 增加地表糙率, 影响森林流域的产流产沙

首先, CWD 的存在本身就改变了林内的微地形, 增加了林地的地表糙率。其次, CWD 作为生物多样性的基质以及森林天然更新的苗床也为地表糙率的增加提供了基础。Dudley 等的研究表明: 森林流域沟道中 CWD 的存在使其满宁值 (Resistance Coefficient) 增加了 39%, 并且其影响程度随水流深度的增加而降低^[11]。Gumell 等学者研究了英国南部汉普郡沟源二三级支流针叶林森林流域的 CWD 的自然动态以及经营管理、CWD 的去除和河道演变对森林流域中 CWD 的动态的影响, 结果表明: 清除 CWD 7 a~8 a 后, 森林流域中的 CWD 蓄积量恢复到了原来数量, 但其对水土的最大力阻拦效应还未恢复到原来的自然水平^[12]。Haapala 对芬兰中部一条三级支流中的 CWD 进行研究后显示: 大约每年约有 $15.5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ CWD 加入溪流中, 占总凋落物 (310 g) 的 5%。然而沟道径流具有很低的保持凋落物的能力, 主要因为缺少诸如大型木质残体的有效阻拦物。在流速为 $0.46 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \sim 1.52 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 的溪流中, 约有 13%~40% 的叶片被保持住。故尔, Haapala 提出与

作为水生无脊椎动物食物来源的凋落物的季节变化相适应, 为了保持生物多样性, 流域管理中应该人为加入一定量的 CWD 来有效的保持溪流中的凋落物, 进而为溪流中水生生物的生存创造条件^[13]。

1.5 CWD 同时影响着森林流域的化学元素循环, 进而影响着流域的水质

Yin 指出在定量理解森林碳循环和地球碳循环中, CWD 的分解是主要的遗失环节^[14]。陈华等的研究指出: 估测全球碳贮量时, 若忽略 CWD, 则会产生达 2%~10% 的相对误差^[15]。从整个系统来看, CWD 中生物量的近一半是有机碳, 无疑是系统不可忽视的碳库和养分库^[16]。而且由于 CWD 分解缓慢, 释放营养元素滞后的特点, 使得 CWD 会在系统遭受重大外界扰动后, 起到贮藏养分增加系统稳定性的作用。一般情况下, 针叶林中的 CWD 数量可达到整个系统有机物质贮量的 1%~20%, 而 CWD 中的 N、P 能占到整个林地上部相应元素总量的 1%~21%^[17]。另外, CWD 在分解过程中还具有固 N 作用, 是陆地及水生生态系统中这一限制性元素的一个重要来源^[17]。然而, 森林流域中, 特别是林中溪流中 CWD 的存在, 固然是一些水生生物的生存基质, 但却会导致水中有机物含量上升, 造成水体富营养化, 对生物生存和繁衍产生负面影响, 这也是当前森林流域管理与森林水土资源的合理开发与利用中人们密切关注的主要问题之一。如何合理而辩证地对待 CWD 的功能也就必然会成为以后解决森林经营理论的重要依据

2 影响 CWD 水文功能的因素

森林 CWD 的水文功能的发挥要同时受到外界环境和 CWD 本身持水性能的影响, 而其本身持水性能又同时与其种类、干重、湿度、分解程度、累积状况、以及前期水分状况、降雨等气象条件密切相关。

一般来说, 随林分郁闭度的增加, CWD 累积量及其总持水量也会增加, 但因自然含水量的增加和蒸发的减弱而导致持水率降低。对森林 CWD 水分传输和水量转化的现场观测是较难的, 其含水量具有明显的时间和空间变异性更增加了研究的难度, 通常的方法是采集样本在室内测定。

外界干扰要影响到 CWD 的数量与质量^[18], 进而会对森林总 CWD 的水文功能产生影响。目前研究资料表明, 陆地生态系统中 CWD 总蓄积从 $60 \text{ m}^3/\text{hm}^2 \sim 1189 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 不等, 仅就倒木而言, 针叶

