

长白山二道白河森林流域溪流倒木调查研究

邓红兵¹, 王青春¹, 潘文斌², 周 莉¹, 代力民¹

(1. 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016; 2. 福州大学资源与环境工程系, 福州 350002)

摘要:溪流倒木是森林生态系统对水生态系统最重要、最直观的输入和干扰之一,也是两系统之间的主要联结,对于溪流生态系统的稳定、水生生物多样性、河槽形态及其变化过程有着重要的作用。重点对长白山北坡溪流倒木现存量进行了调查和研究,在调查的红松阔叶林植被带内 4500m 长河道内,共发现溪流倒木 425 株,分属于 17 个树种;其中Ⅲ、Ⅳ级腐烂占相当大的比重,与林地倒木Ⅱ、Ⅲ级腐烂占优有所不同,其原因可能与分解环境的不同有关。所有溪流倒木的总材积为 77.98m³,故溪流倒木的现存量 为 1.733m³/100m 和 10.83m³/hm²。溪流倒木的树种组成和不同树种的材积与河岸带植被密切相关,但存在差异。研究表明明林分形成倒木并进入河流在时间上可能是均匀或随机的,但不同树种间,其形成倒木并进入河流时的树木材积或生长年龄存在较大差异。溪流倒木和林地活立木的个体数量的径级分布基本上为反 J 型,而它们材积的径级分布均为典型的 J 型。

关键词:溪流倒木;材积;森林流域;河岸带;红松阔叶林;二道白河

A Preliminary Study on In-stream Fallen Wood in Erdaobaihe Forested Watershed, Changbai Mountain

DENG Hong-Bing¹, WANG Qing-Chun¹, PAN Wen-Bin², ZHOU Li¹, DAI Li-Min¹ (1.

Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China; 2. Department of Resources and Environmental Engineering, Fuzhou University, Fuzhou, 350002, China) *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(11): 1896~1901.

Abstract: Fallen wood is an important ecological component in many terrestrial and aquatic ecosystems, and in forest ecosystems, fallen wood has many crucial ecological functions such as habitat for organisms, a site for nitrogen fixation, energy flow, and nutrient cycling. So, study on fallen wood is an important aspect in traditional forest ecology. While fallen wood in forest ecosystems, especially in riparian forests, turns into stream ecosystems because of natural power or human power, it is turned into in-stream fallen wood. In-stream fallen wood is one of the most important and intuitionistic input and disturbance of terrestrial ecosystems on stream ecosystems, and it is a major connection between terrestrial ecosystems and stream ecosystems. In-stream fallen wood also plays an important role in stabilization of stream ecosystem, aquatic biology diversity, and channel morphology and its change process.

In this study, species, base diameter, top diameter, height and decay class of each fallen wood were investigated in Erdaobaihe River passing through the broadleaved and Korean pine forest located at an elevation of 800~900m above sea level on the north slope of Changbai Mountain. The investigated river channel is located from 128°05'39"E, 42°20'55"N to 128°05'23"E, 42°19'52"N, and the length is about 4500m. The riparian forest was also examined by setting a 32m×24m quadrat at an elevation of 850m. 17 species and 425 logs of fallen wood were found in the investigated river channel, and their total volume

