

毛竹林等不同森林类型枯落物水文特性的研究

高志勤^{1,2}, 傅懋毅¹

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400; 2. 宁波城市职业技术学院, 浙江 奉化 315502)

摘要: 2002年12月采集位于浙江省富阳市毛竹产区试验林分枯落物, 测定毛竹纯林、竹阔混交林枯落物的水文特性并与阔叶林对照, 结果表明: 24 h内枯落物持水进程可以分为两个阶段: 阶段 \tilde{N} (0~ 8 h) 和阶段 \hat{O} (8~ 24 h)。阶段 \tilde{N} 不同林分枯落物持水量约占饱和持水量(24 h)的比例范围为: 23. 85%~ 30. 39%。枯落物持水量随浸泡时间延长而增加, 6~ 8 h后基本趋于稳定。枯落物浸泡1 h的平均持水率为 $1. 958 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$, 浸泡4 h后降低为 $0. 419 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$, 降低至初始值的22%。在浸泡2~ 8 h后, 毛竹纯林枯落物持水率是竹阔混交林的1/3~ 1/8。阶段 \hat{O} 各林分枯落物在不同时段的持水量表现出相似规律, 即在8~ 12 h呈现下降趋势, 12 h后各时段枯落物持水量又有所回升至24 h达到饱和。相比之下竹阔混交林枯落物持水量下降幅度最快。各森林类型枯落物对降水的拦蓄能力依此排序为: 常绿阔叶林> 竹阔混交林> 未垦复毛竹纯林> 垦复毛竹纯林。从林地枯落物的现存量及饱和持水量着眼, 竹阔混交林的水文生态效应优于毛竹纯林而次于常绿阔叶林, 垦复毛竹林不利于枯落物水文效应的发挥。

关键词: 毛竹林; 枯落物; 持水率; 有效拦蓄能力

中图分类号: S795. 7 **文献标识码:** A

Studies on the Hydrologic Characteristics of Litter under *Phyllostachys pubescens* in Several Different Forest Stands

GAO Zhiqin^{1,2}, FUMaoyi¹

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, CAF, Fuyang 311400, Zhejiang, China; 2. Ningbo Vocational Technology College, Ningbo 315211, Zhejiang, China)

Abstract: This paper dealt with a study on comparing the hydrologic characteristics of litter layers under different structure of *Phyllostachys pubescens* and evergreen broadleaved forest stands. It showed that the water absorptive process of litter under various stands can be obviously divided into two phases in 24 hours as follow: phase \tilde{N} (0~ 8 h) and \hat{O} (8~ 24 h). The ratio of water holding capacity of litter under various stands to saturation ranged from 23. 85% to 30. 39% in phase \tilde{N} (0~ 8 h). The water holding capacity of litter increased with the delaying of submerging time, and almost no increase occurred after 6~ 8 hours, whereas water holding rate of litter decreased with the delaying of submerging time; the average water holding rate of litter was about $1. 958 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ after dipping in 1 hour. However, it declined to $0. 419 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ approximately which took the percentage of 22% of primary value, water holding rate of pure Moso bamboo litter was about 1/3~ 1/8 that of Moso bamboo mixed with broadleaved forest stands. The order of water conservation ability of litter were as follows: aiphyllium (evergreen broadleaved forest) > *Phyllostachys pubescens* mixed with broadleaved forest stands > pure *Phyllostachys pubescens* stands > reclamation *Phyllostachys pubescens* stands. From the view point of both the dry weight of static litter and water holding capacity, the hydroecological efficiency of *Phyllostachys pubescens* mixed with broadleaved forest stands was better than that of pure *Phyllostachys pubescens* stands, whereas weaker than aiphyllium. It was necessary to point out that the reclamation of *Phyllostachys pubescens* stands won't benefit exert maximum hydroecological efficiency.

