

鼎湖山森林地表水水质状况分析

欧阳学军¹, 周国逸^{1*}, 黄忠良¹, 黄梦虹²

(1. 中国科学院华南植物研究所鼎湖山森林生态系统定位研究站, 广东肇庆 526070; 2. 广东省肇庆农业学校, 广东肇庆 526070)

摘要: 对鼎湖山生物圈保护区内两溪流水源水质状况进行了调查, 结果发现: 鼎湖山地表水总体水质较好, 符合地面水环境质量标准的 I 类水源水质标准。区内水体受污染程度低, 绝大多数指标均符合饮用水卫生标准。水体 pH 值较低, Al 含量较高, 总有机碳测定表现出整个水体受到一定程度的有机污染。水体中有害金属 Mn 和 Pb 含量略高, 但都远低于饮用水卫生标准。对地表水来源过程环节的水化学分析比较表明: 大气降水、穿透水、土壤溶液(30cm 层和 80cm 层)和地表水水样的 pH 值呈现“M”形变化。酸雨和土壤表层酸化是该区地表水 pH 值偏低的主要原因。地表水和 30cm 土壤溶液中的 Al 浓度分别是大气降水的 5 倍和 8 倍, 地表水中的 Al 主要来源于酸雨对土壤的淋溶。地表水中的 Na 主要来源于大气降水。大气降水 Pb 浓度是地表水的 17 倍, 林冠吸收富集和土壤固定吸附使地表水中的 Pb 大幅度降低。穿透水和土壤溶液中的 Mn、K、Ca、Mg、Sr 比大气降水和地表水浓度高, 反映了元素被酸雨淋溶、活化和被植物、土壤吸收吸附的过程。从长远看, 尽管在森林保存完好的地区, 区域环境的恶化及酸雨对地表水水质的影响仍不容忽视。

关键词: 鼎湖山生物圈保护区; 地表水; 水质; 酸雨; 环境恶化

Analysis on Runoff Water Quality in Dinghushan Biosphere Reserve

OU YANG Xue-Jun¹, ZHOU Guo-Yi^{1*}, HUANG Zhong-Liang¹, HUANG Meng-Hong²

(1. Dinghushan Forest Ecosystem Research Station, South China Institute of Botany, Academia Sinica, Zhaoqing, Guangdong 526070, China; 2. Guangdong Province Zhaoqing Agriculture School, Zhaoqing, Guangdong 526070, China).

Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(9): 1373~1379

Abstract Dinghushan Biosphere Reserve was in the extent of acid rain hazard. The runoff water quality in the forest can show the response of regional geochemistry conditions to the processes of environmental acidification. Three samples about the water quality background value of two streams (two from the east stream and one from the west stream) in Dinghushan Biosphere Reserve were analyzed. The total organic carbon were $0.87 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $1.26 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (for east stream) and $1.51 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (for west stream), which were 1.7~3 times as much as National Standard (Excellent Grade) for Drink Water Quality, indicating the two stream contaminated organically in some degree. The pH values in east stream were 4.34 and 4.78, and that in west stream was 6.74. And Al^{3+} concentrations were $521.97 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ and $393.92 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ in east stream, $72.26 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ in west stream. Those in east stream were higher than the National Standard ($300 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$). However, taking all the results of other items (the total dissolved solid, NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , the concentrations of metal elements) into consideration, it can be concluded that the water quality in Dinghushan Biosphere Reserve belong to the Class I Grade of National Standard for Surface Water Environmental Quality.

