

鼎湖山季风常绿阔叶林某些沉积元素转移过程中的浓度分析

周国逸, 罗 艳, 欧阳学军, 褚国伟, 张倩媚

(中国科学院华南植物研究所, 广州 510650)

摘要:对鼎湖山大气降水、季风常绿阔叶林林冠穿透水、土壤水(30cm 和 80cm 深)以及溪水中某些沉积元素进行了系统连续的观测研究,从沉积元素的转移过程阐明了鼎湖山自然保护区和季风常绿阔叶林所承受的环境压力,通过分析沉积元素在这些水文学过程中的浓度变化和相互联系,试图揭示该生态系统相应功能过程变化的规律。得到如下结果:(1)大气降水中的 Pb 含量远远高于穿透水、土壤水(30cm 和 80cm 深)以及溪水中的含量,随着水分由输入向输出流动,Pb 的浓度逐渐降低;(2)在大气降水、林冠穿透水、土壤水(30cm 和 80cm 深)以及溪水中,Al 离子的浓度逐步增加;(3)除 Pb 外,所有其他元素(Al、Mn、Sr、Mg、Na、K 和 Ca)在土壤溶液中的浓度都高于 5 个水文过程的平均值;(4) Mn、K、Ca 的输入和输出的浓度都不高;(5) Na 和 Mg 在土壤水和溪水中的浓度超过 5 个水文过程的平均值。这表明:(1)鼎湖山的大气具有高浓度的 Pb 含量,而且 Pb 在季风常绿阔叶林系统中处于一个持续的积累过程;(2)酸性降水不仅活化了土壤中的 Al 元素,对各个水文学过程中的离子浓度也有增大的作用;(3) Na 和 Mg 在当前的大气环境下有可能加速地从季风常绿阔叶林生态系统中淋洗出来。总之,由于酸雨和大气污染的影响,鼎湖山森林生态系统将处于不稳定状态。

关键词:沉积元素; 浓度; 大气降水; 林冠穿透水; 土壤水; 溪水

Analysis on the concentration of some sediment elements in their transport process through monsoon evergreen broad-leaved forest ecosystem in Dinghushan, Guangdong Province, China

ZHOU Guo-Yi, LUO Yan, OUYANG Xue-Jun, CHU Guo-Wei, ZHANG Qian-Mei
(South China Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China). *Acta Ecologica Sinica*,
2003, 23(7): 1408~1414.

Abstract: The study was on this academic viewpoint that the hydrological chemistry of sediment elements in ecosystem provides some important information that is useful to diagnosticate the function of ecosystem and to evaluate the impact of outer environment on ecosystem. The experiment was carried out in monsoon

基金项目:中国科学院创新重要方向性资助项目(KSCX2-SW-120); 国家科技部“973”前期资助项目(2001CCB00600); 中国科学院海外杰出青年学者基金资助项目; 广东省自然科学基金重点资助项目(010567)

收稿日期:2003-03-02; **修订日期:**2003-05-09

作者简介:周国逸(1963~), 男, 湖南衡山人, 博士, 研究员, 主要从事森林水文学研究。E-mail: gyzhou@scib.ac.cn

Foundation item: The Innovation Fund from Chinese Academy of Sciences (No. KSCX2-SW-120), the “973” Priority Fund under the auspices of the National Science and Technology Department (No. 2001CCB00600), Outstanding Chinese Youth Scholar Fund from Chinese Academy of Sciences and the Key Project of Natural Science Foundation of Guangdong Province(No. 010567)

Received date:2003-03-02; **Accepted date:**2003-05-09

Biography:周国逸, Ph. D., Professor, main research field: forest hydrology study.