林中蓄积要明显高于阔叶林^[19]。在老龄林中 CWD 的生物量随立地湿度的不同而不同, 湿地具有更高的 CWD 蓄积量^[19~21]。干旱幼林地 CWD 偏于小径级, 老龄林则趋于正态分布; 湿地则均倾向于大径级, 即随 CWD 径级的增长, CWD 的量增加^[22]。

另外, 森林流域中 CWD 功能的发挥要受到洪水以及流域沟道特性的影响。Palik 等学者于 1994 年在佐治亚生态保护研究区研究了一次洪水后由于河岸带林木死亡而导致的溪流森林凋落物的增加量结果显示: 洪水使 平均每平方公里 22 株立木成为 CWD, 但不同地貌条件下的 CWD 蓄积量量大不相同, 高海拔、窄沟道的河岸地形具有最高的死亡率, 是凋落物的源, 而低海拔、宽河道为其汇。洪水愈大, 愈限制将来的溪流大型 CWD 的加入量, 因为洪水将限制这些树木的成长^[23]。Nakamura 等学者的研究同样表明河道宽度和蜿蜒度是控制森林流域沟道中 CWD 数量、驻留地、水分效应的主要因子^[24~25]。Ellis 等学者对木棉 (*Populus deltoides* subsp.) CWD 进行研究后指出: 其分解速率随洪水增加, 倒木无洪水区分解速率为 0.01/a, 半腐期(half~life)预测为 69.3a; 而 3 a 洪水试验后分别为 0.065/a 和 10.6a^[26]。这表明 >10 a 洪水就可以提前调整林地的有机质存贮量, 洪水还可以增加枯落物的数量。

3 长江上游暗针叶林生态系统 CWD 水文生态功能初步分析

3.1 CWD 吸湿与脱湿过程分析

CWD 分解的直接结果是木质密度的变化, 以及随之带来的 CWD 质量的损失和细木质碎屑 (Fine Woody Debris) 的增加。而影响 CWD 木材密度的因素中, CWD 的分解级只是次要因子, 主要因子是饱和吸水力, Thevenet 等学者的研究指出: 大部分 CWD 在经过 24h 浸水后会增加到本身重量的 1 倍, 而且, 24h 内的失水和吸水对生物量影响最大, 这将很大程度上影响到洪水期间的 CWD 转移^[27]。由此可以得到启示: 观察 CWD 的吸水或脱水过程可得到 CWD 对水文过程的响应, 进而可以很好的理解 CWD 的水文效应以及在森林生态系统水量调节中的作用。

通过对长江上游亚高山暗针叶林生态系统 CWD 按不同腐朽级别取样并利用浸泡和林下自然条件下晾干法研究其对水分的吸收与散失过程, 结果表明(见图 1~4): CWD 腐朽级的级别愈高, 自然