基金项目: 科技部基础性前期研究资助项目; 国家自然科学基金重大资助项目(39899370); 中国科学院海外青年合作基金资助项目; 国家杰出青年基金 B 类资助项目(39928007); 广东省重点基金资助项目(010567)

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: gyzhou@scib.ac.cn

收稿日期: 2001-10-24; 修订日期: 2002-03-10

作者简介: 欧阳学军(1973~), 男, 湖南桂阳人, 硕士。主要从事生态系统生态学研究。E-mail: ouyangxj@sina.com

Five types of water samples from the monsoon evergreen broadleaved forest located in east stream, including precipitation, throughfall, soil solution in depth 30cm and 80cm, and runoff were collected every week from February 2001 to August 2001. In the duration, there is a dry season (October~ March) and a wet season (April~ September). The average pH values for the five types of sample were 4.27, 5.15, 4.38, 4.98, and 4.09 in the same sequence as above, respectively. Its coefficient of variation in runoff was the lowest (0.84%), and that in soil solution in depth 80cm was the highest (20.52%). There was significant difference ($p = 0.01$) between precipitation and throughfall, throughfall and soil solution in depth 30cm, soil solution in depth 80cm and runoff. The low pH value in runoff resulted directly from the acid rain and the soil acidification in surface layer. The average concentrations of Al^{3+} increased from precipitation to runoff. Those in runoff and in soil solution of depth 30cm were 5 times and 8 times about, respectively, as much as that in precipitation. Most of Al^{3+} in runoff came directly from the soil due to the leaching of acid rain. The average concentrations of Na^+ also increased from precipitation to runoff, but Na^+ in runoff came mainly from precipitation. The average concentration of Pb^{2+} decreased in the sequence of precipitation to runoff. It was 17 times about in precipitation as much as that in runoff. The Pb^{2+} in rain can be strongly absorbed by canopy and fixed by soil. The concentrations of Mn^{2+} , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Sr^{2+} in throughfall and soil solution were higher than that in precipitation and runoff, indicating the processes of leaching and activation by acid rain, uptake by plant and absorption by soil. Based on the studies, it can be concluded that, even in well preserved forest area, the environment deterioration including acid rain in neighborhood can also affect water quality, although natural forest has some capacity of resistance to it.

Key words: Dinghushan Biosphere Reserve; acid rain; runoff; water quality; environment deterioration
文章编号: 1000-0933(2002)09-1373-07 中图分类号: S718.5 文献标识码: A

森林有涵养水源、改善水质等功能,因此森林流域被认为是清洁水源的发祥地。在水体和大气污染物浓度与日俱增,酸雨越发频繁的今天,人们对森林的自然净化功能的期盼也与日俱增。大气降水是污染物沉降的最主要方式之一,同时也导致污染物远距离的转移。水是各种物质的良好溶剂,也是生态系统物质循环的载体,它直接与森林生态系统各个部分相互作用。随着水分在森林生态系统的进入和输出,物质被生物和土壤固定或吸收或分解,水中污染物的种类和数量被逐步的减少^[1]。然而,森林也并非就是万能的净化器。森林生态系统对不同化学组成物质会表现出不同的作用方式和显示不同净化程度。外界化学环境的变化必然导致森林生态系统功能的变化。酸雨是当今世界环境中最引人关注的问题之一。而森林水环境是森林对化学环境变化反映最直接最敏感的部分,分析森林水环境的化学成分及变化,对探索地表水水质的演化、森林生态系统净化水源的作用机制,了解区域地球化学条件对环境酸化过程的响应,都具有重要意义。

本文对森林植被保存完好的鼎湖山生物圈保护区流域的水质状况做了调查评价,并以典型南亚热带地带性植被——成熟季风常绿阔叶林为例,从地表水产生的整个流程,分析了鼎湖山水质中的主要问题的原因,不仅对地表水水质演化的机制研究有一定的理论价值,同时对制定区域性和流域性的水质保护规划和控制措施具有重要意义。

1 研究地概况

鼎湖山生物圈保护区面积 1145hm²,位于珠江三角洲西南,北纬 23°10',东经 112°34',距广州 86km。属南亚热带季风气候,年平均气温 21.0℃,年平均相对湿度为 80%,年平均降雨量为 1927.3mm^[2]。3种主要森林类型的年平均径流系数为 0.455~0.492。全区由东、西两条羽毛状水系组成,皆自西北流向东南,在保护区入口汇合流入西江。地质构造属鼎湖山系^[3],由不同颜色、硬度与质地的砂岩、砂页岩、页岩与石英砂岩构成。全区森林覆盖率达 85%以上,分布有季风常绿阔叶林等多种植被类型^[4]。实验地的季风常绿阔叶林位于东水系,森林茂密,已有近 400a 的保存历史。土壤为水化赤红壤,pH 值在 4.1~4.9 之间^[5]。

