

# 太湖地区森林生态系统的水源涵养功能特征

张彪, 杨艳刚, 张灿强

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

**摘要:** 为客观认识森林生态系统在流域水资源管理中的作用, 在总结分析前人研究成果的基础上, 该文综合比较了太湖地区主要森林类型中枯枝落叶层和土壤层的涵养水源功能特征。结果表明: 太湖地区森林生态系统林下枯枝落叶层现存量平均值为  $4.68 \sim 14.4 \text{ t/hm}^2$ , 持水量为  $11.6 \sim 29.99 \text{ t/hm}^2$ , 持水率为  $187.24\% \sim 246.22\%$ ; 主要森林类型土壤层的毛管孔隙度变动于  $39.01\% \sim 44.21\%$ , 非毛管孔隙度为  $10.21\% \sim 16.53\%$ ; 而土壤层的初渗率变动于  $11.94 \sim 19.06 \text{ mm/min}$ , 稳渗率为  $3.77 \sim 6.74 \text{ mm/min}$ 。总体来看, 太湖地区森林枯枝落叶层和土壤层的水源涵养能力指标多低于亚热带平均值。

**关键词:** 森林; 水源涵养; 枯枝落叶层; 土壤层; 太湖地区

中图分类号: S715.7

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)05-0096-05

## Characteristics of Water Conservation of Forest Ecosystem in Tai Lake Region

ZHANG Biao, YANG Yan-gang, ZHANG Can-qiang

(Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Science, Beijing 100101, China)

**Abstract:** In recent years, the water conservation of forest ecosystem has raised a number of concerns. However, the present studies in Tai Lake Region lack of a comprehensive discussion and analysis on water conservation of forests. This paper reviewed a great deal of forest hydrology studies in Tai Lake Region, and compared the characteristics of water conservation in forest litter and soil layer. Field measurements indicated that, the litter biomass of major forest types ranged from  $4.68 \text{ t/hm}^2$  to  $14.4 \text{ t/hm}^2$ , the amount of water interception by litter varied from  $11.6 \text{ t/hm}^2$  to  $29.99 \text{ t/hm}^2$ , and the interception ratio of fully water-saturated weight to its dry mass ranged from  $187.24\%$  to  $246.22\%$ . The forests in Tai Lake Region also had well-developed soil porosity, with non-capillary pores ranging from  $10.21\%$  to  $16.53\%$ , and capillary pores from  $39.01\%$  to  $44.21\%$ . In addition, the forest soil permeability capabilities varied with vegetation types. The deciduous broadleaf forest had the largest steady-state permeability of  $6.74 \text{ mm/min}$ , followed by Chinese fir plantation, bamboo, evergreen broadleaf forest and pine. In sum, more improvement should be done in water conservation functions of forests in Tai Lake Region.

**Key words:** forest ecosystem; water conservation; litter; soil layer; Tai Lake Region

森林是陆地上最重要的生态系统, 有着独特的生态水文功能<sup>[1]</sup>, 主要表现为拦蓄降水、调节径流、净化水质等水源涵养功能<sup>[2]</sup>。充分发挥森林的生态水文功能已成为国际上流域水资源保护的重要手段<sup>[3-5]</sup>。我国传统的林业发展决策多基于森林的生产功能, 因此, 如何平衡森林的生态水文效应, 如何最大限度地满足不同发展方面对森林植被恢复的要求, 以及如何在不同地区开展森林植被与水资源的管理等问题, 都需要开展深入研究<sup>[6]</sup>。近年来, 太湖地区湖泊

生态功能日益退化, 尤其是水体污染和富营养化问题成为制约流域发展的主要问题<sup>[7]</sup>。虽然这些问题的出现主要与社会、经济因素有关<sup>[8-9]</sup>。但是, 统筹考虑流域生态系统的综合影响<sup>[10-11]</sup>, 充分发挥森林植被的生态水文功能对于流域水资源保护和水环境治理意义重大。尤其是目前太湖地区森林生态水文功能已开展了大量研究<sup>[12-20]</sup>, 为深入认识森林生态系统与水资源之间的关系奠定了良好基础。但是, 这些研究多是针对典型地区森林生态系统水源涵养功能的实测

收稿日期: 2010-04-19

资助项目: 国家水污染防治专项“太湖流域水生态功能分区与质量目标管理技术示范”(2008ZX07526-007)

