海南岛尖峰岭不同采伐方式热带雨林凋落物持水特性

燕 东，李意德，许 涵，骆土寿，陈德祥，林明献

（中国林业科学研究院 热带林业研究所，广东 广州 510520）

摘 要：以 161 个公里网格样地为基础，对尖峰岭热带雨林原始林和不同采伐方式（径级择伐和皆伐）下天然更新的次生林凋落物储量、持水量、持水率和吸水速率进行了研究。结果表明，原始林、径级择伐林和皆伐林的凋落物储量分别为 6.42，6.29 和 6.66 t/hm^2；最大持水量分别为 9.55，10.49 和 11.17 t/hm^2。3 类型森林凋落物最大持水率大小依次为皆伐林（169.2%）＞径级择伐林（168.0%）＞原始林（155.6%），经 Kruskal—Wallis H 检验表明，原始林、径级择伐林和皆伐林凋落物最大持水率间差异显著。凋落物持水量和凋落物持水率随着浸泡时间的增加符合 $W=a\ln t+b$ 模型而变化，凋落物吸水速率随着浸泡时间的增加依 $W=at^{-b}$ 模型下降。

关键词：热带雨林；凋落物；采伐方式；储量；持水量；持水率；吸水速率

文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2011)02-0057-04 **中图分类号**：S715.3

Water-Holding Characteristics of Litter in Tropical Rainforest with Different Deforestation Methods in Jianfengling, Hainan Province

YAN Dong, LI Yi-de, XU Han, LUO Tu-shou, CHEN De-xiang, LIN Ming-xian

(*The Research Institute of Tropical Forestry, CAF, Guangzhou, Guangdong* 510520, *China*)

Abstract: Based on field survey on the 161 grids with areas of 625 m^2 in Jianfengling of Hainan Province, the water storage, water-holding capacity, water-holding rate and water absorption rate of forest litter were studied in different tropical rainforests(including primary forest, selectively logged forest and clear-cut forest). The results show that in primary forest, selectively logged forest and clear-cut forest, the litter storage was 6.42, 6.29 and 6.66 t/hm^2, and the max water-holding capacity was 9.55, 10.49 and 11.17 t/hm^2, respectively. Clear-cut forest has the highest max water-holding rate of 169.2%, followed by selectively logged forest(168.0%), and primary forest(155.6%). The max water-holding rates in the three forests differed significantly as indicated by the Kruskal—Wallis H test. The water-holding capacity and water-holding rate of litter in all the forests increased logarithmically with soaking time($W=a\ln t+b$). While, the water absorption rates of litter reduced followed equation $W=at^{-b}$ as soaking time increased.

Keywords: **tropical rainforest; litter, deforestation method; storage; water-holding capacity; water holding rate; water absorption rate**

凋落物层作为森林生态系统中独特的结构层次，存在于森林植被层与土壤层之间，是林地的一个重要覆盖面和保护层，它不仅参与森林生态系统养分循环，而且其结构疏松、具有良好的透水性和持水能力，在降水过程中起着缓冲器的作用。不仅能减缓林内降水对地面的直接冲击，阻滞和吸收降水，减少到达土壤表面的降水量，而且能增加地表层的粗糙度，减缓及减少地表径流，增加土壤水分下渗能力，因此具有保持水土和涵养水源等重要的水文生态功能[1-3]。目前，国内外学者针对凋落物持水特性已做过大量的研究，但研究多集中在温带以及亚热带地区[4-10]，且多是针对不同树种组成或同一树种不同林龄开展凋落物的水文特性研究[4-7,9-10]，但热带地区包括海南岛热带雨林凋落物水文特性的研究鲜有报道；另外以往的研究样地设置较少，绝大多数研究只针对某一林分类型或龄级设置少数几个样地，研究结果未必能准确评价研究区域内森林凋落物持水性能的真实情况。本研究在海南尖峰岭林区约 160 km^2 范围内按照公

收稿日期：2010-11-12 修回日期：2010-12-22

资助项目：林业公益性行业科研专项“中国森林对气候变化的响应与林业适应对策研究”（200804001）；中国林科院热带林业研究所基本科研业务费专项（2007-1；RITFYWZX200902）