2 样品的采集与分析

2.1 样品的采集

在东水系的东湖、龙船坑和西水系的老龙潭同时采集溪水水样一次,用于水质状况评价。采样河段不受人类活动影响。在东水系流域内的季风常绿阔叶林内铁塔顶部设大气降水收集桶 1 个,林内设 11 个收集桶收集穿透水。在林内 3 个位置的土壤 30cm 和 80cm 两层各埋设两个直径 7.2cm 陶瓷布式漏斗,塑料管引入收集桶收集土壤溶液。在集水区出水口收集地表水。各类水样每周采集一次。取样从 2001 年第 1 次降雨到 8 月底,包括干季和雨季。收集桶为塑料制品。采样器为清洁的蒸馏水瓶。水样离心后测定。

2.2 样品的测定

采样后快速测定的有:pH 值用上海雷磁生产的 PHS-25 型 pH 计测定,固体溶解物含量(TDS)用重量法,总有机碳(TOC)用硫酸-重铬酸钾法,硝酸盐氮用二磺酸酚分光光度法,亚硝酸盐用重氮化偶合分光光度法,氨氮用纳氏试剂分光光度法(生活饮用水分析标准检验法 GB 5750-85)。用美国利曼公司产的等离子体发射光谱仪(ps-100QA T)测定金属元素含量,水样测定前加硝酸低温保存。

评价标准为我国生活饮用水卫生标准[GB 5749-85]和地面水环境质量标准 I 类标准[GB 3838-88]。

3 结果

3.1 林区地表水基本水质状况及评价

表 1、表 2 是鼎湖山流域有代表性地点采集的地表水样品的水质分析结果。从表中可以看出,东湖、龙船坑和老龙潭 3 处水样总有机碳(TOC)含量达 $0.87\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $1.26\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $1.51\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,是优质饮用水标准($0.50\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)的 1.7~3 倍,说明两条水系都存在一定程度的有机污染。东湖和龙船坑两处水样中的 pH 值分别为 4.34 和 4.78,过低,呈弱酸性,远低于 6.5~8.5 的标准;A1 含量为 $521.97\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $393.92\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$,超过 $300\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 国家标准,属较高含量。另外,除样品中 Mn、Pb 有点高外(但低于饮用水卫生标准),其他各项指标都较低。根据以上评价标准进行综合评价,鼎湖山保护区地表水总体水质较好,达到国家地表水环境质量标准 I 类水源标准。按生活饮用水标准评价,除 pH 值偏低,A1 偏高外,均达到饮用水卫生标准。总之,整个水域受人为污染程度较低,可作为好的水源。

表 1 鼎湖山地表水水质几种主要物质的含量($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)

Table 1 Average concentration of some main chemical compounds in selected surface water streams of Dinghushan

采样点	东湖	龙船坑	老龙潭
Sites	Tianhu	Longchuanken	Lao longtan
pH	4.34	4.78	6.74
固体溶解物	18	16	10
总有机碳	0.87	1.26	1.51
硝酸盐 NO_3^-	0	0.885	1.505
亚硝酸盐 NO_2^-	< 0.003	0.003	0.003
氨氮 NH_4^+	0.064	0.090	0.077

Total dissolved solid(TDS), Total organic carbon(TOC)