作者简介: 张彪(1980-), 男, 山东省郯城人, 博士, 助研, 主要从事生态服务功能评估与生态补偿研究。E-mail: zhangbiao@igsnrr.ac.cn

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

研究,需要在宏观尺度上对这些研究成果进行综合比较分析。因此,本文在借鉴前人研究成果的基础上,重点综合比较了太湖地区森林枯枝落叶层和土壤层的涵养水源功能特征,希望能为太湖地区森林生态系统的优化调控以及森林生态水文功能的有效发挥提供决策依据。

1 研究区概况

太湖地区(119°11′-121°53′E,30°28′-32°15′N)位于长江下游三角洲,流域面积3.69万km<sup>2</sup>,主要属苏、浙、沪两省一市,包括上海、苏州、无锡、常州、杭州、嘉兴和湖州等地区。地势平坦,平原占流域面积的60.5%,丘陵山地占22%,其余为水域<sup>[20]</sup>。太湖地区属亚热带季风气候区,年平均气温15~17℃,多年平均降雨量为1180mm(表1)。

太湖地区地跨北亚热带与中亚热带,自然植被主要分布于丘陵山地,地带性土壤相应为亚热带的黄棕壤与中亚热带的红壤。地带性常绿针叶林以马尾松林(*Pinus massoniana*)与杉木林(*Cunninghamia lanceola-*

*ta*)为主,落叶阔叶林多为以麻栎(*Quercus acutissima*)、栓皮栎(*Quercus variabilis*)、化香(*Platycarya strobilacea*)、黄檀(*Dalbergia hupeana*)等为主的次生林,常绿阔叶林主要包括青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)、苦槠(*Castanopsis sclerophylla*)、石栎(*Lithocarpus glaber*)、小红栲(*Castanea henryi*)、木荷(*Schima superba*)与紫楠(*Phoebe sheareri*)等树种,竹林广泛分布于中亚热带丘陵山区,主要建群种有毛竹(*Phyllostachys pubescens*)、刚竹(*Phyllostachys viridis*)、淡竹(*Phyllostachys glauca*)等,灌丛大多为森林严重破坏后出现的初期次生类型,主要有狭叶山胡椒(*Lindera angustifolia*)、铁黑汉条(*Spiraea chinensis*)、白栎(*Quercus fabri*)、短柄枹(*Quercus glandulifera*)与杜鹃(*Rhododendron simsii*)等。

根据森林资源调查数据,太湖地区单位面积森林蓄积量较低(如表2),而且林龄结构以中幼龄林为主,其中幼龄林面积占地区森林总面积的67%~90%,而成熟林仅占10%~33%。有林地中,纯林面积占到62%~86%,而混交林比例明显偏低(如图1)。

表 1 太湖典型地区年均降雨量

地区	上海	苏州	无锡	常州	杭州	嘉兴	湖州
降雨量/mm	1068.6	1100.0	1112.3	1066.0	1435.0	1188.0	1345.4

表 2 太湖地区森林单位面积蓄积量

地区	江阴市	安吉县	长兴县	浙江省	江苏省	全国
单位蓄积/(m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	37.65	41.25	36.9	31.95	51.6	84.75

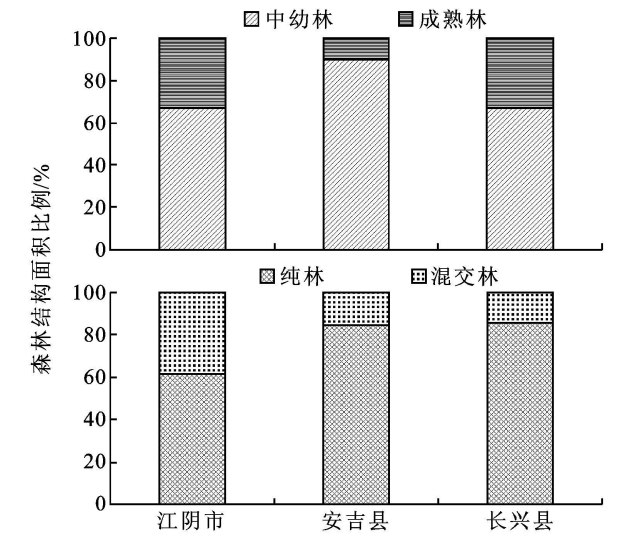


图 1 太湖地区有林地森林结构面积比例

2 研究方法

水源涵养功能是森林生态系统内多个水文过程及其水文效应的综合表现<sup>[2]</sup>,主要涉及林冠层、枯枝落叶层和土壤层三个作用层,其中土壤非毛管孔隙的调节能力占90%以上,其次为枯枝落叶层的调节,森