作者简介：燕东（1985—），男（汉族），河北省秦皇岛市人，硕士研究生，主要从事森林生态水文研究。E-mail：yandong918@163.com。

通信作者：李意德（1961—），男（汉族），湖南省湘潭市人，研究员，主要从事森林生态系统长期定位研究。E-mail：liyide@126.com。

里网格机械布设取样点，共设置了 161 个样地，探究热带原始林和不同采伐方式下天然更新的次生林凋落物储量及其持水特性，为评价热带雨林的凋落物水文生态功能提供科学依据。

1 研究区概况

尖峰岭林区位于海南岛西南部的乐东、东方两县市交界处（18°23′—18°52′N，108°36′—109°05′E）。该地区地形地貌独特，受海陆、地形的气候交替影响明显，属低纬度热带岛屿季风气候，雨热同期，降水丰富，干湿两季明显。成土母岩主要是花岗岩，土壤主要为砖黄壤和砖红壤。具有明显的气候、土壤和植被垂直带谱[11]。

尖峰岭热带雨林于 1958 年开始进行大规模的商业性采伐，直至 1993 年才全面停采。采伐方式主要有径级择伐和皆伐两种，植被恢复方式基本上为天然更新。经过长达 35 a 的商业采伐，尖峰岭热带森林受损严重，其中原始林面积较开采前减少了 61%。

尖峰岭林区面积最大的植被类型为热带常绿季雨林和热带山地雨林。其中热带常绿季雨林为本区的地带性植被，分布在海拔 300—700 m 的山体中部，植物种类组成中无落叶成分，林冠常年常绿。本类型以龙脑香科（Dipterocarpaceae）树种青皮（*Vatica mangachampoi*）占优势，其他常见种还有野生荔枝（*Litchi chinensis*）、细子龙（*Amesiodendron chinense*）等；草本层植物稀少。热带山地雨林分布在海拔 650—1200 m 的山地中部，是尖峰岭地区发育最完善的植被类型，种类组成复杂，以樟科（Lauraceae）、茜草科（Rubiaceae）、壳斗科（Fagaceae）和桃金娘科（Myrtaceae）等为优势科。乔木层主要种类有：红柯（*Lithocarpus fenzelianus*），托盘青冈（*Cyclobalanopsis patelliformis*），海南紫荆木（*Madhuca hainanensis*），大叶蒲葵（*Livistona saribus*）等。采伐后的天然更新林分则以黧蒴栲（*Castanopsis fissa*），尖峰栲（*Castanopsis jianfengensis*）等为主[11]。

2 研究方法

2.1 样地设置

根据 1∶10 000 地形图，将尖峰岭林区按照 1 km×1 km 进行公里网格分区，按照机械布点的方法在每个网格的节点处（采用 GPS MAP60CSx 精确定位）各设置一个 25 m×25 m 群落调查样地，对于因地形因素而不能到达的样地（如峭壁），在其最邻近处进行取样。又考虑到机械布点法不能完全覆盖一些森林类型，故同时也在森林类型典型分布区设置少量样地。本研究共设置 161 个样地，总面积达 10.062 5 hm^2。通过调查 161 个样地历史上的采伐和经营情况，将所调查的样地分为 3 个主要森林类型：（1）原始林，即未经人为干扰和破坏的森林；（2）经过径级择伐后天然更新的次生林（简称“径级择伐林”）；（3）经过皆伐后天然更新的次生林（简称“皆伐林”）。样地基本情况见表 1。

表 1 尖峰岭地区 161 个公里网格样地基本特征

森林类型	样地数/个	采伐后恢复时间/a	平均胸径/cm	平均树高/m	平均密度/（株/hm^2）	平均郁闭度
原始林	52	—	6.38	5.57	5 476	0.79
径级择伐林	73	15～50	5.93	5.59	6 161	0.78
皆伐林	36	15～51	4.94	5.27	7 836	0.75

注：统计胸径 1 cm 以上的所有木本植物。

2.2 凋落物采集与储量的测定

于 2007，2008 年旱季（每年 11 月至翌年 4 月），在对每个公里网格样地进行植被调查的同时，在每个样地的 4 个角及中心位置布设 5 个 50 cm×50 cm 小样方，收集样方内凋落物，将其分别装袋后带回室内于 80 ℃下烘干至恒重，由此计算凋落物储量。然后将每个样地 5 个小样方的烘干样品混合，待用。

2.3 凋落物持水性的测定

凋落物持水性的测定采用室内浸泡法[8-10]，即取各样地的部分烘干混合凋落物样品约 50 g 装入尼龙网袋后分别浸入水中 0.25，0.5，1，2，4，6，8，10，16 和 24 h 后，捞起并静置至凋落物不滴水时称量，各 3 次重复。凋落物持水量、凋落物持水率和凋落物吸水速率的计算公式为[8,10]：