基金项目:中国科学院知识创新工程资助项目(KZCX2-406);国家自然科学基金资助项目(39970123);长白山开放站基金资助项目

收稿日期:2001-11-19; **修订日期:**2002-03-26

作者简介:邓红兵(1971-),男,湖北鄂州市人,博士,副研究员。主要从事水-陆复合生态系统研究。E-mail: denghb_999@sina.com

was 77.98m³. So, present value for volume of fallen wood was 1.733 m³/100m or 10.83m³/hm². Fallen wood in decay class Ⅱ and Ⅲ accounted for 78% of total logs and 81% of total volumes, and it was different from that of fallen wood in forest. The possible reason may be different decomposing condition. Average volumes per log of all fallen wood in different decay classes were similar, and it implied that in-stream fallen wood formed in different stage had no obvious difference in average volumes per log. On the other hand, average volumes per log of all fallen wood of different tree species were different from 0.01013 m³ to 0.7461 m³, and it implied that, while in-stream fallen wood being formed, their volumes or age of living tree had significant difference in different tree species. Among all the tree species of fallen wood, there were 4 coniferous tree species, and the coniferous tree species accounted for 42% of total logs and 50% of total volumes. It was correlative to status of the riparian forest closely, but there also existed difference. Analyzing the difference combined with studying distribution of fallen wood of different tree species in different diameter classes and decay classes could be useful to study dynamic of riparian forest in former and recent stage. Quantities of logs of fallen wood in stream and living tree in riparian forest declined as diameter increased, and it was in a reverse J-shaped distribution. But number of in-stream fallen wood in the first diameter class was the least, and there were two possible reasons. First, velocity of water flow was high (1.5~2m/s) and most fallen wood with litter diameter were scoured away. Second, wind was the most important natural power causing fallen wood in the studying region, especially in open land such as riparian, and usually, living tree with certain diameter would fell easily by wind. Volumes of fallen wood in stream and living tree in riparian forest increased as diameter increased, and it was in a typical J-shaped distribution.

Key words: in-stream fallen wood; volume; forested watershed; riparian; broadleaved and Korean pine forest; Erdaobaihe River

文章编号:1000-0933(2002)11-1896-06 中图分类号:Q141 文献标识码:A

森林倒木是森林生态系统的重要组成部分^[1~4],在保持森林生态系统完整性,特别是生态过程完整性方面起着不可替代的作用^[4],在温带森林中还是林木更新的主要方式^[3,4];因此,森林倒木是森林生态系统研究的一个重要内容。我国森林倒木研究始于 20 世纪 80 年代初期^[3],大部分工作^[3, 5, 6]集中于长白山温带森林,特别是红松阔叶林。而 20 世纪后期以来,森林生态系统中溪流、湖泊和湿地的管理是林业上最具革命性的变化和进展之一^[7],随着河溪生态系统^[8~10]和流域生态学^[11~13]研究的不断发展,水陆生态系统研究的交叉与结合已成为生态系统研究的一个新趋势。因此,尽管倒木研究是传统森林生态系统研究的一个重要方面,对溪流倒木的研究在基础理论和管理实践上的作用日显重要,并受到越来越多的关注^[14]。

森林倒木因自然力或人力进入溪流生态系统后,就成为溪流倒木,它是森林生态系统对水生态系统最重要、最直观的输入和干扰之一,也是两系统之间的主要联结^[14]。目前,对于河道中倒木现存量及其变化的研究是溪流倒木研究的重点和基础^[14]。国外一些研究^[1, 15~18]表明,尽管不同地区溪流倒木的现存量变化较大,但其与河岸带森林的状况有着密切的关系。国内近期虽然对溪流中树叶凋落物的分解进行了研究^[19],但对于溪流倒木的研究仍是空白。故此,通过大量关于长白山二道白河森林流域溪流倒木的野外调查,本文主要对长白山北坡红松阔叶林植被带一定长度河道内的溪流倒木现存量进行了研究,以期为将来的深入研究和管理奠定基础。

1 研究地区与方法

1.1 研究地区概况

长白山北坡红松阔叶林主要分布于海拔 1100m 以下的玄武岩底地上,土壤为暗棕色森林土。原始红松阔叶林主要树种有红松(*Pinus koraiensis*)、椴树(*Tilia* spp.)、蒙古栎(*Quercus mongolica*)、水曲柳(*Fraxinus mondshires*)、色木(*Acer mono*)等^[3];由于干扰和林分状况的不同,其中还有着不同数量的落叶

松(*Larix olgensis*)、臭松(*Abies nephrolepis*)、榆树(*Ulmus* spp.)、杨树(*Populus* spp.)和桦树(*Betula* spp.)等其他树种。二道白河是松花江的上源,它源于长白山天池,由山顶至山脚城镇,贯穿整个长白山植被垂直分布带。由于主要从天池和所经森林流域获得水分补给,水体污染较轻,水质较好。