Key words: *Phyllostachys pubescens* stands; litter; water holding ratio; water conservation ability

收稿日期: 20040723

基金项目: 2001) 2004年国际合作项目/ 中国主要竹产区的土地利用制度选择及其对环境的影响0部分研究内容, 国际林业研究中心(CIFOR)资助

作者简介: 高志勤(1967), 男, 浙江兰溪人, 讲师, 博士。

森林是陆地生态系统的主体,具有巨大的水源涵养功能^[1,2],森林垂直结构一般包括林冠、灌木草本、枯落物和地被等层次^[3],其涵养水源功能在各层次得到不同程度的体现。枯落物层水源涵养能力受林分树种组成、林龄、立地条件和经营措施等的综合影响^[4,5]。据杨学军等^[6]研究证实,森林枯落物层的水源涵养功能大于森林中的幼树、灌草活地被层,枯落物层能吸收相当于自身质量 2~4 倍的水分^[7,8],枯落物层滞留吸收水分对延缓径流产生和发生数量、维持并提高土壤肥力具有积极作用。

上世纪 90 年代初,王彦辉^[9,10]曾研究江西大岗山人工毛竹 (*Phyllostachys pubescens* Mazelex H. de Lehaie) 林土壤的水文生态效应,指出 0~60 cm 土层贮水容量大于杉木林 (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.) 和阔叶林,毛竹林土壤稳渗率大于杉木林而小于阔叶混交林;阮宏华等^[11]针对宁镇丘陵区栎林 (*Quercus* sp.)、火炬松 (*Pinus taeda* Linn.) 林和杉木林等不同森林类型,开展凋落物水文特性研究,结果表时,凋落物未分解层最大持水率最高为火炬松林,栎林最小,半分解层最大持水率最高为杉木林,仍以栎林最小。郑郁善等^[12]研究指出,杉竹混交林冠层持水最和 0~40 cm 土层贮水量高于杉木纯林和毛竹纯林,吴炳生等^[13]撰文指出,毛竹阔叶树混交林凋落物层持水量高于毛竹纯林及竹杉混交林。因此,毛竹林水文效应从植冠、枯落物和土壤等层次均能得到体现并已取得可喜研究进展。

目前,无论从资源数量或分布区域来看,毛竹是竹类资源中分布最广和经济价值最高的竹种资源,2002 年底统计,毛竹林约占竹林总面积

的 68.7%,高达 345 @10⁴ hm²,迄今尚有 60% 左右的资源处于粗放经营状态^[14],这其中多属竹针(阔)混交类型,由于 80% 以上的竹林面积分布在江河湖库源头和两岸丘陵^[15],发挥了重要的水源涵养和水土保持的生态功能。

本文以不同结构和经营方式的毛竹纯林(含垦复),竹阔混交林为主要研究对象,同时以地带性顶极群落常绿阔叶林为参比,比较不同林分枯落物现存量及其水文特性,模拟枯落物持水速度与清水浸泡时间方程可以预测枯落物持水进程(0~24 h),试验结果是对已有毛竹林水文生态效应研究成果的丰富和补充,同时可为评价毛竹水源涵养效益提供参考。

1 试验林分概况

试验区位于浙江省富阳市的毛竹产区,该区域地理位置属于天目山系浅丘地带,平均海拔 186~258 m,平均年降水量 1 200 mm,成土环境优良。成土母岩以花岗岩、页岩和砂岩为主,土壤发生类型属于黄红壤亚类,中至厚层侵蚀黄红壤土种,地区顶极群落为常绿阔叶林。毛竹林是试验区最主要的森林资源,根据经营集约化程度分为毛竹纯林和天然竹阔混交林两种基本类型。选择垦复毛竹纯林,未垦复毛竹纯林,毛竹阔叶树混交林,封山育林后林相恢复完整的常绿阔叶林为研究对象,各标准地分别处于海拔 270~320 m 之间的山丘坡地,每一林分类型各设置标准地 2 块,以每一类型中的 1 块标准地开展对比研究,面积均为 20 m @25 m。林分基本状况如表 1、2。