凋落物持水量（t/hm^2）＝〔凋落物湿重（kg/m^2）－凋落物烘干重（kg/m^2）〕×10

凋落物持水率（%）＝（凋落物持水量/凋落物烘干重）×100

凋落物吸水速率〔g/(kg·h)〕＝凋落物持水量（g/kg）/吸水时间（h）。

2.4 数据处理

采用 Excel 2007 和 R 2.10.0（http://www.r-

poject.org)对数据进行相关性分析和回归方程的显著性检验。

3　结果与分析

3.1　凋落物储量与持水量

由表 2 可知，原始林、径级择伐林和皆伐林的凋落物储量分别为 6.42，6.29 和 6.66 t/hm^2。通过 Kruskal—Wallis H 检验表明，这 3 类型森林的凋落物储量之间差异不显著($p>0.05$)。

表 2　凋落物储量与持水特性

森林类型	平均值±标准偏差		
	储量/(t·hm^{-2})	最大持水量/(t·hm^{-2})	最大持水率/%
原始林	6.42±1.81	9.55±2.25	155.6±18.9
径级择伐林	6.29±1.67	10.49±2.37	168.0±24.5
皆伐林	6.66±1.77	11.17±2.58	169.2±18.0

在不同浸泡时间段后的凋落物持水量如图 1 所示，3 类型森林的凋落物持水量均随着浸泡时间的增加而迅速增长，浸泡时间达到 4 h 后，凋落物持水量开始缓慢增长，浸泡 10～16 h 时，凋落物持水量基本达到饱和，即 10～16 h 后增加浸泡时间，凋落物持水量变化很小，直至 24 h 达到饱和。

原始林、径级择伐林和皆伐林的凋落物最大持水量分别为 9.55，10.49 和 11.17 t/hm^2(详见表 2)。各类型森林之间的凋落物最大持水量差异不显著($p>0.05$)。

对各类型森林凋落物的持水量 W_H 与浸泡时间 t 进行拟合，发现持水量 W_H 与浸泡时间 t 动态关系按照对数方程 $W_H=a\ln t+b$ 变化，其中 a 为方程系数，b 为方程常数项。各拟合模拟的决定系数(R^2)均大于 0.96 ($p<0.001$)(表 3)。

表 3　凋落物持水量(W_H)与浸泡时间(t)的方程

森林类型	方程	R^2	p
原始林	$W_H=1.153\ln t+5.868$	0.977	<0.001
径级择伐林	$W_H=1.180\ln t+6.582$	0.977	<0.001
皆伐林	$W_H=1.265\ln t+7.013$	0.961	<0.001

3.2　凋落物持水率

持水率表征了凋落物的潜在持水能力，用凋落物吸收的水分与凋落物干重的比值来表示，该值越大，凋落物的持水能力就越强[1]。如图 2 可以看出，各类型森林的凋落物持水率的过程线整体变化趋势基本一致：在浸泡的不同时间，3 类型森林的凋落物持水率均呈现为：皆伐林＞径级择伐林＞原始林，浸泡 24 h 后达到最大值，其中原始林的凋落物最大持水率最小，为 155.6%，径级择伐林和皆伐林分别为 168.0% 和 169.2%(表 2)。

通过 Kruskal—Wallis H 检验表明，这 3 类型森林的凋落物最大持水率之间差异显著($p<0.05$)，说明采伐后的次生林凋落物最大持水率变大、持水能力增强。各类型森林凋落物的持水率 W_R 与浸泡时间 t 的动态关系按照对数方程($W_R=a\ln t+b$，其中 a 为方程系数，b 为方程常数项)变化。各拟合模拟的决定系数(R^2)均大于 0.97 ($p<0.001$)(表 4)。