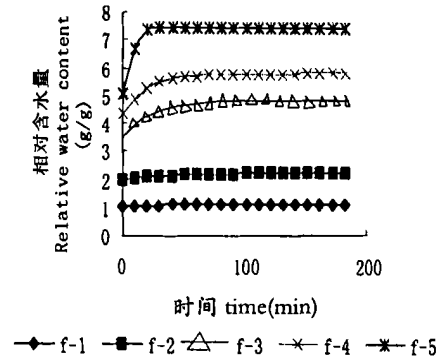


图 1 倒木吸湿过程

Fig 1 Water-absorption process of fallen tree

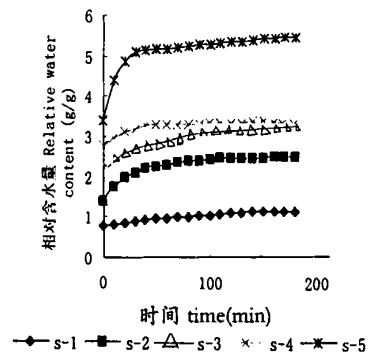


图 2 站杆吸湿过程

Fig 2 Water-absorption process of snag

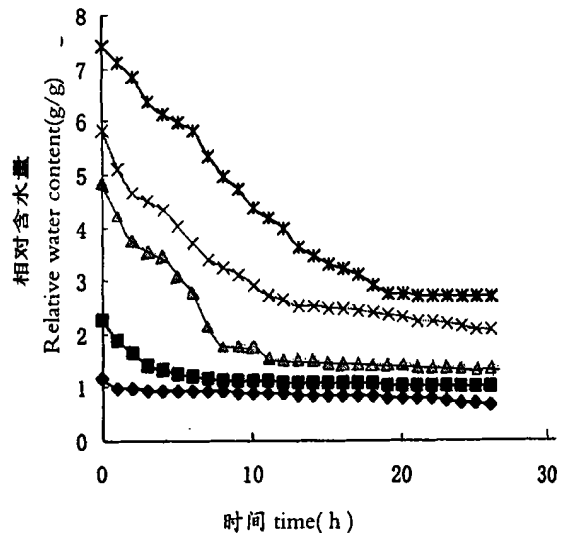


图 3 倒木脱湿过程

Fig 3 Water-absorption process of fallen tree

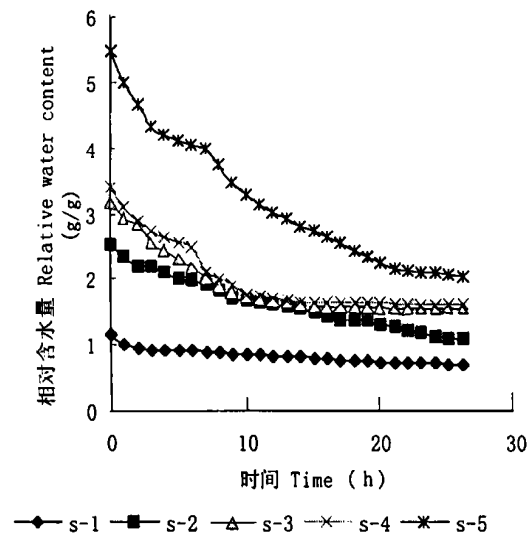


图 4 站杆脱湿过程
Fig. 4 Water-absorption process of snag

相对含水量愈高。林内自然条件下的处于第 V 级的站杆和倒木的自然含水量分别达到 339. 0%和

507. 1%, 几乎是本身干重的 4~5 倍多, 而处于第 I 级的 CWD 的自然含水量仅分别为 76. 23% 和 102. 3%, 约是本身干重的 1 倍左右。将 CWD 浸入水中后, 处于第 V 级的 CWD 迅速吸水, 20min 即几乎达到最大含水量, 而处于较低级别腐朽级的 CWD 的吸水过程则是较为平缓, 最大含水量到来的时间较长, 而且不很明显。说明 CWD 腐朽程度愈高, 则愈容易吸水达到饱和, 而腐朽程度愈低, 则愈不容易吸水达到饱和, 饱和持水量也愈低。其中, 处于第 I 级的站杆和倒木的饱和含水量仅为 117. 1% 和 115. 7%, 而处于第 V 级的站杆和倒木的饱和含水量分别可达到 549. 7% 和 742. 1%。

3. 2 CWD 在森林生态系统调节水量中的作用

研究表明: CWD 的密度是随 CWD 分解程度的增加而降低的^[28]。通过实测处于不同分解程度的 CWD 的干容重, 也具有类似的结果, 加上由于不同腐朽级的 CWD 蓄积量的差异以及自然含水量和饱和含水量的不同, 导致了它们的自然持水量和饱和持水量也大不相同(见表 1)。