表 1 试验林分概况

林分类型	主要乔灌木	林分年龄	海拔/m	坡向	经营状况
垦复毛竹纯林	无	2 度竹为主	340	东南坡	2002 年 9 月垦复,集约经营
竹阔混交林	木荷、苦槠、继木、黄檀	3 度竹为主	305	南坡	2002 年 10 月割灌,粗放经营
未垦复毛竹纯林	野鸭椿、连蕊茶、柃木、乌药	2 度竹为主	370	东坡	2001 年 11 月割灌,集约经营
常绿阔叶林	枫香、苦槠、青冈和老鼠矢	30~45 年	240	北坡	自然状态

表 2 试验林标准地概况

标地编号	郁闭度	树种组成	密度/(株#hm ⁻²)	灌木草本盖度	枯落物层厚度/cm	枯落物组分	枯落物烘干质量/(kg#hm ⁻²)
No. 1	0.85	10 竹	3 440	0	1	竹叶、箨和枝	1 369.74
No. 2	0.9	6 竹 4 阔	2 300	0.9	2~3	竹叶、木荷叶、箨和枝	9 989.6
No. 3	0.8	10 竹	2 680	0.8	2.5	竹叶、箨和枝	7 857.2
No. 4	11.0	10 阔	4 100	0.7	5~7	枝叶和果皮	19 455.6

2 研究方法

2002 年 12 月下旬, 在各类林地上随机选择 5 个 015 m@015 m 小样方全层收集枯枝落叶, 及时携回风干后称质量, 从风干样品中随机取 30~40 g 装入敞口布袋中, 105 °C 烘干 6 h 后冷却称质量, 计算样品自然含水率, 以此为参数计算样方枯枝落叶烘干质量。

按照 4 类样地分别取自然风干样品 610~1210 g, 每一样地重复 4 次。样品在清水中分别浸泡 1、2、4、8、12、24 h 后, 捞出沥干至重力水不下滴为止, 称得样品在不同吸水时间的质量, 并通过换算按烘干质量计算持水量和吸水速度。计算公式:

持水量/(g#g⁻¹) = (湿质量 - 烘干质量)/烘干质量

持水速度/(g#g⁻¹#h⁻¹) = 持水量/浸水时间

持水率为持水量乘以 100%, 以浸泡 24 h 后的持水率为最大持水率^[11,16]。枯落物层对降水的拦蓄能力, 与其含水量密切相关, 持续降雨使该层的拦蓄能力迅速降低, 另外枯落物的现存量和其最大持水率对拦蓄能力也起相当大的作用。拦蓄量用下式表示:

$$W = (0.185 R_m - R_0) @ M^{[11]}$$

式中: W) 有效拦蓄量(t#hm⁻²), R₀) 平均自然含水率(%), R_m) 最大持水率(%), M) 枯落物现存量(t#hm⁻²)。

3 结果与分析

3.1 不同林分枯落物持水量比较

由表 1 看出, 各林地枯枝落叶层厚度相差悬殊(1~6 cm), 烘干质量也存在较大差距。竹阔混交林地(No12)的枯落物量明显比毛竹纯林高, 枯落物烘干质量分别是毛竹纯林(No11)的 7129 倍和 No13 的 1127 倍, 而常绿阔叶林(No14)是竹阔混交林的 1195 倍, 是毛竹纯林(No11)的 14120 倍和 No13 的 2148 倍。由此可见, 竹阔混交林枯落物数量显著高于垦复毛竹纯林, 也高出未垦复毛竹纯林, 而地带性顶极群落常绿阔叶林无论在枯落物层厚度方面, 还是在其烘干质量方面都极显著高于不同结构状态的毛竹林。