林冠层的调节能力较弱<sup>[1]</sup>。因此,本研究重点讨论枯枝落叶层和土壤层的水文功能特征。首先在总结参考太湖地区森林生态水文功能现有研究成果的基础上,重点针对不同森林类型下枯枝落叶层和土壤层涵养水源功能的评价指标和影响因子,主要包括枯枝落叶层的现存量、持水量和持水率,土壤层的毛管孔隙度、非毛管孔隙度和总孔隙度,以及土壤层的初渗率和稳渗率,分别选取相应研究成果计算平均值,从而综合比较太湖地区森林水源涵养功能的特征。

3 结果分析

3.1 枯枝落叶层持水功能

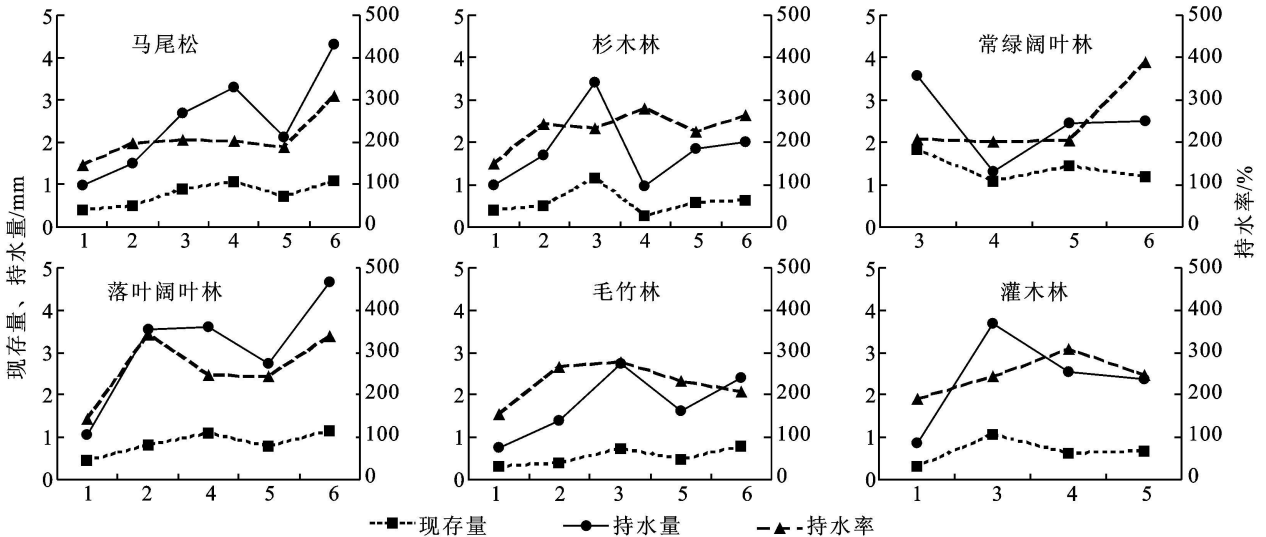
森林枯枝落叶层具有较大的水分截持能力,从而影响穿透降雨对土壤水分的补充和植物的水分供应<sup>[21]</sup>。森林枯枝落叶层吸持水的能力与森林流域产流机制密切相关,并受枯落物组成、林分类型、林龄、枯落物分解状况、积累状况、林地水分状况以及降雨特点的影响<sup>[22]</sup>。我国各类森林枯枝落叶层的现存量平均变动于3.50~26.81t/hm<sup>2</sup>,变动系数为18.01%~67.80%;森林枯枝落叶吸持水量可达自身干重的

2~ 4 倍,最大持水率平均为 309.54%<sup>[1]</sup>。

太湖地区主要森林生态系统林下枯枝落叶层现存量平均值变动于 4.68~ 14.4 t/hm<sup>2</sup>,其中常绿阔叶林最大,然后依次为落叶阔叶林、马尾松林、灌木林和杉木林,毛竹林最小;亚热带地区森林枯枝落叶层现存量变动于 6.25~ 11.71 t/hm<sup>2</sup>。可见,太湖地区林下枯落物现存量明显低于亚热带平均值,原因可能是太湖地区城镇密集,人类活动对森林生态系统的干扰频繁所致。

