

# 中亚热带钱江流域天然次生林集水区溪流与降水水质比较

王小明<sup>1</sup>, 钟绍柱<sup>2</sup>, 王刚<sup>1</sup>, 周本智<sup>1</sup>, 孔维健<sup>1</sup>

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400; 2. 浙江省富阳市水利局, 浙江 富阳 311400)

**摘要:**对浙江钱江源生态站大气降水和天然次生林生态系统的径流水质指标进行逐月取样测试和对比分析。结果表明:天然次生林集水区水体中溶解氧含量年平均值达到  $8.10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 是大气降水的 1.12 倍;总氮含量年平均值达  $7.68 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 是大气降水的 4.49 倍。大气降水的生化需氧量年平均值达  $2.10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 是天然次生林集水区的 1.31 倍;化学需氧量年平均值达  $2.05 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 是天然次生林集水区的 1.16 倍;氨氮含量年平均值达  $0.97 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 是天然次生林集水区的 7.46 倍;总磷含量年平均值是天然次生林集水区的 2 倍。研究区大气降水经过天然次生林生态系统后,溶解氧、生化需氧量、化学需氧量、总磷和氨氮等水质指标有明显改善,除总氮和 pH 值外,其它指标均达到地表水 I 类水质标准。

**关键词:**水质;动态变化;次生林;生态系统;庙山坞自然保护区

中图分类号:S715

文献标识码:A

## Comparison of Water Quality between Stream from Natural Secondary Forests and Rainfall in Qianjiang Basin of Mid-subtropics of South China

WANG Xiao-ming<sup>1</sup>, ZHONG Shao-zhu<sup>2</sup>, WANG Gang<sup>1</sup>, ZHOU Ben-zhi<sup>1</sup>, KONG Wei-jian<sup>1</sup>

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fuyang 311400, Zhejiang, China;

2. Fuyang Water Conservancy Bureau, Fuyang 311400, Zhejiang, China)

**Abstract:** The indicators of water quality of rainfall and stream water from secondary forested watershed in Qianjiangyuan Forest Ecology Station were measured from monthly collected samples, and then analyzed through comparing and contrasting. It was found that the average of concentrations of DO in water from secondary forest watershed was  $8.10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 1.12 times of that in rainfall. The corresponding value for TN was  $7.68 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  and 4.49 times. The average of concentrations of BOD<sub>5</sub> in rainfall water was  $2.10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  and 1.31 times of that in secondary forest watershed. The corresponding values for COD<sub>Mn</sub> were  $2.05 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  and 1.16 times, for NH<sub>3</sub>-N were  $0.97 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  and 7.46 times, for TP were 2 times of that in secondary forest watershed. The results showed that most water quality index (DO, COD, BOD, TP and NH<sub>3</sub>-N) under secondary forest ecosystems were improved significantly. Except TN and pH, other water quality index conformed grade I of "Environmental Quality Standards for Surface Water".

**Key words:** water quality; natural secondary forest; ecosystem

随着工业化进程加剧,区域性资源环境压力日益增大,水质型缺水成为我国东部地区普遍面临的严峻环境问题。森林对于调节、净化、稳定水质的作用显著,森林与水的关系近年来已经成为对森林的

收稿日期:2010-03-29

基金项目:国家“十一五”科技支撑重大项目专题(2006BAD03A1806);中国林业科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(CAFYBB2008006);中国林科院亚热带林业研究所中央级公益性科研院所基本业务费专项基金重点项目(RISF060701)