evergreen broadleaved forest ecosystem, Dinghushan Biosphere Reserve, Guangdong Province, China, in which much measurement data were available. Water samples from 5 hydrological processes, *ie*, rainfall, throughfall, soil water of 30cm and 80cm in depth and stream flow were monthly gathered using ordinary ways during February 2001~August 2001. The sediment elements Al, Mn, Sr and Pb were analyzed by ICP (ps-1000AT, USA). Ca and Mg were measured by Atomic Absorption Spectrometer. K and Na were determined using Flame Atomic Absorption Spectrometer. By the researches on transfer of sediment elements through the 5 hydrological processes, the environmental impacts on Dinghushan Biosphere Reserve and the monsoon evergreen broad-leaved forest ecosystem were tested in the paper. From the information provided with the changes and interactions of sediment element concentrations, the paper found some important changes of the relevant functional process of monsoon evergreen broad-leaved forest ecosystem under the environment of high acid deposition. It was turned out that: (1) The concentration of Pb in rainfall was much higher than that in throughfall, soil water of 30cm and 80cm in depth and stream water, and with the flow of water from input to output, the concentration of Pb was decreasing; (2) The concentration of Al increased gradually according to the sequence of rainfall, throughfall, soil water of 30cm and 80cm in depth and stream water; (3) Except Pb, the concentrations of all other elements (*ie*, Al, Mn, Sr, Mg, Na, K and Ca) in soil water and streamwater were higher than the average concentrations in the 5 hydrological processes; (4) The input and output of the concentrations of Mn, K and Ca were not high. All of the results indicated that: (1) The concentration of Pb in atmosphere of Dinghushan area was high and Pb in monsoon evergreen broad-leaved forest ecosystem was continually in accumulation processes; (2) Acid precipitation activated Al in the soil and increased the concentrations of sediment elements during the hydrological process; (3) Na and Mg were probably accelerated to be leached from the ecosystem due to the acid deposition. In a word, that the concentrations of sediment element in the transfer processes of monsoon evergreen broadleaved forest ecosystem in Dinghushan Biosphere Reserve were in a chaos state because of acid precipitation and air pollution, which would probably affect the stability of the ecosystem.

Key words: sediment element; concentrations; rainfall; throughfall, soil water; stream water

文章编号:1000-0933(2003)07-1408-07 中图分类号:Q148 文献标识码:A

沉积循环元素主要是通过固态和液态介质贮存与运转的,水分是沉积元素在生态系统内最为重要的转移媒介,不同元素存在大小不同的库。从生物利用的角度来说,没有进入水文学过程的沉积元素可以认为还没有参与生态系统物质的生物循环过程。沉积元素通常情况下虽不以气态形式存在,但大气中存在大量的沉积元素,主要以灰尘和其他悬浮颗粒物的形式漂浮在大气中,部分溶解在小水滴或雨滴中,由于重力的作用,与气态元素相比这些元素难于远距离的输运,其在降水中的量和沉积在林冠上的量就在一定的程度上反映了邻近区域的环境状况。

水分从大气降水输入到径流输出,参与了一系列的生态系统过程,涉及这些生态过程的沉积元素的水化学浓度变化将可能提供一些重要信息,这些信息对分析该系统的功能状况及其受外界的影响十分有利,由于沉积元素在水化学中的浓度较气态元素稳定,因此,水化学中沉积元素的浓度变化往往反映的是功能状况较大的改变和外界的影响。

鼎湖山国家级自然保护区由于面积小,对周围环境的承载能力早就引起人们的关注^[1~3],而季风常绿阔叶林作为该区域的地带性森林,其稳定性问题也经常受到质疑^[4~8],有的研究认为该群落处于波动期,还有的则更认为该群落在退化,但这些结果都只是基于群落结构上的研究,功能上的研究证据并不多^[9]。为了从功能上阐明鼎湖山自然保护区和季风常绿阔叶林所承受的环境压力和揭示其功能过程的较大改变,本文试图通过沉积元素的转移过程来分析。

1 研究对象描述

鼎湖山生物圈保护区(112°30′39″~112°33′41″E, 23°09′21″~23°11′30″N)面积 1145hm²,位于广东省中部、珠江三角洲西南的肇庆市,距广州 86km。属南亚热带季风气候,年平均气温 20.9℃,年平均相对湿度为 80%,年均降雨量和蒸发量分别为 1929mm 和 1115mm^[10],4~9 月份为湿季,10 月份至次年 3 月份为旱季。鼎湖山大气降水 pH 值很低,变动范围为 4.35~5.65,平均值 4.90,酸雨频率在 62.7%以上^[11]。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珠江,年平均径流系数在 0.455~0.492 之间。土壤为水化赤红壤,自然酸化严重,土壤为酸性,pH 值在 4.1~4.9 之间^[12]。地质构造属鼎湖山系^[13],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^[14],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。

2 研究方法

2.1 采样方法 本文以中国科学院鼎湖山森林生态系统定位研究站长期监测资料为基础,进行对照分析。在此基础上,于 2001 年 2~8 月在季风常绿阔叶林内铁塔顶部设大气降水收集桶 1 个,林内 11 个收集桶收集穿透水,在林内 3 个点的土壤 30cm 和 80cm 2 层各埋设 2 个直径 7.2cm 的陶瓷布式漏斗,用塑料管引入收集桶收集土壤溶液。在集水区出水口收集溪水。各类水样每周采集 1 次。收集桶为塑料制品。采样器为清洁的蒸馏水水瓶,采样前用 1:5 的硝酸浸洗 3 遍,每次浸泡 3d,用双蒸水清洗,取样前用水样涮洗 2 次后再装瓶。