1.2 研究方法

在海拔 800~900m 范围内,沿河流从 128°05′39″E、42°20′55″N 到 128°05′23″E、42°19′52″N 对约 4500m 长的河道内长度>1m、基径>2.5cm 的每一株倒木进行调查,内容包括树种、基径、顶径、长度和腐烂级,其中倒木腐烂级划分采用 5 级划分系统^[14, 18];并每隔一定距离用 GPS 定位,测量河道宽度及流速。在海拔 850m 处设置一 32m×24m 的样方对河岸带植被进行调查,该样方沿河流方向边长为 32m,由 12 个 8m×8m 的小样方组成。在每个小样方内对高度<1.3m 的乔木分株记载其树种、高度及生长状况,对高度>1.3m 的乔木进行每木检尺,记录树种、胸径并目测树高;对林地灌木及草本植物,分种记录种类、多度、盖度、平均高度、株数。以上所有野外工作于 2001 年夏季完成。

倒木现存量用材积来表示,其计算公式为:

$$V = \frac{\pi h}{12}(r_1^2 + r_1r_2 + r_2^2)$$
 (1)

式中,V 为倒木材积,h 为倒木树高,r₁、r₂ 分别为基径和顶径。

另外,在分析中根据一般情况认为,倒木材积或径级与其活立木年龄正相关,倒木腐烂级则与其分解时间(自倒木形成始)正相关。

2 结果与分析

调查中共记录溪流倒木 425 株,分属于 17 个树种。表 1 给出了不同腐烂级溪流倒木的数量和材积,其中Ⅲ、Ⅳ级腐烂占相当大的比重,分别是总株数的 78%和总材积的 81%。根据其它研究^[3],在林地中,Ⅱ、Ⅲ级腐烂占总材积的 75%,存在差别的原因可能与分解环境的不同有关。Ⅰ、Ⅱ级腐烂的溪流倒木所占比重较小,除表明近期河岸带植被比较稳定外,也可能是由于在流动的水环境里,倒木分解速度较快。Ⅴ级腐烂的溪流倒木所占比重最小,仅占总株数的 2%和总材积的 1.3%。

计算得所有溪流倒木的总材积为 77.98m³,由于该段河道长度约为 4500m,平均河宽约为 16m,故溪流倒木的现存量为 1.733 m³/100m 和 10.83m³/hm²(由于计算中没考虑倒木树枝,该数值应小于实际现存量)。而对河岸带植被的样地调查表明,其林分的蓄积量为 239.96m³/hm²(将面积由 32m×24m 换算为 1hm²,表 2);一般红松阔叶林蓄积量为 350~400m³/hm²,350a 以上林分倒木材积可达 40~50m³/hm²^[3]。比较而言,所调查的河岸带红松阔叶林林分蓄积量偏低,但产生的倒木(溪流倒木加上林地内的倒木)蓄积却不低,

表 1 不同腐烂级溪流倒木的数量和材积
Table 1 Quantity and volume of in-stream fallen wood in different decay classes

腐烂级 Decay classes	数量(株) Number of trees	材积(m ³) Volume	平均材积/株 Average volume/ tree
Ⅰ	24	4.616	0.1923
Ⅱ	61	9.136	0.1498
Ⅲ	178	34.18	0.1920
Ⅳ	153	29.07	0.1900
Ⅴ	9	0.9844	0.1094
总计 Total	425	77.98	0.1835

水流冲蚀而导致较大比重溪流倒木的形成可能是解释这中种现象的一个重要原因。Harmon 等^[1]指出,在无管理或干扰的河道中,粗木质残体(含倒木)重量和体积的变化范围分别为 1~1800mg/hm²和 2.5~4500m³/hm²。而在本研究中,由于取样的工作量及难度较大,未对倒木密度进行测定,故无法计算其重量。表 1 还给出了不同腐烂级中每株倒木的平均材积,它们之间的差别不十分明显;一般地,倒木的腐烂程度与分解时间成正比的相关,这可能表明不同时期形成的倒木在平均单株材积大小或者树木生长年龄上没有太大的差异。

表 3 是所调查河段内所有不同树种溪流倒木的数量和材积。株数>10 或材积>1m³的树种有 9 种,它们占总株数的 96%和总材积的 98%;其中阔叶树有 6 种,分别占总株数的 50%和总材积的 42%。而在总共