作者简介:王小明(1978—),男,福建尤溪人,助理研究员,博士,主要从事森林生态与森林水文研究。

生态功能及其环境效益的研究热点<sup>[1-5]</sup>。国外学者主要从森林采伐、森林精细化管理、森林土壤管理和计划火烧等方面对水质的影响开展研究。国内学者则侧重从生态系统的角度研究森林与水质的关系<sup>[6-9]</sup>,如陈步峰等<sup>[10]</sup>、任青山等<sup>[11]</sup>、欧阳学军等<sup>[12]</sup>、张胜利等<sup>[13-15]</sup>对不同森林生态系统水质效应开展了研究;吴家森等<sup>[16]</sup>、张金镇等<sup>[17]</sup>、王云琦等<sup>[18]</sup>研究了不同类型森林对周边河流水质的影响。

目前有关森林水质效应的研究主要集中于资源环境压力较小的森林生态系统,对于受人为干扰和城市化进程影响显著的城郊森林生态系统与水质的相互关系研究较少。浙江省钱江流域地处我国东南沿海经济发达地区,水资源环境恶化,酸雨危害等环境问题日趋严重。森林溪流水质是森林生态系统对化学环境变化反映最直接最敏感的部分,本文基于对比观测及定位研究方法,对中亚热带钱江流域天然次生林溪流、大气降水的水质的化学成分及时间动态变化进行监测和比较,为揭示森林地表水水质的演化、森林生态系统净化水源的作用机制提供科学依据。

## 1 研究区概况

本研究在浙江钱江源生态站副站浙江富阳庙山坞自然保护区(119°56'~120°02' E, 30°03'~30°06' N)进行。该自然保护区位于浙江省富阳市境内,地形属浙西低山丘陵区天目山系余脉,山体主脉呈东西走向,由主脉延伸的多条南北向支脉为本区主体,峡谷相间,谷向朝南,濒临富春江。气候属中亚热带季风气候,季风显著,四季分明,降水充沛,温暖湿润。区内气候温和,夏季炎热,冬少严寒;年平均气温16.1℃(极端最高气温40.2℃,极端最低气温-14.4℃),年平均降水量1441.9 mm。

试验地主要植被类型有天然次生常绿阔叶林(文中称天然次生林)、落叶阔叶林、各类针阔混交林、毛竹(*Phyllostachys edulis* (Carr.) H. de Lehaie)林、杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)林。试验地天然次生常绿阔叶林主要分布于海拔600 m以下的低山丘陵区,乔木层主要由浙江楠(*Phoebe chekiangensis* C. B. Chang)、薄叶润楠(*Machilus leptophylla* Hand. -Mazz.)、木荷(*Schima superba* Gardn. et Champ.)等组成,高15~20 m左右,亚层有青冈栎(*Cyclobalanopsis glauca* (Thunb.) Oerst.)、冬青(*Ilex purpurea* Hassk.)、南酸枣(*Cho-*

*erospondias axillaris* (Roxb.) Burt et Hill)、香樟(*Cinnamomum camphora* (L.) Presl)等混生;灌木层较少,以尖连蕊茶(*Camellia cuspidata* (Kochs) Wright ex Gard.)、格药柃(*Eurya muricata* Dunn)、山矾(*Symplocos sumuntia* Buch. - Ham. ex D. Don)等为主。乔木层盖度为75%,群落总盖度约为95%,胸径大于2 cm的树木密度为1 025株·hm<sup>-2</sup>,平均胸径为14.2 cm,平均树高为14.5 m<sup>[19-20]</sup>。

## 2 材料与方法

### 2.1 试验布设与水样采集

本研究采用对比分析方法,即通过对大气降水水质和天然次生林集水区水质的对比分析研究天然次生林的水质效应。天然次生林集水区溪流水采样点布置在天然次生林集水区测流堰出口处,集水区植被组成、土壤等自然状况在研究区具有较好的代表性。大气降水采样点设在离天然次生林200 m远的一处空旷地,共布置了2个点,采用聚氯乙烯塑料桶收集水样,桶口直径约25 cm,高约35 cm。桶上带盖,盖呈漏斗形状,可防杂物进入,还可防止桶内水分蒸发浓缩而影响测试分析结果。