太湖地区森林枯落物持水量均值为 11.6~

29.99 t/hm<sup>2</sup>(相当于 1.16~ 2.99 mm),其中常绿阔叶林> 落叶阔叶林> 灌木林> 马尾松林> 杉木林> 毛竹林,亚热带森林枯落物持水量均值为 13.92~ 35.16 t/hm<sup>2</sup>(相当于 1.39~ 3.52 mm)。太湖地区主要森林枯枝落叶层持水率变动于 187.24%~ 246.22%,其中灌木林> 落叶阔叶林> 毛竹林> 杉木林> 常绿阔叶林> 马尾松林,而亚热带森林平均值为 207.19%~ 388.65%。因此,整体来看,太湖地区森林枯枝落叶层的现存量和持水功能几乎都低于亚热带平均值(如图 2)。



注: 1——上海市; 2——浙江安吉; 3——浙江桐庐; 4——浙江天目山; 5——太湖流域均值; 6——亚热带均值, 下图同。

图 2 太湖地区森林枯落物层现存量、持水量与持水率

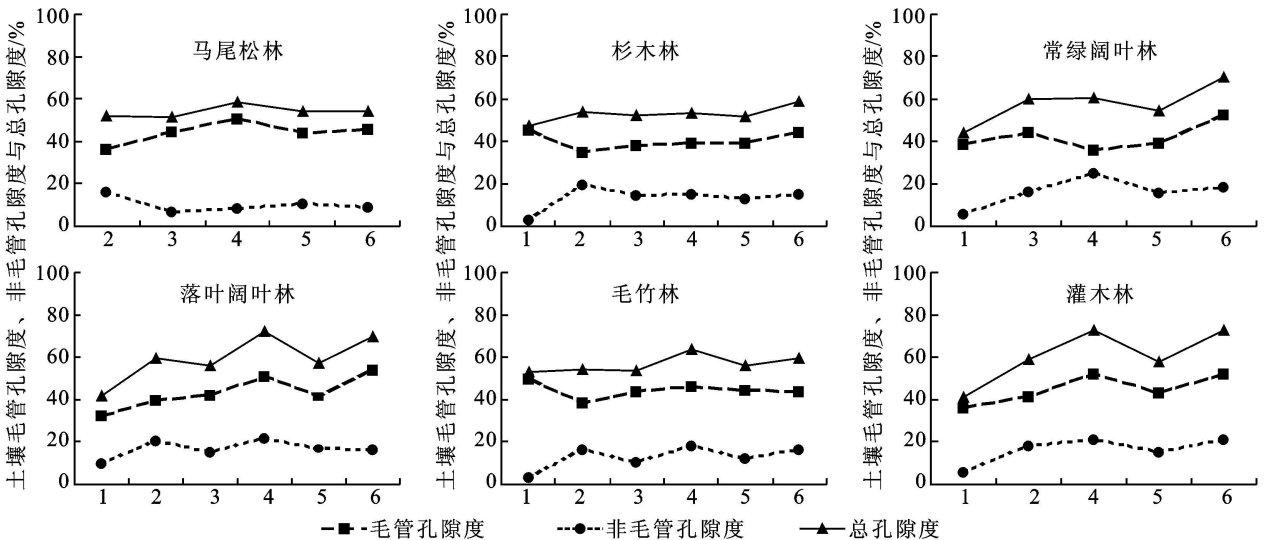


图 3 太湖地区森林土壤毛管孔隙度、非毛管孔隙度与总孔隙度

### 3.2 土壤层蓄水功能

林地土壤是森林生态系统贮蓄水分的主要场所<sup>[22]</sup>, 评价其蓄水性能一般以总持水量、毛管持水量和非毛管持水量为指标。考虑到土壤蓄水量与土层厚度、土壤孔隙状况等物理性质有关, 因此本文重点

从森林土壤物理性质进行比较。孔隙度是反映土壤物理性质的重要参数, 是土壤中养分、水分、空气和微生物等的迁移通道、贮存库和活动场所<sup>[23]</sup>。据研究, 森林土壤蓄水能力与土壤孔隙状况密切相关, 尤其与土壤的非毛管孔隙更为密切<sup>[1]</sup>。