17个树种中,针叶树虽然只有4种,但占总株数的50%和总材积的58%。上述溪流倒木的树种组成和所调查河岸带植被的树种状况(表2)有较大的关系。但林地中针叶树材积明显小于阔叶树,且主要是红松,这与溪流倒木的树种及材积有较大差异;另外在倒木中占相当比重的杨树和落叶松在林地中没有材积,仅有少量杨树幼苗。造成这种情况的原因可能是:植被调查的样地仅在海拔850m处,且沿河长度仅为32m,还不能真正反映4500m长的河道内的倒木来源,如在海拔800m、900m和950m处的河岸带植被中,杨树所占比重就较大;与河岸带植被的结构和动态有关,即由于河岸带植被的独特生境及与河流的相互作用,兼之树种习性(根系、耐荫性、在林分演替过程中的地位)的不同,可能会导致个别树种(一般意义上的先锋树种,比如杨树和落叶松)在一定河段从河岸带消失而进入河流成为倒木;另外会有一定数量的倒木从上游冲刷而来和倒木树种准确识别的困难较大也可能是其主要原因。

不同树种每株倒木平均材积间差别较大,从最小0.01013 m³到最大0.7461 m³,相差70多倍。考虑一些树种的倒木由于个体太少而缺乏统计学意义,仅就表3中前9个树种而言,每株倒木平均材积最大值与最小值间仍相差10余倍;这与按腐烂级来比较的结果明显不同,表明林分形成倒木并进入河流在时间上可能是均匀或随机的。

表4是7个树种溪流倒木数量和材积在不同腐烂级的分布情况,其它树种由于倒木分布的腐烂级较少而未列出。由表4可知,大部分树种Ⅲ、Ⅳ级腐烂的溪流倒木在数量和材积上占相当大的比重,和前面对所有溪流倒木的分析结果一致。蒙古栎前4级腐烂的倒木在数量和材积上差别不大,这表明蒙古栎在目前河岸带植被中占有优势(表2),并在近期形成了一定数量的倒木进入河流。另外,还可以根据不同树种每株倒木的平均材积在不同腐烂级上的变化情况,将这些树种大致分为不同类型(图1):臭松,各腐烂级每株倒木的平均材积基本相同;红松和落叶松则是中间大,两头小;只有槐树是逐渐增大。蒙古栎、杨树、桦树基本属于第2种类型,但它们在Ⅰ腐烂级时的值较大。

一般地,溪流倒木的数量和生物量在不同径级的分布存在显著的差异,随着径级的增大,溪流倒木的数量下降,表现出与林地活木相似的反J型关系^[18~20]。在图2中,分别给出了溪流倒木和林地活立木的个体数量与材积的分布,为了统一在Y轴上的数值大小和单位,将它们都换算成为百分数,径级则分为2.5~7.5cm、7.6~15.0cm、15.1~22.5cm、22.6~30.0cm、30.1~37.5cm和>37.5cm共6个级别^[18]。可

表2 河岸带森林(32m×24m)中不同树种的数量和材积
Table 2 Quantity and volume of different tree species in the riparian forest (32m×24m)

树种 Tree species	数量(株) Number of trees	材积 (m ³) Volume	平均材积 /株(m ³) Average volume/ tree
蒙古栎 <i>Q. mongolica</i>	5	4.079	0.8158
红松 <i>P. koraiensis</i>	1	3.841	3.841
桦树 <i>Betula</i> spp.	11	3.804	0.3458
椴树 <i>Tilia</i> spp.	3	2.202	0.7339
水曲柳 <i>F. mondshires</i>	2	1.215	0.6074
槭树 <i>Acer</i> spp.	87	1.021	0.01174
黄菠萝 <i>Phellodendron amurense</i>	3	0.8036	0.2679
榆树 <i>Ulmus</i> spp.	8	0.7474	0.09343
臭松 <i>A. nephrolepis</i>	18	0.4345	0.02414
丁香 <i>Syringa</i> spp.	29	0.2371	0.008175
花楸 <i>Sorbus pohuashanensis</i>	1	0.04412	0.04412
总计 Total	168	18.43	0.1097