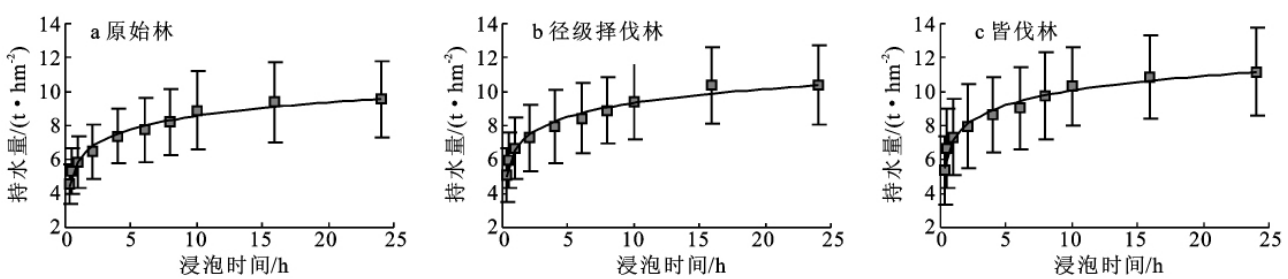


图 1　凋落物持水量与浸泡时间的关系

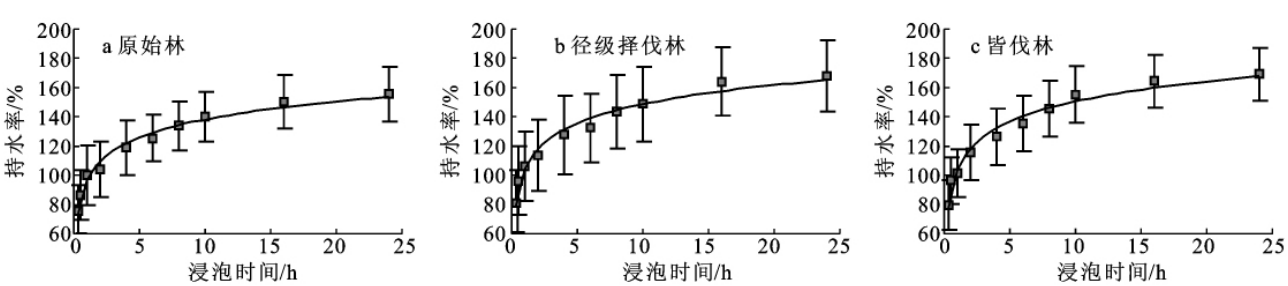


图 2　凋落物持水率与浸泡时间的关系

表 4 凋落物持水率(W_R)与浸泡时间(t)的方程

森林类型	方程	R^2	p
原始林	$W_R=17.61\ln t+97.67$	0.986	<0.001
径级择伐林	$W_R=18.80\ln t+105.4$	0.979	<0.001
皆伐林	$W_R=19.81\ln t+104.9$	0.980	<0.001

3.3 凋落物吸水速率

森林凋落物的吸水速率与持水能力紧密相关,吸水速率越大,林内降水涵蓄的速度就越快,从而可以更好地减少地表径流的发生[1]。由表 5 可知,各类型森林的凋落物吸水速率随时间变化的趋势是一致的,即在前 4 h 内随着浸泡时间的延长,凋落物的吸水速率急剧下降,此后下降速度明显减缓并趋于平衡。原始林、径级择伐林和皆伐林的凋落物最大吸水速率分别为 3 028,3 248 和 3 188 g/(kg·h)。随着浸水时间延长,各类型森林凋落物吸水速率差别逐渐减小并趋于一致,浸泡 24 h 后,次生林的凋落物饱和吸水速率基本在 70 g/(kg·h),略大于原始林的 65 g/(kg·h)。其原因主要是随着浸泡时间的延长,不同类型森林凋落物吸水趋于饱和,其持水量增长速度随之减缓。

凋落物吸水速率 W_A 与浸泡时间 t 呈极显著的乘幂函数关系($p<0.001$),不同类型森林凋落物吸水速率与浸泡时间的理论值很好地拟合了实测结果($R^2>0.99$)(表 6)。

表 5 不同时段凋落物吸水速率 g/(kg·h)

森林类型	浸水时间/h									
	0.25	0.5	1	2	4	6	8	10	16	24
原始林	3 028	1 733	999	522	297	209	162	140	87	65
径级择伐林	3 248	1 926	1 045	568	319	221	179	149	103	70
皆伐林	3 188	1 930	1 017	581	316	226	182	155	103	71

表 6 凋落物吸水速率(W_A)与浸泡时间(t)的方程

森林类型	方程	R^2	p
原始林	$W_A=957.2t^{-0.85}$	0.999	<0.001
径级择伐林	$W_A=1\ 033.0t^{-0.84}$	0.999	<0.001
皆伐林	$W_A=1\ 030.0t^{-0.83}$	0.999	<0.001