太湖地区主要森林类型土壤层毛管孔隙度平均值变动于 39.01% ~ 44.21%, 其中毛竹林土壤毛管孔隙度最大, 其余的依次为马尾松林> 灌木林> 落叶阔叶林> 常绿阔叶林, 杉木林土壤孔隙度最小; 亚热带森林土壤层毛管孔隙度均值为 43.3% ~ 53.66%。太湖地区主要森林类型土壤的非毛管孔隙度为 10.21% ~ 16.53%, 最大的为落叶阔叶林, 然后是常绿阔叶林、灌木林、杉木林和毛竹林, 马尾松林土壤的非毛管孔隙度最小; 亚热带森林土壤层非毛管孔隙度平均值为 8.96% ~ 21.13%。如果从土壤总孔隙度来看, 太湖地区森林土壤总孔隙度变动于 51.71% ~ 57.58%, 灌木林> 落叶阔叶林> 毛竹林> 常绿阔叶林> 马尾松林> 杉木林, 亚热带地区森林土壤总孔隙度均值为 54.35% ~ 72.65%。因此, 总体来看, 太湖地区森林土壤孔隙状况基本上均小于亚热带平均值(如图 3)。

### 3.3 土壤层渗透性能

土壤渗透性是描述土壤入渗快慢的重要土壤物理特征参数<sup>[22]</sup>。在其他条件相同情况下, 土壤渗透性能越好, 地表径流越少, 土壤流失量越少。也正因为林地土壤具有较大的孔隙度, 特别是非毛管孔隙度, 加大了林地土壤的入渗率和入渗量, 有利于对暴雨径流的调蓄<sup>[24]</sup>。

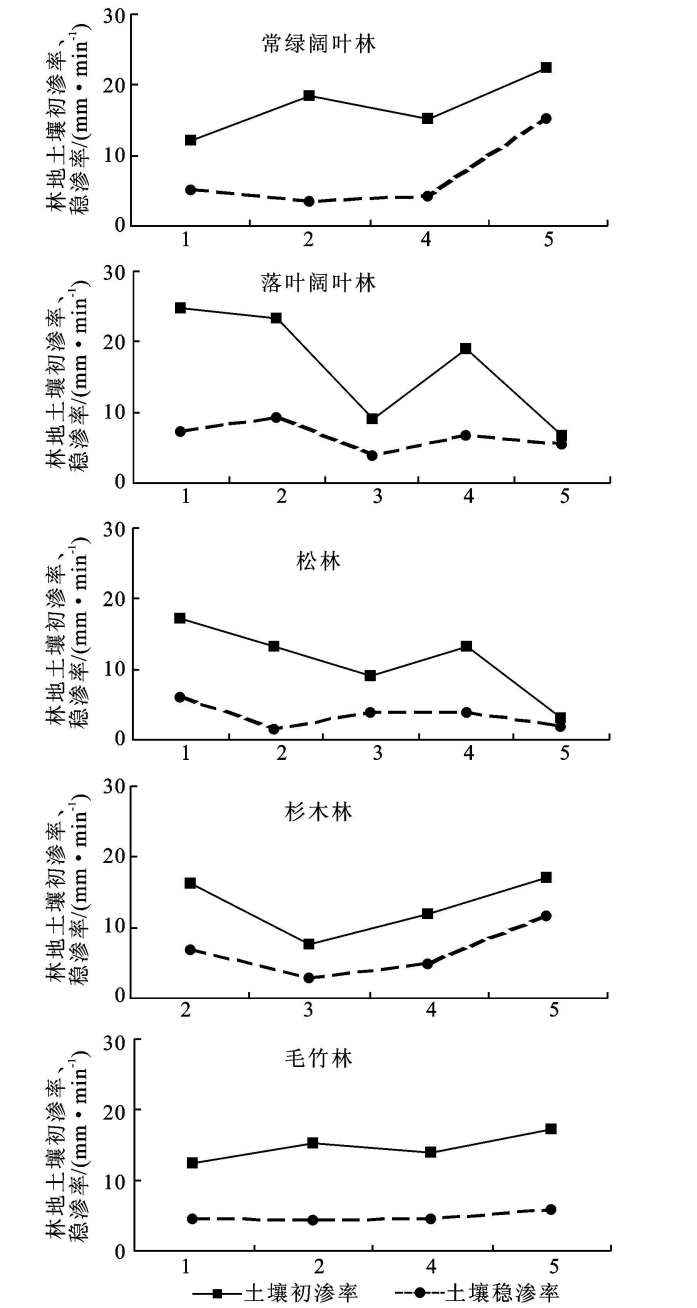
太湖地区主要森林类型土壤初渗率均值变动于 11.94~ 19.06 mm/min(如图 4), 其中落叶阔叶林土壤的初渗率最大, 其次为常绿阔叶林、毛竹林和松林, 杉木林土壤的初渗率相对最小; 亚热带森林土壤初渗率平均值为 3~ 22.46 mm/min。太湖地区各种森林类型土壤的稳渗率均值变动于 3.77~ 6.74 mm/min, 其中落叶阔叶林> 杉木林> 毛竹林> 常绿阔叶林> 松林, 而亚热带森林土壤稳渗率均值为 1.84~ 15.19 mm/min。因此, 从太湖地区来看, 除落叶阔叶林和松林外, 其他森林类型土壤的渗透性都低于亚热带平均值。