表3 调查河段内不同树种倒木的数量和材积
Table 3 Quantity and volume of in-stream fallen wood of different tree species in the investigated river channel

树种 Tree species	数量(株) Number of trees	材积 (m ³) Volume	平均材积 /株(m ³) Average volume/ tree
落叶松 <i>Larix olgensis</i>	60	20.76	0.3460
臭松 <i>A. nephrolepis</i>	144	16.67	0.1158
杨树 <i>Populus</i> spp.	110	15.13	0.1375
红松 <i>P. koraiensis</i>	10	7.461	0.7461
蒙古栎 <i>Q. mongolica</i>	14	7.164	0.5117
椴树 <i>Tilia</i> spp.	10	3.165	0.3165
水曲柳 <i>F. mondshires</i>	10	2.219	0.2219
槐树 <i>Maackia amrensis</i>	31	2.192	0.07072
桦树 <i>Betula</i> spp.	18	1.384	0.07689
色木 <i>Acer mono</i>	6	0.7900	0.1317
榆树 <i>Ulmus</i> spp.	5	0.5346	0.1069
鼠李 <i>Rhamnus davurica</i>	1	0.4021	0.4021
黄菠萝 <i>Phellodendron amurense</i>	1	0.03464	0.03464
鱼鳞松 <i>Picea jezoensi</i> var. <i>komarovii</i>	1	0.02998	0.02998
丁香 <i>Syringa</i> spp.	2	0.02503	0.02503
花楸 <i>Sorbus pohuashanensis</i>	1	0.01060	0.01060
山樱桃 <i>Cerasus maximowiczii</i>	1	0.01013	0.01013
总计 Total	425	77.98	0.1835

表 4 不同树种倒木的数量和材积在不同腐烂级的分布

Table 4 Quantity and volume of fallen wood of different tree species in different decay classes		腐烂级 Decay classes				
树种 Tree species		I	II	III	IV	V
落叶松 <i>Larix olgensis</i>	数量 Number	0	6	27	26	1
	材积 Volume (m ³)	0	1.429	9.386	9.907	0.0354
臭松 <i>A. nephrolepis</i>	数量 Number	6	23	43	69	3
	材积 Volume (m ³)	0.559	2.209	5.828	7.656	0.419
杨树 <i>Populus spp.</i>	数量 Number	4	14	63	28	1
	材积 Volume (m ³)	1.832	1.375	8.423	3.401	0.0969
红松 <i>P. koraiensis</i>	数量 Number	1	1	4	3	1
	材积 Volume (m ³)	0.0131	0.428	4.155	2.692	0.173
蒙古栎 <i>Q. mongolica</i>	数量 Number	3	3	2	5	1
	材积 Volume (m ³)	1.286	1.016	1.887	2.917	0.0568
槐树 <i>Maackia amurensis</i>	数量 Number	1	4	14	10	2
	材积 Volume (m ³)	0.0102	0.235	0.990	0.755	0.203
桦树 <i>Betula spp.</i>	数量 Number	3	3	9	3	0
	材积 Volume (m ³)	0.291	0.448	0.501	0.144	0

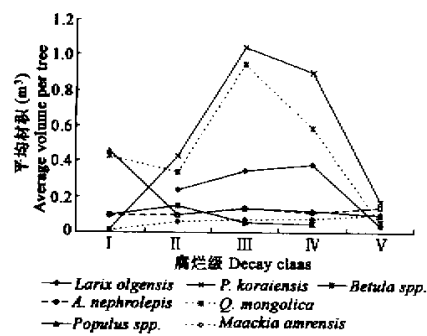


图 1 不同树种每株倒木平均材积与不同腐烂级的关系
Fig. 1 Relationship between average volume per tree of different species and decay classes