表 1 CWD 持水量统计表
Table 1 Water-holding of CWD

CWD 类型	腐朽级	平均蓄积量(m ³ /hm ³)	干容重(g/cm ³)	自然含水量(%)	自然持水量(mm)	饱和含水量(%)	饱和持水量(mm)	有效持水量(mm)
站杆	I	0.41	0.48	76.23	0.02	117.1	0.02	
	II	2.23	0.36	142.0	0.11	252.1	0.20	
	III	4.12	0.25	202.1	0.21	317.6	0.33	
	IV	3.45	0.22	277.3	0.21	341.9	0.26	
	V	1.17	0.17	339.2	0.07	549.7	0.11	
	小计	11.38			0.62		0.92	0.30
倒木	I	8.99	0.48	102.3	0.44	115.7	0.50	
	II	17.42	0.34	198.1	1.17	224.6	1.33	
	III	34.02	0.23	349.0	2.73	482.7	3.77	
	IV	19.80	0.19	433.3	1.63	582.2	2.19	
	V	10.13	0.16	507.1	0.82	742.1	1.20	
	小计	90.36			6.79		8.99	2.20
总计		101.74			7.41		9.9	2.50

由表 1 统计结果可以看出:倒木的截持水功能要明显高于站杆。站杆在自然条件下的总持水量和饱和状态下的总持水量仅仅约为 0. 62 mm 和 0. 92 mm, 而倒木总自然持水量和饱和持水量却分别达到了 6. 79 mm 和 8. 99 mm, 是站杆截持水量的 10 倍。因为该区 CWD 多处于中度腐朽级, 所以无论站杆, 还是倒木, 均以处于第 III 腐朽级的持水量最大, 其中站杆和倒木的自然持水量和饱和持水量分别达

到了 0. 21 mm、0. 33 mm、2. 73 mm 和 3. 77 mm。表 1 表明:在自然状况下的暗针叶林生态系统中, CWD 可以蓄持约 7. 41 mm 的降水, 若使 CWD 全部达到饱和则可以蓄持降水达 9. 91 mm, 这意味着自然状态下的 CWD 的有效持水量可达到 2. 50 mm。这无疑对于森林生态系统的蓄水调水、滞洪防蚀功能是一大贡献, 而这方面的贡献以往却往往被忽视了。

4 讨论与展望

天然林中的 CWD 是森林系统本身在向更高阶段演替时实现其结构和功能上的调整以及外界干扰的结果。其产生与存在必然是系统动态平衡的自我调节的重要因子。

我国森林破碎化较严重,大面积成过熟林仅分布于东北、西南和华南,且大多数地区为人工林或次生林,加之 CWD 在时空分布、分解速率、分解级上的较大变异性造成了取样研究的困难,使得目前我国对 CWD 的研究不但主要集中于大兴安岭、长白山、秦岭、武夷山和鼎湖山等几个较大的森林生态系统中^[6,7,29,30],而且对 CWD 的功能研究也仍处于从认识到重视的阶段,要明显落后于欧洲和北美等国家。

1. 研究 CWD 的水文功能,须以对 CWD 的蓄积量研究为前提。由于 CWD 在森林生态系统中是“离散的、可计量的、易控制”的单位^[32],所以对 CWD 进行量化是比较容易的。然而目前使用的无论是调查方法,还是分析方法均存在着这样或那样的不足。林分速测镜样条分析法是最近提出的调查地面 CWD 的有效方法^[33,34]。但在应用之前,需要实地调查。角规抽样法调查 CWD 的存量,方法与林分速测镜样条分析法紧密相连,但用的是点抽样,而不是线抽样^[35]。当 CWD 稀疏时,用小区法调查不能充分反应实际,此时线状抽样是有效的,然而此时容易因为调查者的主观因素造成较大的系统估计误差。实际田间实验表明:系统误差并不是线状抽样主要的误差来源,而是起因于观测尺度(随机误差)^[33~34]。还有部分学者开始试着把地统计学的若干方法应用到 CWD 研究中来取得了较满意的结果^[36]。Thevenet 等提出了一个调查 CWD 蓄积量简单易行的方法:数量化系统中每一大型粗木质残体 LWD。确定 3 个代表性的 LWD 后,通过描述每一个 LWD 的长、宽、高的积累可得到蓄积量,随后为不同积累类型建立模型^[27]。随着景观生态学的发展,把景观格局的调查方法和描述景观格局的指数应用到 CWD 分布格局的研究中来必然会成为以后的研究趋势。另外,对 CWD 分解级的确定是开展 CWD 性质和功能研究的基础,然而目前对 CWD 分解级及其分解特性的研究也多为定性的描述,对于分解级的分级尚无统一的定量标准,而是因研究者和研究对象的不同而异。制定同一的分级标准,实现 CWD 分