3.2 不同水样中的 pH 值及其变化特征

比较大气降水、穿透水、土壤溶液和地表水的 pH 值(图 1),可以看出,鼎湖山季风常绿阔叶林各类水的 pH 值普遍很低,呈弱酸性,远低于通常认为的 5.6 的酸雨值。其中以地表水的 pH 值平均最低(4.09),大气降水次之(4.27),以穿透水的 pH 值最高(5.16)。最低值出现在大气降水,达 3.95。在各类水样中,以 80cm 层土壤溶液的 pH 值变异最大,变异系数达到 20.52%,大气降水和地表水的 pH 值变异最小,分别为 4.2% 和 0.84%。说明取样期间大气降水和地表水的 pH 值比较稳定。不同层次水样中的 pH 值变化过程是:穿透水中的 pH 值比大气降水中的 pH 值高,平

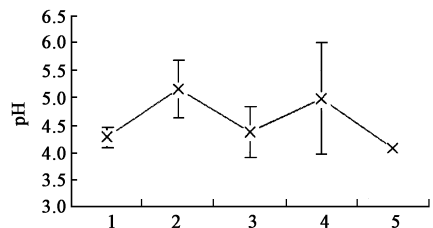


图 1 鼎湖山季风常绿阔叶林各类水样 pH 值变化

Fig 1 Change of average pH values of different types water in Dinghushan monsoon evergreen broadleaved forest

1. 大气降水 Precipitation; 2. 穿透水 Throughfall; 3. 土壤溶液 30cm soil solution in depth 30cm; 4 土壤溶液 80cm soil solution in depth 80cm; 5 地表水 Surface water; 下同 The same below

均升幅达 0.88, 30cm 层土壤溶液 pH 值比穿透水低, 平均降幅为 0.87, 80cm 层比 30cm 层土壤溶液 pH 值又回升 0.6, 地表水比 80cm 层土壤溶液 pH 值降低 0.9 个 pH 值, 变幅都在 0.5 个 pH 值以上, 呈现出从大气降水到地表水“升-降-升-降”的“M”形变化趋势。检验结果显示, 除土壤溶液 30cm 与 80cm 间无显著差异 ($F = 3.54$ 小于 $F_{0.05} = 4.49$) 外, 大气降水与穿透水、穿透水与土壤溶液 30cm 及土壤溶液 80cm 与地表水间均存在极显著差异 (F 为 20.42, 9.31, 8.65, 大于 $F_{0.01} = 8.53$)。表明林冠层和土壤 30~80cm 层都对酸性溶液有一定的缓冲能力, 而表层土壤使土壤溶液进一步酸化。降水和穿透水中的 pH 值普遍高于地表水, 说明地表水的酸化明显受土壤酸化的影响。

表 2 鼎湖山地表水金属元素含量 ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)

Table 2 Concentration of metal elements in surface water streams of Dinghushan

元素	天湖	龙船坑	老龙潭	元素	天湖	龙船坑	老龙潭
Elements	Tianhu	Longchuanken	Lao longtan	Elements	Tianhu	Longchuanken	Lao longtan
Li	0.931	1.247	0.684	Cd	0.526	0.538	0.601
Be	0.046	0.048	0.044	In	0.001	0.001	0.002
Na	908.62	902.79	1015.50	Sn	0.029	0.026	0.043
Mg	336.36	789.17	1047.55	Sb	0.012	0.013	0.030
Al	521.97	393.92	72.261	Cs	0.063	0.258	0.055
P	60.713	62.458	64.326	Ba	6.580	7.745	8.389
K	301.66	1006.48	875.71	La	0.189	0.396	0.152
Ca	924.33	1363.58	2124.73	Ce	0.381	0.695	0.336
Sc	1.338	1.562	1.463	Pr	0.034	0.076	0.039
Ti	0.737	0.804	1.714	Nd	0.127	0.309	0.164
V	0.125	0.129	0.179	Sm	0.021	0.053	0.031
Cr	2.702	3.194	2.653	Eu	0.004	0.011	0.006
Fe	56.809	48.829	49.837	Gd	0.014	0.045	0.021
Mn	16.550	43.240	32.699	Tb	0.002	0.007	0.003
Co	0.333	0.754	0.220	Dy	0.015	0.034	0.018
Ni	1.414	2.435	1.988	Ho	0.003	0.007	0.004
Cu	2.014	2.182	1.060	Er	0.007	0.020	0.012
Zn	2.474	2.839	2.556	Tm	0.001	0.002	0.002
Ga	0.006	0.008	0.020	Yb	0.007	0.018	0.011
Ge	0.020	0.024	0.020	Lu	0.001	0.002	0.002
As	0.487	0.400	0.567	Hf	0.001	0.001	0.001
Se	0.963	0.871	0.951	Ta	0.044	0.082	0.036
Rb	1.600	6.113	3.309	Pb	3.150	2.384	1.745
Sr	2.424	1.821	2.094	Bi	0.010	0.010	0.021
Y	0.095	0.276	0.133	Th	0.008	0.009	0.016
Zr	0.022	0.019	0.060	U	0.007	0.012	0.013
Mo	0.004	0.008	0.013	W	0.005	0.008	0.053