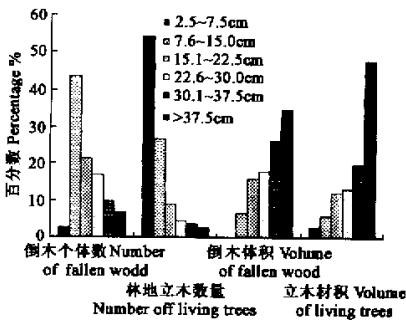


图 2 倒木和立木数量及材积在不同径级上的分布
Fig. 2 Distribution of numbers and volumes of fallen wood and living trees in different size classes

以看出,溪流倒木和林地活立木的个体数量的径级分布均基本上为反 J 型,但倒木在最小径级的数量最少,可能是由于水流速度较快(在调查的季节约为 1.5~2m/s),将小径级倒木冲刷带到更下游的缘故,另一个可能原因是在该地区特别是河道这样的开阔地段,风倒往往是倒木形成的主要原因,而风倒的对象又常是具有一定大小直径的树木。尽管较大径级的溪流倒木数量较少,但由于径级增加、体积增大而使大径级倒木在材积上处于主导地位,和林地立木一样在径级分布上为较典型的 J 型。

3 结论与讨论

在红松阔叶林带所调查的 4500m 长河道内,共发现溪流倒木 425 株,分属于 17 个树种;其中 III、IV 级腐烂占相当大的比重,与林地倒木 II、III 级腐烂占优有所不同,其原因可能与分解环境的不同有关。所有溪流倒木的总材积为 77.98m³,故溪流倒木的现存量为 1.733 m³/100m 和 10.83m³/hm²,由于没考虑倒木树枝,该数值应小于实际现存量。溪流倒木的树种组成和不同树种的材积与河岸带植被密切相关,但存在差异;分析这种差异,并结合对不同树种所有倒木的材积(径级)和腐烂级分布的分析,可了解河岸带森林在以前一段时期内的动态。根据倒木材积或径级与其活立木年龄正相关以及倒木腐烂级与其分解时间正相关的假定,研究表明林分形成倒木并进入河流在时间上可能是均匀或随机的,但不同树种间,其形成倒木并进入河流的材积或生长年龄存在较大差异。溪流倒木和林地活立木的个体数量的径级分布均基本上为反 J 型,但倒木在最小径级的数量最少,可能是由于水流速度较快的缘故;而它们材积的径级分布

均为较典型的 J 型。

因为河流的管理和保护有着重要的意义,尤其是为了了解河流的中短期动力特性和保持栖息地的多样性,需要不断加深对溪流倒木作用和动态的认识,目前国外一些研究也主要侧重于此。但由于国内溪流倒木研究尚属空白,本研究也仅是初步的,故此在研究中主要对溪流倒木的现状进行了讨论,同时还存在一些不足,如没有对倒木枝条和倒木密度的调查。而国外的一些调查内容还包括倒木的表面积、有机组成、水生生物数量等,但倒木分解年龄的确定和分解时有机质的流失是研究中尚未真正解决的难题。此外,溪流倒木与河岸带林地的状况和动态密切相关,但反过来从倒木的树种组成、分解年龄和倒木形成时的活立木年龄去推断河岸带植被的动态这样的研究几乎没有,而这在理论或实际管理上都是极有意义的,本研究虽进行了一些尝试,但受资料所限,没有太明确的结果。

总之,溪流倒木的生态学研究将有助于深化对倒木的研究以及详细了解森林生态系统与水生态系统之间的相互作用,对于研究物质在流域生态系统中循环过程和水体生产力以及水生生物多样性也大有裨益;而在相关研究基础上进行的合适的管理措施对于维持溪流生态系统的稳定和保护其生物多样性无疑是有益的。而通过本工作,希望能为以后进一步的研究以及对河道与河岸带的管理提供一定的基础和数据积累。