从2009年1月起,每月采样。每次在雨后取2个大气降水采样点水样2瓶(1 000 mL·瓶<sup>-1</sup>),在天然次生林集水区测流堰出口处取溪流水样3瓶(1 000 mL·瓶<sup>-1</sup>)。分别将所收集的各个大气降水水样和集水区溪流水样混合,然后取部分作为测试分析水样。将采集的水样用聚乙烯瓶装运,放入冰箱保存,最后带至实验室测定分析。

### 2.2 水样测试分析

2.2.1 测试项目 水样测试项目包括pH值、溶解氧(Dissolved Oxygen, DO)、生化需氧量(Biochemical Oxygen Demand, BOD<sub>5</sub>)、化学需氧量(Chemical Oxygen Demand, COD<sub>Mn</sub>)、总磷(Total Phosphorus, TP)、总氮(Total Nitrogen, TN)和氨氮(NH<sub>3</sub>-N)。

2.2.2 测试方法 pH值用玻璃电极法;溶解氧用电化学探头法(GB/T 11913-1989);生化需氧量用稀释与接种法(GB/T 7488-1987),化学需氧量(COD<sub>Mn</sub>)用酸性法(GB/T 11892-1989),总氮(TN)用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法(GB/T 11894-1989),总磷(TP)用钼酸铵分光光度法(GB/T 11893-1989),氨氮(NH<sub>3</sub>-N)用水杨酸分光光度法(GB/T 7481-1987)<sup>[21]</sup>。

### 3 结果与分析

#### 3.1 天然次生林集水区溪流和大气降水的水质指标年内动态变化

利用研究区大气降水和天然次生林溪流的溶解氧、生化需氧量等水质指标进行分析和比较,探索天然次生林溪流水质的年内动态变化规律。

##### 3.1.1 溶解氧含量 溶解氧指溶解在水中的氧含

量。水中溶解氧可作为有机物污染及其自净程度的间接指标。图 1-a 可知:天然次生林集水区溪流的溶解氧 2 月份达到全年次高值( $8.94 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ),3—5 月份持续下降,6 月份上升到全年最高值( $9.63 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ),7—11 月份小幅波动,8 月份为全年最低值( $7.34 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )。大气降水的溶解氧除 3 月份达到全年最高值( $8.36 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )外,其余各月份变化均较稳定,其月含量均低于天然次生林集水区水体。