3.3 主要金属元素含量在水流程中的变化特征

水分以大气降水形式进入森林生态系统, 对林冠、地被物及土壤进行淋洗后, 以地表水流出。在整个流程中, 物质含量发生明显变化。在测定的 8 种元素中, 表现出 3 类变化形式。第 1 类以重金属污染物 Pb 为代表, 其特征是在整个流程中含量逐渐减少 (图 2), 其浓度由大气降水的平均 $45 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 经林冠后下降到 $9.52 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 再经土壤后下降到 $2.63 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ (地表水), 总共降低了 17 倍。显示了森林生态系统净化水质的功能。

第 2 类以 Al 为代表, 其特征是在整个流程中含量逐渐增加 (图 2), 穿透水含量 ($300.97 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$) 约是大气降水 ($161.55 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$) 的 2 倍, 地表水 ($1304.20 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$) 约是大气降水的 8 倍。其中对表层土壤 Al 淋出最为强烈, 土壤溶液 (30cm) 浓度比穿透水增加 5 倍。明显表现出酸雨对土壤淋溶的特点。

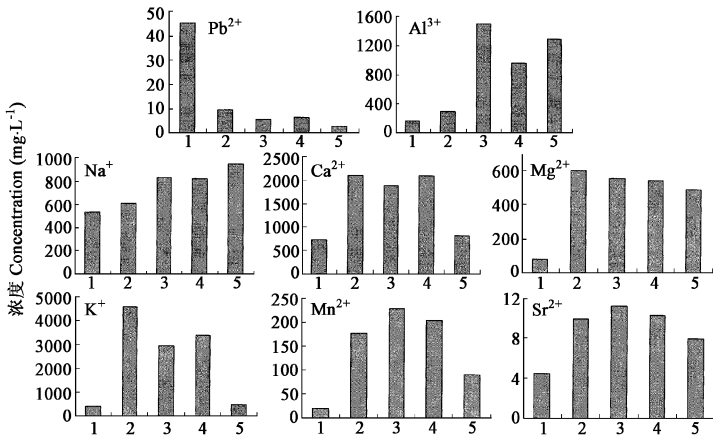


图2 鼎湖山季风常绿阔叶林各类水样几种主要元素平均含量(图例1~5同图1)

Fig. 2 The average concentration of some main elements in different types water in Dinghushan monsoon evergreen broad-leaved forest (1~5 legend is the same as fig. 1)

Na 在整个流程中含量也逐渐增加(图2),变化形式与Al相似。但是增幅远不及Al,含量最高的是地表水($945.33\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$),其增幅也不到大气降水($537.35\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)的2倍。说明Na主要来源于大气降水。

第3类以营养元素Mn、Ca、Sr、K、Mg为主体(图2),其特征是在穿透水和土壤溶液中元素含量比大气降水和地表水有很大的增加。穿透水和土壤溶液含量是大气降水2.1~11.4倍,是地表水的1.2~6.4倍。反映了元素在酸性条件下的淋溶和活化过程及其植物吸收和土壤吸附过程。但Mg元素在地表水与80cm土壤溶液中含量相近(图2),可能与植物吸收和土壤吸附较弱有关。