4 结论

原始林、径级择伐林和皆伐林的凋落物储量分别为 6.42,6.29 和 6.66 t/hm^2,与张洪江等[5]和林波等[12]研究中原始林(过成熟林)凋落物储量远大于演替期的森林凋落物储量不同,这是因为凋落物储量由凋落量、分解速率和累计年限共同决定[13],而热带森林采伐后的恢复速度明显高于温带、亚高山森林,尖峰岭热带森林采伐 30 a 后的天然次生林其生物多样性和林分生物量均可达到原始林的约 80%水平[11],天然次生林凋落物量甚至略高于原始林[14]。3 类型森林中原始林的凋落物最大持水率最小,为155.6%,而径级择伐林和皆伐林的凋落物最大持水率较为相近,分别为 168.0%和 169.2%。采伐后的次生林凋落物持水能力增强,这可能与林分树种组成、群落结构[15]和凋落物分解情况有关。

在不同浸泡时间段,3 类型森林的凋落物持水量均呈现为:皆伐林>径级择伐林>原始林,浸泡 24 h 时凋落物持水量达到饱和。森林凋落物的储水能力由凋落物数量和持水特性共同决定。3 类型森林中皆伐林的储水能力最大,达 11.17 t/hm^2;其次为径级择伐林,虽然其凋落物储量最小,但是其最大持水率大,最大持水量为 10.49 t/hm^2;原始林凋落物最大持水量最小,仅为 9.55 t/hm^2。

凋落物持水量和持水率与浸泡时间(t)的变化规律符合对数方程 $W=a\ln t+b$(a 为方程系数,b 为方程常数项),凋落物吸水速率与浸泡时间(t)的变化规律符合乘幂方程 $W=at^{-b}$,以上 3 种关系均达到极显著相关水平($p<0.001$)。说明这 2 个方程可以用来模拟凋落物在不同浸泡时间后的持水量、持水率和吸水速率的实际变化。模拟方程与张洪江等[5]、龚伟等[7]和常雅军等[8]的研究结果相似,与王云琦等[6]和薛立等[10]对凋落物吸水速率与浸泡时间的关系 $W=at^{-1}+b$ 有一定差异。

尖峰岭热带雨林是我国热带雨林地带性分布的一种典型植被群落,在维持区域生态环境中产生巨大的而又不可替代的作用。尖峰岭地处热带,高温高湿,土壤动物和微生物活动异常活跃,森林凋落物分解速度快、积累少,在台风暴雨多发的海南岛,其森林凋落物对防止水土流失和涵养水源尤其重要。本文研究了尖峰岭热带雨林区的凋落物储量及持水特性,而凋落物的储量及持水特性受林分树种组成、林龄、立地因子及海拔等多种因素综合影响,而全面准确地评价各因子对尖峰岭热带雨林凋落物储量和持水特性的影响,将是我们下一步研究的重点。

(下转第 67 页)

地土壤有机质处于适量状态,全氮较丰富;3 年生、7 年生有机质、全氮、速效氮处于贫瘠状态。随着苜蓿旱作时间的延长,土壤有机质、全氮、速效氮、速效钾、全磷、速效磷含量呈下降的趋势;待苜蓿开时老化,土壤有机质、全氮开始逐渐积累。

(4) 除氮素外,苜蓿地土壤全磷、全钾、速效磷、速效钾、有机质均低于坡耕地(CK),说明宁南半干旱黄土丘陵区旱作苜蓿粗放经营,加剧了土壤养分的贫瘠化。因此,在苜蓿经营过程中,有必要进行土壤培肥,在苜蓿退化严重时,可以通过轮作培肥等措施提高土壤肥力。

[参 考 文 献]

[1] 张大克,叶海江. 水稻土肥力水平分类中主要土壤肥力因素指标的筛选模型[J]. 农业工程学报,1997,13(2):91-95.

[2] 杨维西. 试论我国北方地区人工植被的土壤干化问题[J]. 林业科学,1996,32(1):78-85.

[3] 杨文治,田均良. 黄土高原土壤干燥化问题探源[J]. 土壤学报,2004,41(1):1-6.

[4] 侯庆春,韩蕊莲,韩仕峰. 黄土高原人工林草地"土壤干层"问题初探[J]. 中国水土保持,1999(5):11-14.

[5] 王力,邵明安,侯庆春. 延安试区土壤干层现状分析[J]. 水土保持通报,2000,20(3):35-37.