从图 1 不难发现, 垦复毛竹纯林和竹阔混交林枯落物平均持水量在 8~9 h 后开始趋于

下降, 此时因枯枝落叶组织细胞的吸收水分能力达到极限; 未垦复毛竹纯林枯落物在 3 h 后, 持水量开始逐步下降, 至 13 h 后又开始有所回升但幅度不大; 常绿阔叶林枯落物持水进程则相对平缓, 215 h 后持水量呈现缓慢上升的态势。大体上枯落物持水进程分为两个阶段: 阶段 \tilde{N} (0~8 h) 和阶段 \tilde{O} (8~24 h), 常绿阔叶林、未垦复毛竹纯林与竹阔混交林、垦复毛竹纯林枯落物持水进程不同。8~24 h 内各时段除常绿阔叶林枯落物平均持水量呈现缓慢增加外, 其余 3 个林分枯落物平均持水量均呈现出先降后升的趋势, 相比之下垦复毛竹纯林枯落物平均持水变化幅度最小, 而竹阔混交林的变化最剧烈, 出现该现象可能与枯落物组分比例、粉碎程度及叶子结构相异有关系。

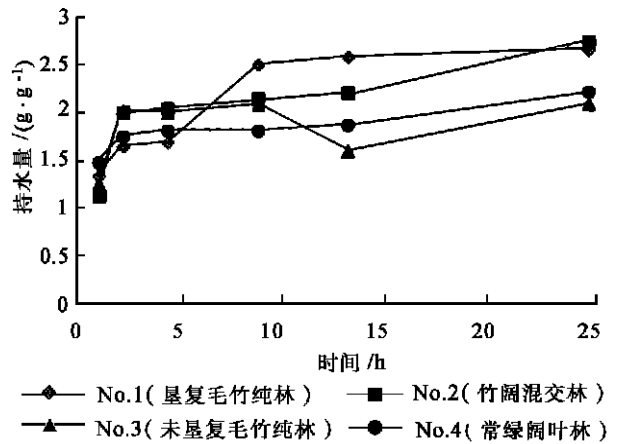


图 1 10~24 h 不同时段各林分枯落物平均吸持水量变化

0~3 h 是平均持水量增幅最大的阶段, 在阶段 \tilde{N} 各林分枯落物平均持水量约占整个阶段(24 h)的比例分别是: 垦复毛竹纯林(23185%), 竹阔混交林(24177%), 未垦复毛竹纯林(30160%), 常绿阔叶林(30139%), 未垦复毛竹纯林和常绿阔叶林枯落物持水量比例接近, 而竹阔混交林和垦复毛竹林地枯落物持水量则相对小一些。

方差分析结果(表 3)表明, 不同林分枯落物平均持水量虽存在差异但未达到差异显著水平, 不同时段平均持水量存在极显著差异(A=010025)。从 Duncan 多重比较可知, 持水进程可以划分为 0~8 h 和 8~24 h 两个明显不同的阶段, 在每一个阶段内不同林分枯落物的平均持水量差异不显著, 两个阶段间平均持水量差异显著。

枯落物的平均持水量随浸泡时间延长而增加,但持水速度恰好相反,持水速度随浸泡时间延长而减少;各类型枯落物浸泡 1 h 的平均持水速度为 $11958 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$, 浸泡 4 h 后, 平均持水速度降低为 $01419 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$, 降低为初始值的

22%, 因此, 林地枯落物调蓄水分功能在降雨后的 4 h 内发挥的作用最为突出。不同类型森林枯落物在不同时间段的持水速率的变化, 影响森林的水文调节功能的发挥程度, 枯落物能在短时间内快速持水的森林将有利于其功能的发挥。

表3 枯落物持水量方差分析

变异来源	df	SS	MS	F	$F_{0.05}$	$F_{0.01}$
林分(a)	3	0.363 6	0.121 2	1.44	1.92	2.5
时段(b)	5	2.648 2	0.529 6	6.275*	2.25	3.34
机误(e)	15	1.266 1	0.084 4			
总变误(T)	23	4.278				

3.1.2 不同林分枯落物持水速度的比较

从表 4 中数据可以看出: 垦复毛竹纯林 (No1) 枯落物持水速度是未垦复毛竹纯林 (No13) 的 1106 倍, 是常绿阔叶林 (No14) 的 1120 倍, 未垦复毛竹纯林 (No13) 是常绿阔叶林的 1114 倍, 而与竹阔混交林 (No12) 的枯落物持水速度差异极小, 虽然阔叶林地枯落物的平均持水量并不大于毛竹纯林, 但其吸水过程相对平缓 (见图 1), 这与阔叶树种的凋落叶习性有直