不同元素在整个水流程的变化形式,反映了不同元素生物地球化学性质的差异,也反映其在地表水中的来源。

4 讨论

大气降水是森林流域地表水直接来源。降水流经森林生态系统的过程中,淋溶土壤、岩石风化物及生物物质,增加了水的化学成分。同时,由于森林植被、枯枝落叶和土壤对水中物质的过滤、吸收、固定和分解等作用,使水得到净化。森林地表水就是降雨经过这两个方面作用综合的结果。可见,大气沉降物的化学性质、区域气候和土壤化学条件、植被特性都对地表水的水质产生影响。鼎湖山地区气温较高,雨量丰富,森林植被保存完好,凋落物量^[6]及本气候带的分解速率较高^[7,8],较多的有机质被分解和淋溶,使鼎湖山林区水体有机碳含量较高,出现一定程度的有机污染。本地区前人测定的结果也支持了这一点^[9]。这种情况在海南的热带雨林^[10]、亚热带井冈山保护区的地表水也存在^[11]。可见,在热带亚热带森林丰富的地区地表水有机碳含量较高是较普遍的一种现象。但本结果比前人测定的结果略高^[9],这可能与取样的季节有关。

鼎湖山森林地表水pH值很低,平均值为4.09,不仅低于大气降水,而且在取样期间变化很小。体现了鼎湖山水质酸化的特点。肇庆地区1994~1997年平均酸雨频率为63%,降水平均pH值为4.62,属酸雨高发区^[12]。地表水酸化是酸沉降的结果。在大气酸沉降频繁的地区普遍存在地表水酸化的现象^[13]。酸雨中的H⁺离子进入森林及其土壤后主要经过以下途径被消耗:(1)溶解淋溶林冠吸附的灰尘及生物表面的分泌物;(2)与粘土矿物或有机质吸附的阳离子发生交换反应,转化成土壤交换性氢;(3)电荷零点(ZPC)较高的铁、铝氧化物的羟基能吸附H⁺而增加正电性;(4)溶解土壤中无定形物质,使铁、铝等活化而进入土壤溶液^[14]。因此,出现穿透水比大气降水,80cm层土壤溶液比30cm层土壤溶液的pH值高。

然而,通过森林表层土壤的水的酸性没有减弱,反而加强(30cm层土壤溶液pH值比穿透水的低0.8)。这是土壤pH值降低的直接结果。这可能与森林植物的根系对土壤溶液盐基离子的强烈吸收有关。因为植物的交换吸收会替换出大量的H⁺。30cm层土壤溶液K、Ca、Mg等盐基离子的含量比穿透水的低可以

说明。这一点与 Solline 等^[15]认为的土壤致酸机制一致。Solline 等^[15]认为土壤中的 H^+ 浓度主要由金属离子决定, 即土壤风化释放金属离子, 凋落物中金属离子的归还以及根系吸收它们的多少来决定。另外, 有机质分解产生有机酸也可能使土壤溶液变酸。Maitat 等人发现法国 Vosges 山脉灰化土 A_0 和 A_2 层的有机物质的分解对土壤溶液的酸度有重大贡献^[16]。鼎湖山土壤有机碳含量在 0~20cm 层最高, 且属快速分解类型^[17]。地表水的 pH 值比 80cm 层土壤溶液的低可能是: (1) 地表水绝大多数来源于表层土壤的间隙水, (2) 根系的吸收有很大一部分在深层土壤进行, 使从深层土壤间隙排出的水中的盐基离子在水流出前被大量吸收。

在美国、德国、荷兰等地的灰壤中, 酸沉降使土壤中的 Al 活化并重新移动进入水体^[18]。大量的模拟酸雨淋溶土壤的实验也显示, 随着模拟酸雨 pH 值的降低, Al 等离子会大量溶出^[14, 19]。本研究测得的 Al 含量在由大气降水到地表水过程中不断增加, 与前人研究的结果相吻合。这说明鼎湖山森林地表水高 Al 含量是酸沉降的结果。其它重金属如 Mn 在地表水中含量也可能与酸沉降有关^[22]。