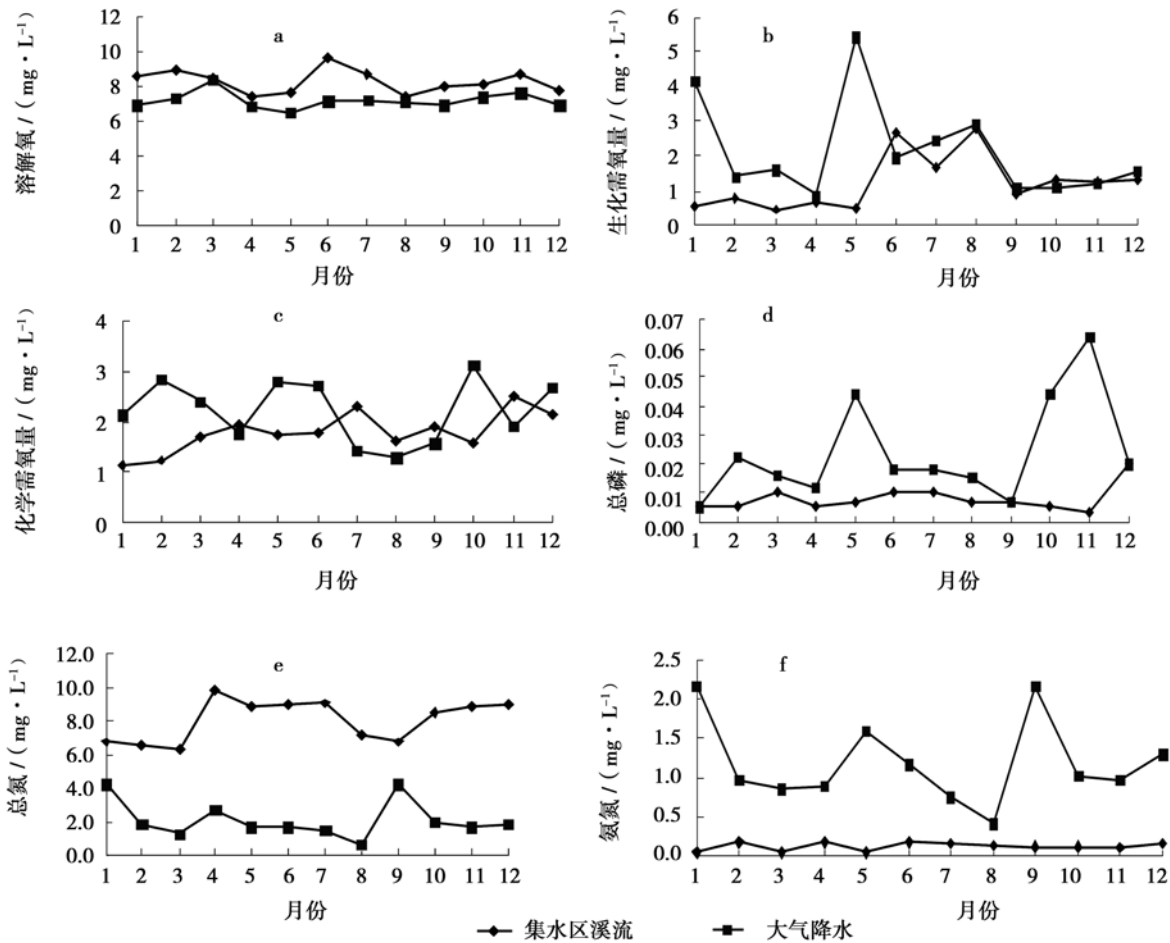


图1 天然次生林集水区溪流和大气降水的水质年内动态变化

3.1.2 生化需氧量 生化需氧量反映水体中可被微生物分解的有机物总量,以每升水中消耗溶解氧的毫克数来表示。生化需氧量小于  $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  表示水体清洁,大于  $3 \sim 4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  表示受到有机物的污染。图 1-b 显示:大气降水生化需氧量年变化较大,全年有 3 个高峰,分别是 1 月 ( $4.14 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )、5 月 ( $5.42 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) 和 8 月 ( $2.91 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ),最低值出现在 4 月。天然次生林集水区溪流的生化需氧量 1—5 月变化平缓,受暴雨径流影响在 6 月 ( $2.67 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) 和 8 月 ( $2.91 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) 出现两个高峰,

9—12 月小幅变动。

3.1.3 化学需氧量 化学需氧量往往作为衡量水中有机物质含量多少的指标。化学需氧量越大,说明水体受有机物的污染越严重。从图 1-c 可知:天然次生林集水区溪流化学需氧量 1—7 月份呈上升趋势,8—10 月份较稳定,11 月份达到全年最高值 ( $2.51 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )。大气降水化学需氧量浓度随季节变化存在 3 个高峰,分别是 2 月 ( $2.84 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )、5 ( $2.79 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )—6 月 ( $2.72 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) 和 10 月 ( $3.12 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ),其余各月份含量相对较

稳定。

3.1.4 总磷含量 图1-d表明:天然次生林集水区溪流的总磷含量各月相对稳定,其含量也远远低于大气降水。大气降水总磷含量随季节变化,表现为上升—下降交替变化模式,全年最高值出现在11月( $0.06 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )。