解研究的定量化将可能成为以后研究的重点。对于 CWD 含水量的测定方法,Gray 和 Constanta 等学者提出:时域反射仪(TDR)是测定林地 CWD 含水量的重要方法,枯木含水量可以用单精度回归模型来估测,不同的林木,标准无差异,但可以用一线形校正方程来校准。低含水量时是非线性的。由于同一 CWD 不同剖面的腐烂级和木质也不同往往导致用 TDR 对 CWD 含水量的测定要比测定土壤含水量的精度小,其标准差约为 $0.06 \text{ m}^3/\text{m}^3$,而土壤的则 $< 0.02 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ^[37,38]。

2. 对 CWD 的生态功能的研究,在生物基质作用、生物化学循环作用、森林更新作用等方面进行了大量而深入的调查与研究,然而却相对忽视了 CWD 的水文生态功能。以前有些学者曾将 CWD 和林中的枯枝落叶物混在一起进行过水文功能的研究,但 CWD 并不等同于枯枝落叶物,其种类、结构等本身所具有的独特特点使之具有其独特的水文功能,而且因其分解级、分布格局和所处环境的不同而呈现较大的变化。无论是倒木,还是站杆,均可以在一定程度上起到缓洪滞淤的作用,特别是在江河上游易产生水土流失的陡坡地带。对贡嘎山东坡暗针叶林生态系统 CWD 的初步调查结果显示:CWD 的吸湿与脱湿过程是时间的指数函数。CWD 的腐朽程度愈低,则愈不容易吸水,处于第 I 腐朽级的 CWD 的自然含水量和饱和含水量仅约维持在 100%左右,而处于第 V 级的 CWD 的自然含水量和饱和含水量可达到本身干重的 3.5~7.5 倍。倒木的截持水功能要明显高于站杆,几乎是站杆截持水量的 10 倍。在自然状况下的暗针叶林生态系统中,CWD 可以蓄持约 7.41mm 的降水,若使 CWD 全部达到饱和则可以蓄持降水达 9.91mm,这无疑对于森林生态系统的蓄水调水、滞洪防蚀功能是一大贡献,而这方面的贡献以往却往往被忽视了。

3. 对 CWD 水文生态功能的研究,涉及到 CWD 与降雨、植被类型、土壤等多种因素之间的相互作用机制以及多学科理论和方法的应用。本文通过室内实验仅仅对长江上游暗针叶林生态系统内 CWD 对降水的响应进行了初步的分析和探讨。对于在天然条件下,CWD 对降雨的响应、对地表径流和泥沙的水平维、垂直维运动的阻延作用以及对森林流域界面产流影响的水动力学机制问题都将是今后一个崭新的课题。对其进一步的研究,进而丰富森林水文学,真正为森林流域的管理和水资源的合理开发、利

用提供依据将是非常必要的。在此提出以引起国内外有关专家的兴趣和重视。

参考文献:

- [1] Hamon M E. *Ecology of coarse woody debris in Temperate Ecosystems. Advances in Ecological Research*, 1986, 15: 133~176.
- [2] Sollins P. Input and decay of coarse woody debris in coniferous stands in western Oregon and Washington. *Can. J. For. Res.*, 1982, 12: 18~28.
- [3] Ganey J L. Snag density and composition of snag populations on two National Forests in northern Arizona. *Forest Ecology and Management*, 1999, 117: 169~178.
- [4] McCarthy B C, Bailey R R. Distribution and abundance of coarse woody debris in a managed forest landscape of the central Appalachians. *Canadian Journal of Forest Research*, 1994, 24(7): 1317~1329.
- [5] 郝占庆, 吕航. 木质物残体在森林生态系统中的功能评述[J]. 生态学进展, 1989, 6(3): 179~183.
- [6] 李凌浩, 党高弟, 王铁军, 等. 秦岭巴山冷杉林粗死木质残体研究[J]. 植物生态学报, 1998, 22(5): 434~440.
- [7] 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、及其功能评述[J]. 植物生态学报, 1996, 20(2): 132~143.
- [8] 臧润国, 刘涛, 郭忠凌, 等. 长白山自然保护区阔叶红松林林隙干扰状况的研究[J]. 植物生态学报, 1998, 22(2): 135~142.
- [9] Hamon M E; Sexton J. Water balance of conifer logs in early stages of decomposition. *Plant-and-Soil*, 1995, 172: 141~152.
- [10] 闫文德, 张学龙, 王金叶, 等. 祁连山森林枯落物水文作用的研究[J]. 西北林学院学报, 1997, 12(2): 7~14.
- [11] Dudley-SJ; Fischenich JC; Abt-SR. Effect of woody debris entrapment on flow resistance. *Journal of the American Water Resources Association*, 1998, 34(5): 1189~1197.
- [12] Gumell AM, Sweet R. The distribution of large woody debris accumulations and pools in relation to woodland stream management in a small, low-gradient stream. *Earth Surface Processes and Landforms*, 1998, 23(12): 1101~1121.
- [13] Haapala A, Muotka T. Seasonal dynamics of detritus and associated macroinvertebrates in a channelized boreal stream. *Archiv für Hydrobiologie*, 1998, 142(2): 171~189.
- [14] Yin X W. The decay of forest woody debris: numerical modeling and implications based on some 300 data cases from North America. *Oecologia*, 1999, 121(1): 81~98.
- [15] 陈华, Hamon M E. 温带森林生态系统粗死木质物动态研究[J]. 应用生态学报, 1992, 3(2): 99~104.
- [16] 夏冰, 邓飞, 贺善安. 林窗研究进展[J]. 植物资源与环境, 1997, 6(4): 50~57.
- [17] Cornaby B W. Nitrogen fixation in decaying chestnut logs. *Plant Soil*, 1973, 39: 445~448.
- [18] Clark D F, Kneeshaw D D, Burton P J. Coarse woody debris in sub-boreal spruce forests of west-central British Columbia. *Canadian Journal of Forest Research*, 1998, 28(2): 284~290.
- [19] Spies T A, Franklin J F, and Thomas T B. 1988. Coarse Woody debris in Douglas-fir forests of Western Oregon and Washington. *Ecology*, 69: 1669~1702.
- [20] Wells R W, Trofymow J A (ed). Coarse woody debris in the coastal forests of southern Vancouver Island. *Northwest Science*, 1998, 72(2): 23~24.
- [21] Robertson PA, Bowser YH. Coarse woody debris in mature Pinus ponderosa stands in Colorado. *Journal of the Torrey Botanical Society*, 1999, 126(3): 255~267.
- [22] Rikhari H C, Singh S P. Coarse woody debris in oak forested stream channels in the central Himalaya. *Ecoscience*, 1998, 5(1): 128~131.
- [23] Palik B, Golladay SW, Goebel PC, et al. Geomorphic variation in riparian tree mortality and stream coarse woody debris recruitment from record flooding in a coastal plain stream. *Ecoscience*, 1998, 5: 4, 551~560.
- [24] Nakamura, F., and Swanson, F. J. 1993. Effects of coarse woody debris on morphology and sediment storage of a mountain stream system in Western Oregon. *Earth Surf. Processes Landforms*, 18: 43~61.
- [25] Nakamura-F; Swanson-FJ. Distribution of coarse woody debris in a mountain stream, western Cascade Range, Oregon. *Canadian Journal of Forest Research*, 1994, 24: 12, 2395~2403.
- [26] Ellis-LM; Molles-MC Jr; Crawford-CS. Influence of experimental flooding on litter dynamics in a Rio Grande riparian forest, New Mexico. *Restoration Ecology*, 1999, 7: 2, 193~204.
- [27] Thevenet A, Citterio A, Piegay H. A new methodology for the assessment of large woody debris accumulations on highly modified rivers (example of two French piedmont rivers). *Regulated Rivers*, 1998, 14(6): 467~483.
- [28] Franklin J F. Tree death as an ecological process. *Bioscience*, 1987, 37: 550~556.
- [29] 陈华, 徐振邦. 长白山红松针阔混交林林木死亡的初步研究[J]. 应用生态学报, 1991, 2(1): 89~91.
- [30] 刘文耀. 哀牢山中山湿性常绿阔叶林凋落物和粗死木质部的初步研究[J]. 植物学报, 1995, 37(10): 827~814.
- [31] 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.
- [32] Carroll C R, McMin J W (ed.) Coarse woody debris in forest ecosystems: an overview of biodiversity issues and concepts. *Castanea*, 1998, 63(3): 361~371.
- [33] Ringvall A, Stahl G. Field aspects of line intersect sampling for assessing coarse woody debris. *Forest Ecology and Management*, 1999, 119: 163~170.
- [34] Ringvall A, Stahl G. On the field performance of transect relascope sampling for assessing downed coarse woody debris. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 1999, 14(6): 552~557.
- [35] Gove JH, Ringvall A, Stahl G. Point relascope sampling of downed coarse woody debris. *Canadian Journal of Forest Research*, 1999, 29(11): 1718~1726.
- [36] Wing M G, Keim R F, Skagset A E. Applying geostatistics to quantify distributions of large woody debris in streams. *Computers and Geosciences*, 1999, 25(7): 801~807.