接关系, 这种特性将对森林水文效益功能的发挥起到积极影响。

表4 不同林分枯落物浸泡 24 h 的平均持水特性比较

林分类型	平均持水量/ ($\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	平均持水速度/ ($\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)
垦复毛竹纯林 (No. 1)	2.67	0.71
竹阔混交林 (No. 2)	2.05	0.67
未垦复毛竹纯林 (No. 3)	2.05	0.67
常绿阔叶林 (No. 4)	1.83	0.59

表5 不同林分枯落物 24 h 内的持水速度变化状况 ($\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)

样地编号	林分名称	浸泡时间/h					
		1	2	4	8	12	24
No. 1	垦复毛竹纯林	2.34	0.82	0.42	0.34	0.21	0.11
No. 2	竹阔混交林	1.80	1.02	0.50	0.35	0.18	0.09
No. 3	未垦复毛竹纯林	1.97	1.06	0.50	0.25	0.13	0.08
No. 4	常绿阔叶林	1.72	0.90	0.44	0.23	0.16	0.09

从表 5 可以看出不同林分枯落物持水速度呈现如下特点: 毛竹纯林 (无论垦复与否) 枯落物持水速度在 0~ 1 h 内大于常绿阔叶林, 在 0~ 1 h 内各林分枯落物持水速度大小序列: 垦复毛竹纯林 > 未垦复毛竹纯林 > 竹阔混交林 > 常绿阔叶林。未垦复毛竹纯林枯落物持水速度在 2~ 4 h 间略大于垦复毛竹纯林, 竹阔混交林枯落物持水速度在 24 h 内也只是略大于常绿阔叶林。在 2~ 12 h 内各林分枯落物持水速度虽存在差异但相差不大, 竹阔混交林略大于其它林分, 至 24 h 差异几乎消失。

以枯落物清水浸泡 8 次间隔时间 (1、2、4、6、8、10、12、24 h) 为自变量 (x/h), 对应时间测得的持水速度 ($y/\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) 为因变量, 拟合二者相关方程。未垦复毛竹纯林枯落物持水速度与浸水时间的回归方程: $Y = 01135 2x^2 - 11285 8$

$x + 21971 2$, 相关系数 $R^2 = 01955 2$, 竹阔混交林: $Y = 01101 5 x^2 - 01993 6 x + 21503 9$, 相关系数 $R^2 = 01897 5$, 垦复毛竹纯林: $Y = 01172 8 x^2 - 11648 6 x + 31812 9$, 相关系数 $R^2 = 01954 5$, 常绿阔叶林: $Y = 01095 1x^2 - 01969 1x + 21537 8$, 相关系数 $R^2 = 01987 7$, 以上方程在 0~ 24 h 内有效。由此说明, 除竹阔混交林枯落物持水速度方程的相关系数相对偏小外, 其余 3 个林地枯落物在 24 h 内的持水速度与浸泡时间具有极高的相关性 ($R^2 > 01950 0$)。以上方程可以用来预测 24 h 内的持水进程。

3.1.3 不同林分枯落物持水能力的比较

从某一季节林地枯落物的贮量和其水文特性值, 可以初步估算出不同林地枯落物的水文生态效应。

表 6 不同林分枯落物层 24 h 内持水能力的比较

样地编号	平均持量/(t#hm ⁻²)	平均持水深度/mm
No. 1	3.653	0.37
No. 2	20.446	2.04
No. 3	16.131	1.61
No. 4	35.668	3.57