3.1.5 氮含量 从图1-e可知:大气降水水体中总氮除1月( $4.22 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )和9月( $4.17 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )较高外,其余各月份较稳定。天然次生林集水区溪流中总氮含量1—3月变化平缓,4—7月维持在一个高值区,8—12月呈缓慢上升趋势,且其月含量远远高于大气降水水体。

3.1.6 氨氮含量 图1-f显示:天然次生林集水区溪流的氨氮浓度较低,均未超过 $0.02 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,其含量远远低于大气降水水体。大气降水中氨氮含量不同月份差异较大,全年有2个高峰,分别是1月( $2.17 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )和9月( $2.17 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ),最低值出现在8月( $0.40 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )。

3.1.7 pH值 由图2可知:大气降水的pH值相对较稳定,全年最低值出现在9月(5.35)。天然次生林集水区溪流中的pH值各月份变动较大,1—5月份小幅波动,6—7月份上升至全年最高值,8月份pH值最低(4.29),9—12月呈持续上升趋势,且各月pH值均低于大气降水水体。

### 3.2 天然次生林集水区溪流和大气降水中各指标年均值比较

参照大气月降水量和集水区月径流总量数据,

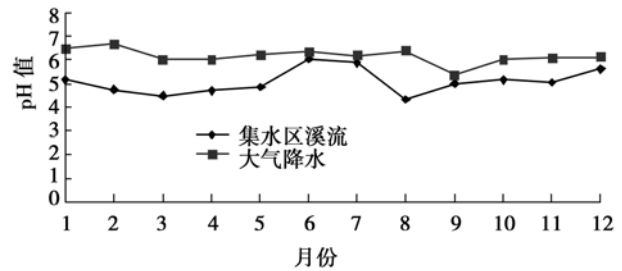


图2 天然次生林集水区溪流和大气降水 pH 值的年内动态变化

将天然次生林集水区溪流和大气降水水体指标在各月份的含量进行水量加权平均,得到各指标年均值,结果见图3。由图3可以看出:天然次生林集水区溪流中溶解氧含量年均值达到 $8.10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,是大气降水的1.12倍;总氮含量年均值达 $7.68 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,是大气降水的4.49倍。大气降水水体的生化需氧量年均值达 $2.10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,是天然次生林集水区溪流的1.31倍;化学需氧量年均值达 $2.05 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,是天然次生林集水区溪流的1.16倍。大气降水的氨氮含量年均值达到 $0.97 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,是天然次生林集水区溪流的7.46倍。大气降水的总磷含量年均值是天然次生林集水区溪流的2倍(图3中仅标注大气降水的总磷含量年均值,天然次生林集水区溪流总磷含量数值太小,无法显示)。大气降水pH值年均值为6.24,而天然次生林集水区溪流pH值年均值为4.79,水质微酸性,低于国家地表水环境质量标准(GB 3838-2002)中6~9的限定。

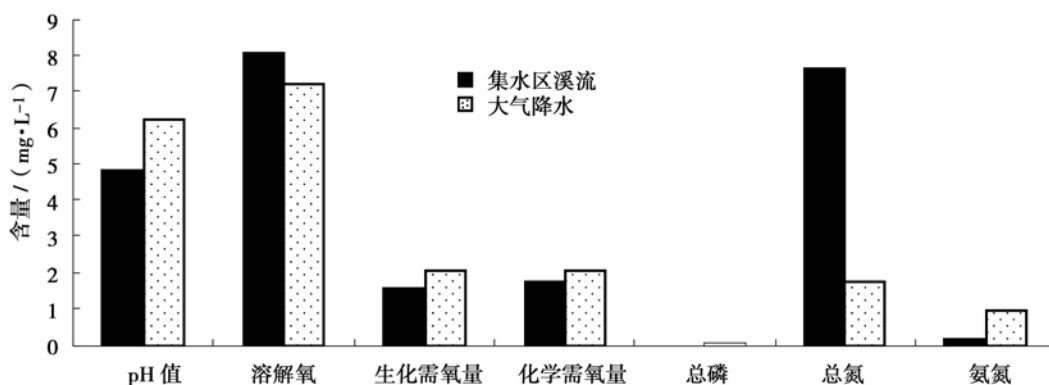


图3 天然次生林集水区溪流和大气降水水体中各指标年均值比较

参照国家地表水环境质量标准(GB 3838-2002),大气降水达到I类水质标准的指标有总磷和生化需氧量;达到II类水质标准的有溶解氧和化学需氧量;达到III类水质标准的有氨氮。水体中的总氮为劣V类水质标准。大气降水经过天然次生林生