## 4 结论

(1) 太湖地区主要森林生态系统的林下枯枝落叶层现存量平均值为 4.68~ 14.4 t/hm<sup>2</sup>, 持水量为 11.6 ~ 29.99 t/hm<sup>2</sup>, 持水率为 187.24%~ 246.22%; 主要森林类型土壤层的毛管孔隙度变动于 39.01% ~ 44.21%, 非毛管孔隙度为 10.21% ~ 16.53%; 而土壤层的初渗率变动于 11.94~ 19.06 mm/min, 稳渗率介于 3.77~ 6.74 mm/min。不过, 太湖地区森林枯枝落叶层和土壤层的涵养水源功能指标几乎都低于亚热带平均值。

(2) 太湖地区森林生态系统的优化调控应重点关注森林植被结构调整和森林的近自然经营。近 20 a

来太湖地区森林生物多样性水平呈下降的趋势<sup>[26]</sup>, 这可能也是我国森林经营中存在的一种普遍现象, 应进一步引起重视。而水源林的营造或经营应以阔叶树种为主<sup>[1]</sup>。尤其是由于阔叶混交林比针阔混交林的涵养水源功能高, 因此在水源涵养林经营过程中, 要注意近自然森林经营模式的运用; 而且只有在保持良好的森林和地被物覆盖下, 土壤的调节功能才能得到最大限度的发挥<sup>[1]</sup>。