注: 持水深度/mm= 平均持水量/(t#hm⁻²)/110 @10⁻⁴@10³= 平均持水量 @0.1。

分析表 6 数据得出, 常绿阔叶林枯落物层持水量是竹阔混交林的 1174 倍, 竹阔混交林是未垦复毛竹纯林的 1127 倍, 是垦复毛竹纯林的 5160 倍, 它们之间的比例接近于: 常绿阔叶林B竹阔混交林B未垦复毛竹纯林B垦复毛竹纯林U10B517B415B1。据此也证明了封山育林后逐步恢复起来的阔叶林优于毛竹林, 而以一定比例阔叶树与毛竹混生的竹阔混交林又好于毛竹纯林; 值得注意的是经过垦复的毛竹林地不但枯落物总量显著减少, 而且其所发挥的水文效应也低于未垦

表 7 不同林分类型枯落物 24 h 内的有效拦蓄能力

林分类型	枯落物烘干质量/(t#hm ⁻²)	自然含水率/%	最大持水率/%	有效拦蓄能力		
				有效拦蓄率/%	有效拦蓄量/(#hm ⁻²)	有效拦蓄量深/mm
垦复毛竹纯林 (No. 1)	1.37	13.52	258	205.78	2.819	0.28
竹阔混交林 (No. 2)	9.99	13.63	221	174.22	17.404	1.74
未垦复毛竹纯林 (No. 3)	7.857	12.2	202	159.5	12.532	1.25
常绿阔叶林 (No. 4)	19.456	13.61	207	162.34	31.584	3.16

注: 枯落物自然含水率是 2002 年 12 月下旬样品的平均值。

4 结论与建议

由于树种组成和林地耕作方式的不同, 导致不同林分乔木层, 林下灌草层、枯落物层直至土壤水文效应存在差异。在空间距离小于 20 km 的试验区, 降水量可视为接近, 以换叶较多的毛竹生长小年(2002 年)测定冬季枯落物贮量和水文特性, 为深入了解不同毛竹林枯落物水文效应有必要开展 2 a 为一观测周期的监测。鉴于毛竹林叶凋落物主要集中产生在春季(4、5 月)和晚秋(11 月)^[17, 18], 因此, 采样时间不妨可选定夏季或冬季。

(1) 研究表明, 本试验中 4 类林分冬春季林地枯落物现存量变动在 1137~19146 t#hm⁻² 之间, 封山育林后的常绿阔叶林最大, 竹阔混交林次之, 而烘干质量垦复毛竹纯林最小。

(2) 枯落物的持水量随浸泡时间的延长而增加, 6~8 h 后基本趋于稳定; 持水率在浸泡 1~4 h 内最高, 4 h 后开始逐步减慢, 4~8 h 内降低值

复毛竹林地。因此, 在经营毛竹林时, 频繁地垦复虽然能够改善林地土壤的理化性质, 促进毛竹生长量的提高, 但从林地覆盖层所发挥的水文生态效应来看, 则表现出并不十分理想的效果, 在林地管理时也需要注意这一点。

314 不同林分枯落物对降水的拦蓄能力

从计算结果(表 7)表明: 试验区不同结构和经营方式毛竹林和阔叶林对降水的拦蓄量依次为: 常绿阔叶林> 竹阔混交林> 未垦复毛竹纯林> 垦复毛竹纯林。竹阔混交林枯落物对降水有效拦蓄率高出常绿阔叶林近 713%, 而毛竹纯林枯落物的平均有效拦蓄率又比竹阔混交林高出近 5%, 这也说明了毛竹林枯落物的持水性能并不比阔叶林逊色, 只是毛竹林地枯落物总量比阔叶林低许多, 所以表现出阔叶林枯落物水文效应比毛竹林优越。

最大, 至 12 h 差异甚微。在吸水的 24 h 内, 枯落物持水速度与浸水时间经拟合符合开口向上的二次抛物线方程($Y = ax^2 - bx + c$), 不同林地枯落物在相同时间段内持水量差异不显著。