[6] 陈洪松,邵明安,王克林. 黄土区深层土壤干燥化与土壤水分循环特征[J]. 地理学报,2005,25(10):2491-2493.

[7] 李瑜琴. 西安地区丰水年后人工林地土壤水分恢复与消耗[D]. 陕西 西安:陕西师范大学,2006:12-13.

[8] 赵景波,孙桂贞,岳应利,等. 关中平原人工林地的干层及其成因[J]. 地理研究,2007,26(4):763-772.

[9] 程杰,高亚军. 云雾山封育草地土壤养分变化特征[J]. 草地学报,2007,15(3):273-277.

[10] 潘占兵,王彩艳,余峰,等. 宁南黄土丘陵区坡位、坡向对苜蓿地土壤含水量时空变异的影响[J]. 水土保持研究,2010,17(2):141-144.

[11] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业常规分析方法[M]. 北京:科学出版杜,1983:67-115.

[12] 李军,陈兵,李小芳,等. 黄土高原不同干旱类型区苜蓿草地深层土壤干燥化效应[J]. 生态学报,2007, 27(1):75-89.

[13] 曹广民,张金霞,鲍新奎,等. 高寒草甸生态系统磷素循环[J]. 生态学报,1999,19(4):514-517.

[14] 傅华,陈亚明,王彦荣,等. 阿拉善主要草地类型土壤有机碳特征及其影响因素[J]. 生态学报,2004,24(3):471-476.

(上接第 60 页)

致谢:野外调查得到海南尖峰岭国家级自然保护区莫锦华、蒋忠亮、陈焕强、余传文、王朝勇、苏红华等同志的大力协助,谨致谢意!

[参 考 文 献]

[1] 刘世荣,温远光,王兵,等. 中国森林生态系统水文生态功能规律[M]. 北京:中国林业出版社,1996.

[2] 朱金兆,刘建军,朱清科,等. 森林凋落物层水文生态功能研究[J]. 北京林业大学学报,2002, 26(5 /6): 30-34.

[3] 郭汉清,韩有志,白秀梅. 不同林分枯落物水文效应和地表粗率系数研究[J]. 水土保持学报,2010,24(2):179-183.

[4] 申卫军,彭少麟,周国逸. 马占相思(*Acacia mangium*)与湿地松(*Pinus elliotii*)人工林枯落物层的水文生态功能[J]. 生态学报, 2001,21(5):846-850.

[5] 张洪江,程金花,余新晓,等. 贡嘎山冷杉纯林枯落物储量及其持水特性[J]. 林业科学,2003, 39(5):147-151.

[6] 王云琦,王玉杰,张洪江,等. 重庆缙云山几种典型植被枯落物水文特性研究[J]. 水土保持学报, 2004,18(3):41-44.

[7] 龚伟,胡庭兴,王景燕. 川南天然常绿阔叶林人工更新后枯落物层持水特性研究[J]. 水土保持学报, 2006,20(3):51-55.

[8] 常雅军,曹靖,马建伟,等. 秦岭西部山地针叶林凋落物持水特性[J]. 应用生态学报, 2008,19(11): 2346-2351.

[9] 徐娟,余新晓,席彩云. 北京十三陵不同林分凋落物层和土壤层水文效应研究[J]. 水土保持学报,2009, 23(3):189-193.

[10] 薛立,何跃军,屈明,等. 华南典型人工林凋落物的持水特性[J]. 植物生态学报,2005,29(3):415-421.

[11] 李意德,陈步峰,周光益,等. 中国海南岛热带森林及其生物多样性保护研究[M]. 北京:中国林业出版社,2002.

[12] 林波,刘庆,吴彦,等. 亚高山针叶林人工恢复过程中凋落物动态分析[J]. 应用生态学报, 2004,15(9):1491-1496.

[13] 高人,周广柱. 辽宁东部山区几种主要森林植被类型枯落物层持水性能研究[J]. 沈阳农业大学学报,2002,33(2):115-118.

[14] 吴仲民,卢俊培,杜志鹃. 海南岛尖峰岭热带山地雨林及其更新群落的凋落物量与贮量[J]. 植物生态学报,1994,18(4):306-313.

[15] 黄全,李意德. 海南岛尖峰岭热带山地雨林采伐迹地更新群落的初步分析[J]. 植物生态学与地植物学学报,1988,12(10):12-22.