鼎湖山在 1956 年就设为了自然保护区, 没有工业性(如采矿、冶炼等)和农业性(如使用含铅的杀虫剂)的铅污染源, 含 Pb 汽油的燃烧是本地区最重要的污染来源。植物通过枝、叶吸收并累积 Pb^[20], 缪坤裕等^[21]发现加入秋茄湿地系统的 Pb 主要分配存留在土壤中, 很少迁移到植物体和凋落物中。本研究测得 Pb 含量在穿透水、土壤溶液及地表水比大气降水大幅降低, 虽然不能说明 Pb 净化的具体机理, 但可以证明森林的存在及其土壤对 Pb 的净化作用。蓝崇钰等^[22]模拟酸雨淋溶铅锌尾矿实验结果表明, 酸度的提高能显著增加 Pb 等重金属的溶出, 但是, 随着时间的延长, Pb 和 Cu 的溶出逐渐减少, 酸度对 Pb 的溶出影响比 Zn、Cd、Cu 都小。由此推断, 鼎湖山地表水中的 Pb 含量为区域背景值含量可能性较大, 而且, 在未来的一段时期内, 地表水 Pb 含量不会有太大的增加。

5 小结

鼎湖山森林地表水水质较好, 受人为污染程度较低, 达到国家地表水环境质量标准 I 类水源标准。水质中酸化和 Al 高含量及重金属被活化进入水体等问题是由区域酸沉降引起的。随着酸雨范围扩大和频率的提高, 环境酸化对水质的影响, 地表水的演化与环境酸化的关系的研究应予以重视。从长远来看, 改善水质, 不再仅仅是保护好森林的问题, 改善大气环境质量, 减少以至抑制酸雨的发生不容忽视。

本文从地表水来源的整个水流过程对森林净化水质功能和影响本地区地表水水质的因素进行分析, 找到了本地区水质存在问题的原因, 为本地区的水质保护规划和控制措施提供理论依据, 也为环境酸化与陆地水水质演化研究提供例证。

参考文献

- [1] Liu X Z (刘焯章), Tian D L (田大伦), Zhou Z H (周志华). Studies on the function for purifying water of Chinese fir plantation ecosystem. *Scientia Silvae Sinicae* (in Chinese) (林业科学), 1995, 31(3): 193~199.
- [2] Huang Z F (黄展帆), Fan Z G (范征广). The climate of Dinghushan. *Tropical and subtropical forest ecosystem* (in Chinese) (热带亚热带森林生态系统研究), 1982, (1): 11~16.
- [3] Jiang R (蒋溶), Chu R L (徐瑞麟). Geological minerals along the Xijiang River in Guangdong. *Annual Report of Both Guang Geological Survey Institute* (in Chinese) (两广地质调查所年报), 1932.
- [4] Wang Z H (王铸豪), He D Q (何道泉), Song S D (宋绍敦), et al. The vegetation of Dinghushan Biosphere Reserve. *Tropical and subtropical forest ecosystem* (in Chinese) (热带亚热带森林生态系统研究), 1982, (1): 77~141.
- [5] He C H (何金海), Chen S Q (陈兆其), et al. The soils of Dinghushan Biosphere Reserve. *Tropical and subtropical forest ecosystem* (in Chinese) (热带亚热带森林生态系统研究), 1982, (1): 25~37.
- [6] Tu M Z (屠梦照), Yao W H (姚文华), Weng H (翁轰), et al. Characteristics of litter in evergreen broad-leaved forest of the Dinghu mountain. *Acta Pedologica Sinica* (in Chinese) (土壤学报), 1993, 30(1): 34~42.
- [7] Brown S and Lugo A E. Storage and production of organic matter in tropical forest and their role in the global carbon cycle. *Biotropica*, 1982, 14: 161~187.