注: 1——浙江安吉; 2——浙江桐庐; 3——江苏南京; 4——太湖流域均值; 5——亚热带均值。

图 4 太湖地区林地土壤初渗率与稳渗率

致谢: 感谢浙江省安吉县林业局、长兴县林业局和江苏省江阴市农林局提供数据。

## 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: 1-5.
- [2] 张彪, 李文华, 谢高地, 等. 森林生态系统的水源涵养功能及其计量方法[J]. 生态学杂志, 2009, 28(3): 529-534.
- [3] Nunñez D, Nahuelhual L, Oyarzun C. Forests and water: The value of native forests in supplying water for human consumption[J]. Ecological Economics, 2006, 5: 606-616.
- [4] Andreassian V. Water and forests: From historical controversy to scientific debate[J]. Journal of Hydrology, 2004, 291: 1-27.
- [5] Farley K, Jobbagy E, Jackson P. Effects of afforestation on water yield: A global synthesis with implications for policy[J]. Global Change Biology, 2005, 11: 1565-1567.
- [6] 宋子刚. 森林生态水文功能与林业发展决策[J]. 中国水土保持科学, 2007, 5(4): 101-107.
- [7] 秦伯强, 吴庆农, 高俊峰, 等. 太湖地区的水资源与水环境: 问题、原因与管理[J]. 自然资源学报, 2002, 17(2): 221-228.
- [8] 黄智华, 薛滨, 逢勇. 太湖水环境演变与流域经济发展关系及趋势[J]. 长江流域资源与环境, 2006, 15(5): 627-631.
- [9] 刘庄, 郑刚, 张永春, 等. 社会经济活动对太湖流域的生态影响分析[J]. 生态与农村环境学报, 2009, 25(1): 27-31.
- [10] 蔡庆华, 吴刚, 刘建康. 流域生态学: 水生态系统多样性研究和保护的一个新途径[J]. 科技导报, 1997(5): 24-26.
- [11] 阎水玉, 王祥荣. 流域生态学与太湖流域防洪、治污及可持续发展[J]. 湖泊科学, 2001, 13(1): 1-7.
- [12] 蒋文伟, 余树全, 周国模, 等. 安吉地区不同森林植被水源涵养功能的研究[J]. 江西农业大学学报: 自然科学版, 2002, 24(5): 635-639.
- [13] 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.
- [14] 林海礼, 宋绪忠, 钱立军, 等. 千岛湖地区不同森林类型枯落物水文功能研究[J]. 浙江林业科技, 2008, 28(1): 70-74.
- [15] 周重光, 沈辛作, 于建国, 等. 浙江山地森林枯落物层的生态水文效应[J]. 浙江林业科技, 1989, 9(5): 1-8.
- [16] 刘为华, 张桂莲, 徐飞, 等. 上海城市森林土壤理化性质[J]. 浙江林学院学报, 2009, 26(2): 155-163.
- [17] 周重光, 柴锡周, 沈辛作, 等. 天目山森林土壤的水文生态效应[J]. 林业科学研究, 1990, 3(3): 215-221.
- [18] 黄进, 杨会, 张金池. 桐庐生态公益林主要林分类型的土壤水文效应[J]. 生态环境学报, 2009, 18(3): 1094-1099.
- [19] 玉冬米. 森林土壤透水蓄水性能的研究[J]. 林业科技开发, 2000, 14(4): 10-12.
- [20] 谢红彬, 虞孝感, 张运林. 太湖流域水环境演变与人类活动耦合关系[J]. 长江流域资源与环境, 2001, 10(5): 393-400.
- [21] Putuhena W M, Cordery I. Estimation of interception capacity of the forest floor[J]. Journal of Hydrology, 1996, 180: 283-299.
- [22] 余新晓, 张志强, 陈丽华, 等. 森林生态水文[M]. 北京: 中国林业出版社, 2004: 32-35.
- [22] 温远光, 刘世荣. 我国主要森林生态系统类型降水截留规律的数量分析[J]. 林业科学, 1995, 31(4): 289-298.
- [23] 孙艳红, 张洪江, 程金花, 等. 缙云山不同林地类型土壤特性及其水源涵养功能[J]. 水土保持学报, 2006, 20(2): 106-109.
- [24] 何东宁, 王占林, 张洪勋. 青海乐都地区森林涵养水源效能研究[J]. 植物生态学报与地植物学学报, 1991, 15(1): 71-78.
- [25] Dunne T, Zhang W, Aubry B F. Effects of rainfall, vegetation and microtopography on infiltration and runoff[J]. Water Resources Research, 1991, 27(9): 2271-2285.
- [26] 杨学军, 姜志林. 溧阳地区森林景观的生物多样性评价[J]. 生态学报, 2001, 21(4): 671-675.

(上接第 95 页)

## 参考文献:

- [1] 李崇巍, 刘丽娟, 孙鹏森, 等. 岷江上游植被格局与环境关系的研究[J]. 北京师范大学学报, 2005, 41(4): 404-409.
- [2] 沈泽吴, 张新时, 金义兴. 地形对亚热带山地类型尺度植被格局的梯度分析[J]. 植物生态学报, 2000, 24(4): 430-435.
- [3] 焦超卫, 赵牡丹, 汤国安, 等. 基于 GIS 的植被空间格局特征与地形因子的相关关系: 以陕西省耀县为例[J]. 水土保持通报, 2005, 25(6): 19-23.
- [4] 孟广涛, 方向京, 李宁云, 等. 云南金沙江流域典型区域森林类型空间格局特征的初步研究[J]. 水土保持研究, 2008, 15(6): 78-84.
- [5] 吴钦孝, 杨文治. 黄土高原植被建设与持续发展[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 1-15.
- [6] 喻红, 曾辉, 江子瀛. 快速城市化地区类型组分在地形梯度上的分布特征研究[J]. 地理科学, 2001, 21(1): 64-69.
- [7] 斯钧浪, 齐伟, 曲衍波, 等. 胶东山区县域土地利用在地形梯度上的分布特征[J]. 应用生态学报, 2009, 20(3): 679-685.