(3) 某一时间段内枯落物对降水的拦蓄能力, 取决于枯落物的现存量和平均自然含水率, 各森林类型枯落物对降水的拦蓄能力依此排序为: 常绿阔叶林> 竹阔混交林> 未垦复毛竹纯林> 垦复毛竹纯林, 竹阔混交林枯落物表现出比毛竹纯林更强的水文调节功能。

(4) 从林地枯落物的现存量及其 24 h 内饱和和持水量着眼, 竹阔混交林的水文生态效应优于毛竹纯林而次于常绿阔叶林, 垦复之后的毛竹林地表层枯落物数量急剧减少, 不利于水文效应的发挥。因此, 保护和恢复一定数量的竹阔混交林有利于竹林涵养水源功能的发挥, 而频繁地垦复林地固然能改善林地肥力状况, 但不利于竹林水文生态效应的最大发挥, 在经营过程中也需要引起注意。

参考文献:

- [1] 沈辛作. 浙江山地主要森林类型枯落物水文特性的初步研究[J]. 浙江林业科技, 1986(2): 6
- [2] Recharad Lee. 张建列译. 森林水文学[M]. 哈尔滨: 东北林业学院出版社, 1986
- [3] 马雪华, 杨茂瑞, 王建军. 亚热带杉木、马尾松人工林水文功能的研究[A]. 见: 林业部科技司. 中国森林生态系统定位研究[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1994: 346~ 353
- [4] 耿玉清, 沈慧. 森林地表枯枝落叶层涵养水源作用的研究[J]. 北京林业大学学报, 2000, 22(5): 49~ 52
- [5] 朱金兆, 刘建军. 森林凋落物层水文生态功能研究[J]. 北京林业大学学报, 2002, 24(5/6): 30~ 34
- [6] 杨学军, 姜志林. 苏南丘陵区主要森林类型地被层水源涵养功能研究[J]. 水土保持通报, 2001, 21(3): 28~ 31
- [7] Liu S R, Sun P S, Wen Y G. Comparative analysis of hydrological functions of major forest ecostens in China[J]. Acta Phytocologica Sinica, 2003, 27(1): 16~ 22
- [8] 黄礼隆. 川西亚高山暗针叶森林涵养水源性能的初步研究[A]. 见: 林业部科技司. 中国森林生态系统定位研究[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1994: 400~ 412
- [9] 王彦辉. 人工毛竹林土壤的水文生态效应[J]. 竹子研究汇刊, 1990, 9(4): 40~ 49
- [10] 王彦辉. 江西省大岗山毛竹林水分效应研究[J]. 林业科学研究, 1993, 6(4): 373~ 379
- [11] 阮宏华, 孙多, 叶镜中. 下蜀林场主要森林类型凋落物水文特性的研究[A]. 见: 姜志林. 下蜀森林生态系统定位研究论文集[C]. 北京: 中国林业出版社, 1992: 36~ 41
- [12] 郑郁善, 洪伟. 毛竹经营学[M]. 厦门: 厦门大学出版社, 1998: 52~ 64, 238~ 268
- [13] 吴柄生, 谢华. 毛竹林群落类型水源涵养功能的初步研究[J]. 竹子研究汇刊, 1992(4): 18~ 24
- [14] 许传德. 面向 21 世纪的中国竹业[J]. 竹子研究汇刊, 2000, 19(3): 8~ 12
- [15] 江泽慧. 抓住机遇, 开创未来, 加速推进我国竹产业发展[J]. 竹子研究汇刊, 2002, 29(1): 1~ 5
- [16] 吴中能, 付军, 庄家尧. 毛竹等森林类型水文水保生态效益的研究[J]. 安徽农业科学, 2003, 31(2): 200~ 202
- [17] Fu Maoyi, Xiao Jianghua, Lou Yiping. Cultivation and Utilization on Bamboos [C]. Beijing: Chian Forestry Publishing House. September 2000: 106
- [18] Rao A N, Dhanarajan G, Sastry C B. Recent Research on Bamboos [C]. Proceedings of the International Bamboo Workshop October 6- 14, 1985. Hangzhou, People's Republic of China, 1985: 125~ 128