态系统后,天然次生林集水区溪流中达到I类水质标准的指标上升到5个(溶解氧、生化需氧量、化学需氧量、总磷和氨氮);水体中的总氮超标,pH值偏酸。由此可见,大气降水经过天然次生林生态系统后,水质指标得到了明显改善。

## 4 结论与讨论

中亚热带钱江流域天然次生林集水区溪流和大气降水水质指标监测分析表明,天然次生林集水区溪流中的溶解氧平均值达到  $8.10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,生化需氧量年平均值达  $1.60 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,化学需氧量年平均值达  $1.77 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,氨氮含量年平均值达  $0.13 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,总磷含量年平均值达  $0.01 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,总氮含量年平均值达  $7.68 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,pH 值年平均值为 4.79。由此可知,天然次生林生态系统对随降水输入的  $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{PO}_4^{3-}$  等具有很好的净化作用,研究区大气降水经过天然次生林生态系统后,溶解氧、生化需氧量、化学需氧量、总磷和氨氮等水质指标有明显改善,除总氮和 pH 值外,其它指标均达到地表水 I 类水质标准。

天然次生林集水区溪流 pH 值为 4.29 ~ 5.98,水质呈弱酸性。pH 值随季节变化,冬季、夏季较高,春季、秋季较低。从研究区酸雨季节分布来看,春季降水 pH 值最小,污染最为严重,冬季次之,夏季最大。由于研究区分布着较大规模的酸性土壤,在酸雨淋溶下,可能加速土壤盐基离子的淋失和土壤酸化;同时,天然次生林集水区溪流 pH 值也可能受到集水区的土壤、母质、母岩的化学特性影响,森林生态系统的内部酸化机制会进一步导致溪流 pH 值降低<sup>[22-24]</sup>。此外,在监测中发现天然次生林集水区溪流中的硝氮含量占总氮含量的比例高达 88.1%。与大气降水相比,天然次生林集水区溪流水体中总氮和硝氮浓度增加明显,反映出天然次生林土壤在向下淋溶过程中的生化作用强烈<sup>[1]</sup>。陈步峰等<sup>[10]</sup>研究表明,105 cm 深度的土壤渗透水  $\text{NO}_3^-$  含量是 15 cm 土壤渗透水  $\text{NO}_3^-$  含量的 4.28 倍,说明  $\text{NO}_3^-$  含量随着土壤深度的增加而增加;任青山等<sup>[11]</sup>的研究也得出类似结果,这些结论与本研究结果相一致。研究区人为干扰较少,进入森林水循环的各种元素含量主要与植被的物候特征、离子的活跃程度、水的溶解性以及周边城市的工业污染物排放有关<sup>[25-26]</sup>,具体影响机制的研究有待进一步加强。

### 参考文献:

[1] Arthur M A, Coltharp G B, Brown D L. Effects of best management practices on forest streamwater quality in eastern Kentucky[J]. Journal of the American Water Resources Association, 1998, 34(3): 481-495  
 [2] Aust W M, Blinn C R. Forestry best management practices for timber harvesting and site preparation in the eastern United States: an overview of water quality and productivity research during the past 20 years (1982-2002) [J]. Water Air and Soil Pollution, 2004, 4(1): 5-36