- [8] Cuevas E and Median E. Nutrient dynamics within Amazonian forest II. Fine root growth, nutrient availability and leaf litter decomposition. *Oecologia*, 1988, **76**: 222~ 235
- [9] Wen D Z(温达志), Zhou G Y(周国逸), Kong G H(孔国辉), *et al*. A status report on the effects involved with acid rain on plants, soils and surface waters of three selected terrestrial ecosystems in lower subtropical China. *Chinese Journal of Ecology* (in Chinese) (生态学杂志), 2000, **19**(5): 11~ 18
- [10] Zeng Q B(曾庆波), Li Y D(李意德), Chen B F(陈步峰), *et al*. *Research and management on tropical forest ecosystem* (in Chinese). Beijing: Chinese Forest Science Press, 1997. 137~ 157.
- [11] Lin Y(林英) ed. *Scientific survey and research on Jinggangshan nature reserve* (in Chinese). Beijing: Xinhua Press, 1990. 107~ 129.
- [12] Huang Q F(黄清凤), Chen Y H(陈煜辉). Changes of acid rain pollution in recent ten years in Guangzhou region. *Guangzhou Environmental Science* (in Chinese) (广州环境科学), 1999, **14**(2): 19~ 22
- [13] Wang Y F(王云飞), Zhu Y X(朱育新), Yin Y(尹宇), *et al*. Research progress in surface water acidification and study on environment information from lake acidification. *Advance in Earth Sciences*(in Chinese) (地球科学进展), 2001, **16**(3): 421~ 426
- [14] Wang W J(王维君), Chen J F(陈家坊), He Q(何群). Effects of simulated acid rain on release and forms of aluminum from main acidic soils. *Chinese Journal of Applied Ecology* (in Chinese) (应用生态学报), 1992, **3**(2): 184 ~ 189
- [15] Solline P, Grier C C, *et al*. The elemental element cycles of an old-growth Douglas ecosystem in western Oregon. *Ecological Monographs*, 1980, **50**(3): 261~ 285
- [16] Maitat O, Boudot J, Merlet D, *et al*. Aluminum chemistry in two contrasted acid forest soils and headwater streams impacted by acid deposition, Vosges mountains, N. E. France. *Water, Air and Soil Pollution*, 2001, **117** (1): 217~ 243
- [17] Shen C D(沈承德), Liu D S(刘东生), Peng S L(彭少麟), *et al*. Preliminary study on ^{14}C trace and ^{14}C determination of forest soil in Dinghushan natural reserve. *Science Bulletin* (in Chinese) (科学通报), 1998, **43**(16): 1775~ 1780
- [18] Driscoll C T, *et al*. Aluminum chemistry in a forested spodosol. *Soil Sci Soc Am. J.*, 1985, **49**: 437~ 444
- [19] Zhou G Y(周国逸), Norio Ogura(小仓纪雄). The influences of acid rain of the liberation of several elements from various soil types in Chongqing. *Acta Ecologica Sinica* (in Chinese) (生态学报), 1996, **16**(3): 251~ 257.
- [20] Xue J L(薛皎亮), Liu H X(刘红霞), Xie Y P(谢映平). Lead in city air accumulated by the green tree, *Sophora japonica*. *China Environmental Science* (in Chinese) (中国环境科学), 2000, **20**(6): 536~ 539.
- [21] Miao S Y(缪坤裕), Chen G Z(陈桂珠). A location and migration of lead in simulated wetland system of *Kandelia candel*. *China Environmental Science*(in Chinese) (中国环境科学), 1998, **18**(1): 48~ 51.
- [22] Lan C Y(蓝崇钰), Shu W S(束文圣), Zhang Z Q(张志权). Effects of acid leaching on heavy metals mobility of Pb/Zn tailings and the phyto-toxicity of leachate. *China Environmental Science* (in Chinese) (中国环境科学), 1996, **16**(6): 461~ 465