- [37] Gray-AN; Spies-TA. Water content measurement in forest soils and decayed wood using time domain reflectometry. *Canadian-Journal-of-Forest-Research*. 1995, **25**: 3, 376 ~ 385.
- [38] Constanta, J. and Murphy, F. Monitoring moisture storage in tree using time domain reflectometry. *J. Hydrol.* 1990. **119**: 31 ~ 2.

A Slighting Tache in Field of Forest Hydrology Research

——Hydrological Effects of Coarse Woody Debris (CWD)

ZHAO Yu-tao¹, YU Xin-xiao¹ and CHENG Gen-wei²

(1. *Beijing Forestry University, Soil and Water Conservation Laboratory of national forestry bureau, Beijing 100083 China;*

2. *Institute of Mountain Disaster and Environment of Chinese Academy of Science, Chengdu 610041, China*)

Abstract: Recently, most of researches on CWD focus on its quantity dynamics, distribution pattern, decomposing rate and its role in biodiversity protection. But there are some issues to be discussed further especially on its hydrological effects and role in soil and water conservation of forest ecosystem of upper reach of river. As a important part of forest ecosystem, CWD play its hydrological functions by influencing the redistribution of through precipitation and micro-environment in forest and inversely influenced by outside environment and its water-absorption capability. The higher decay degree of CWD is, the higher CWD's water-absorption capability. In sub-alpine dark coniferous ecosystem of upper reaches of Yangtze River, CWD can hold about 7.41mm precipitation under natural condition while 9.91mm under saturated condition, which is a great contribution to the hydrological function of whole forest ecosystem.

Key words: forest ecosystem; coarse woody debris; hydrological function