[3] 张志强,余新晓,赵涛,等.森林对水文过程影响研究进展[J].应用生态学报,2003,14(1): 113-116  
 [4] 王兵,崔相慧,杨峰伟.从第21届国际林联世界大会看全球“森林与水”研究进展[J].世界林业研究,2001,14(5): 1-7  
 [5] 施立新,余新晓,马钦彦.国内外森林与水质研究综述[J].生态学杂志,2000,19(3): 52-56  
 [6] Ensign S H, Mallin M A. Stream water quality changes following timber harvest in a coastal plain swamp forest[J]. Water Research, 2001, 35(14): 3381-3390  
 [7] Neary D G, Ice G G, Jackson C R. Linkages between forest soils and water quality and quantity[J]. Forest Ecology and Management, 2009, 258(10): 2269-2281  
 [8] Hopmans P, Bren L J. Long-term changes in water quality and solute exports in headwater streams of intensively managed radiata pine and natural eucalypt forest catchments in south-eastern Australia[J]. Forest Ecology and Management, 2007, 253(1-3): 244-261  
 [9] Clay G D, Evan F W, Fraser D G. Effects of managed burning upon dissolved organic carbon (DOC) in soil water and runoff water following a managed burn of a UK blanket bog[J]. Journal of Hydrology, 2009, 367(1-2): 41-51  
 [10] 陈步峰,陈勇,尹光天,等.珠江三角洲城市森林植被生态系统水质效应研究[J].林业科学研究,2004,17(4): 453-460  
 [11] 任青山,王景升,张博,等.藏东南冷杉原始林不同形态水的水质分析[J].东北林业大学学报,2002,30(2): 52-30  
 [12] 欧阳学军,周国逸,黄忠良,等.鼎湖山森林地表水水质状况分析[J].生态学报,2002,22(9): 1373-1379  
 [13] 张胜利,李靖.天然林冠层的水质效应[J].水土保持学报,2006,20(3): 56-60  
 [14] 张胜利.秦岭火地塘森林水质的季节性变化特征[J].环境科学,2008,29(2): 316-321  
 [15] 张胜利,李光录.秦岭火地塘森林生态系统不同层次的水质效应[J].生态学报,2007,27(5): 1838-1844  
 [16] 吴家森,姜培坤,盛卫星,等.雷竹集约栽培对周边河流水质的影响[J].林业科学,2009,45(8): 76-81  
 [17] 张金镇,邓熙,顾继光.流溪河水质的动态特征[J].生态科学,2004,23(3): 231-235  
 [18] 王云琦,王玉杰.森林溪流水质的研究进展[J].水土保持研究,2003,10(4): 242-246  
 [19] 孔维健,周本智,安艳飞,等.天然次生林和人工毛竹林水文生态特征比较[J].水土保持研究,2010,17(1): 113-116  
 [20] 周本智,傅懋毅.庙山坞自然保护区毛竹林细根生产和周转研究[J].江西农业大学学报,2008,30(4): 239-245  
 [21] 魏复盛,齐文启,毕彤,等.水和废水监测分析方法[M].北京:中国环境科学出版社,2002  
 [22] 李凌浩,林鹏,何建源,等.森林降水化学研究综述[J].水土保持学报,1994,8(1): 84-96  
 [23] 周光益,徐义刚,吴仲民,等.广州市酸雨对不同森林冠层淋溶规律的研究[J].林业科学研究,2000,13(6): 598-807  
 [24] 丁国安,徐晓斌,王淑凤,等.中国气象局酸雨网基本资料数据集及初步分析[J].应用气象学报,2004,15(增刊): 85-94  
 [25] 杨玉盛,郭剑芬,陈光水,等.森林生态系统 DOM 的来源、特征及流动[J].生态学报,2003,23(3): 547-555  
 [26] 辛颖,赵雨森,潘保原.黑龙江东部山地兴安落叶松人工林对水质的影响[J].中国水土保持科学,2006,4(2): 29-33