参考文献

- [1] Harmon M E, Franklin J F, Swanson J, *et al.* Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. *Adv. in Ecol. Res.*, 1986, **15**: 33~276.
- [2] Hao Z Q(郝占庆), Lv H(吕航). An overview of the roles of coarse woody debris in forest ecosystem. *Advances in Ecology(in Chinese)(生态学进展)*, 1989, **6**(3): 179~183.
- [3] Dai L M(代力民), Xu Z B(徐振邦), Chen H(陈华). Storage dynamics of fallen trees in the broad-leaved and Korean pine mixed forest. *Acta Ecologica Sinica(in Chinese)(生态学报)*, 2000, **20**(3): 412~416.
- [4] Hou P(侯平), Pan C D(潘存德). Coarse woody debris and its function in forest ecosystem. *Chinese Journal of Applied Ecology(in Chinese)(应用生态学报)*, 2001, **12**(2): 309~314.
- [5] Chen H(陈华), Harmon M E. Dynamic study of coarse woody debris in temperate forest ecosystem. *Chinese Journal of Applied Ecology(in Chinese)(应用生态学报)*, 1992, **3**(2): 99~104.
- [6] Dai L M(代力民), Chen H(陈华), Xu Z B(徐振邦). Models for decomposition and storage of fallen trees in the mixed broadleaved and Korean pine forest and the nutrition dynamics in the decomposition. *Acta Ecologica Sinica(in Chinese)(生态学报)*, 1994, **14**(Supp.): 1~8.
- [7] Gregory S V. Riparian management in the 21st century. In: Kohm K A and Franklin J F ed. *Creating a forestry for the 21st century: the science of ecosystem management*. Washington DC: Island Press, 1997.
- [8] Cummins K W. Structure and function of stream ecosystems. *Bioscience*, 1974, **24**: 631~641.
- [9] Minshall G W, Cummins K W, Peterson R C, *et al.* Development in stream ecology theory. *Canadian Journal of Fishery and Aquatic Sciences*, 1985, **42**: 1045~1055.
- [10] Vannote R L, Minshall G W, Cummins K W, *et al.* The river continuum concept. *Canadian Journal of Fishery and Aquatic Sciences*, 1980, **37**: 130~137.
- [11] Cai Q H(蔡庆华), Wu G(吴钢), Liu J K(刘建康). Watershed ecology: A new Method to study and conserve biodiversity of water ecosystem. *Science & Technology Review(in Chinese)(科技导报)*, 1997, (5): 24~26.
- [12] Deng H B(邓红兵), Wang Q L(王庆利), Cai Q H(蔡庆华). Watershed ecology: new discipline, new idea, and new approach. *Chinese Journal of Applied Ecology(in Chinese)(应用生态学报)*, 1998, **9**(4): 443~449.
- [13] Wu G(吴钢), Cai Q H(蔡庆华). Expression as a whole of research content of the watershed ecology. *Acta Ecologica Sinica(in Chinese)(生态学报)*, 1998, **18**(6): 9~15.
- [14] Deng H B(邓红兵), Xiao B Y(肖宝英), Dai L M(代力民), *et al.* Advances in ecological researches on in-stream coarse woody debris. *Acta Ecologica Sinica(in Chinese)(生态学报)*, 2002, **22**(1): 87~93.
- [15] Triska F J and Cromack K. The role of wood debris in forests and streams. In: Waring R H ed. *Forests: fresh perspectives from ecosystem analysis*. Oregon State University Press, Corvallis. 1980.
- [16] Lienkaemper G W and Swanson F J. Dynamics of large woody debris in streams in old-growth Douglas-fir forests. *Can. J. For. Res.*, 1987, **17**: 150~156.
- [17] Hedman C W, Van Lear D H, and Swank W T. In-stream large woody debris loading and riparian forest seral stage associations in the southern Appalachian Mountains. *Can. J. For. Res.*, 1996, **26**: 1218~1227.
- [18] Rikhari H C and Singh S P. Coarse woody debris in oak forested stream channels in the central Himalaya. *Ecoscience*, 1998, **5**(1): 128~131.
- [19] Jiang M X(江明喜), Deng H B(邓红兵), Tang T(唐涛), *et al.* Comparison of leaf decomposing rate in a headwater stream in Xiangxi River Catchment. *Chinese Journal of Applied Ecology(in Chinese)(应用生态学报)*, 2002, **13**(1): 27~30.
- [20] MacMillan P C. Log decomposition in Donaldson's Woods, Spring Mill State Park, Indiana. *American Midland Naturalist*, 1966, **117**: 335~344.