2.2 分析方法 取样 50ml,加 10ml 浓硝酸消煮至 5~10ml 再定容至 50ml,用电感耦合等离子体原子发射光谱仪(ps-1000AT,美国)测定铝、锰、镉、铅。取样 20ml,定容至 50ml,用原子吸收分光光度法测定钙、镁,用火焰原子吸收分光光度法测定钾和钠。采样后用雷磁产的 PHS-25 型 pH 计快速测定 pH 值。

3 结果

Al、Mn、Sr、Pb、Na、K、Mg 和 Ca 等 8 种元素在大气降水、穿透水、30cm 土壤水、80cm 土壤水和溪流中的浓度随月份变化的情况如图 1 所示。

3.1 Al 离子浓度 大气降水中的 Al 离子浓度在降水量比较大的 5~8 月份很低,在降水量小的 3~4 月份较高,3~8 月份的平均值为 0.2011mg·L⁻¹;穿透水中有类似的月份分配规律,但 Al 离子除 4 月份以外,都显著性($p=0.01$)地高于大气降水中的含量,3~8 月份的平均值为 0.3010 mg·L⁻¹,比大气降水高 0.1 mg·L⁻¹;同期内,30cm、80cm 土壤水和溪水中的浓度分别为 1.5097 mg·L⁻¹、0.9737 mg·L⁻¹和 1.3042 mg·L⁻¹,极显著性($p=0.001$)地高于大气降水和林冠穿透水中的浓度,月份变化规律不明显。

3.2 Mn 离子浓度 Mn 在大气降水中浓度非常低,月份分配规律与 Al 近似,3~8 月份的平均值为 0.02202 mg·L⁻¹,穿透水中的浓度显著性($p=0.01$)地高于大气降水中的浓度,同期平均值为 0.1771mg·L⁻¹,30cm 和 80cm 土壤水中在 3~8 月份的浓度分别为 0.2289 mg·L⁻¹和 0.2049 mg·L⁻¹,相互之间没有显著差异,和穿透水中的浓度相近。溪水中 Mn 离子浓度在此期间仅为 0.06948 mg·L⁻¹,远远低于土壤水中的浓度。

3.3 Sr 离子浓度 Sr 在各种水文学过程中的浓度都较为近似,大气降水、穿透水、30cm、80cm 土壤水和溪水中 Sr 浓度在 3~8 月份的平均值分别为 0.004559 mg·L⁻¹、0.01002 mg·L⁻¹、0.01127 mg·L⁻¹、0.01040 mg·L⁻¹和 0.008132 mg·L⁻¹,统计检验显示除大气降水中的浓度以外,其他水文学过程中的浓度之间都不存在显著差异。在月份变化上,除 5~8 月份大气降水中浓度较低以外,其他几个水文学过程中的元素浓度月份变化不明显。

3.4 Pb 离子浓度 3~8 月份,Pb 在大气降水、穿透水、30cm 和 80cm 土壤水以及溪水中的平均浓度分别为 0.04764 mg·L⁻¹、0.01021 mg·L⁻¹、0.007458 mg·L⁻¹、0.003050 mg·L⁻¹和 0.001252 mg·L⁻¹,即随着水分由输入向输出流动,Pb 的浓度是逐渐降低的。

3.5 Na 离子浓度 3~8 月份期间,Na 在大气降水、穿透水、30cm 和 80cm 土壤水和溪水中的平均浓度分别为 0.3466 mg·L⁻¹、0.4908 mg·L⁻¹、0.6484 mg·L⁻¹、0.6743 mg·L⁻¹和 1.0421 mg·L⁻¹,随着水分

由输入向输出流动,Na 离子浓度逐渐增加;穿透水中的浓度略高于大气降水,彼此之间存在显著性差异;2 个深度的土壤水中浓度近似,不存在统计差异;溪水中的浓度显著性地高于其他水文学过程。在月份变化方面,大气降水和穿透水中的 Na 离子相近;30cm 和 80cm 土壤水中的 Na 离子相近;而溪水中 Na 离子随着月份而逐渐增加。

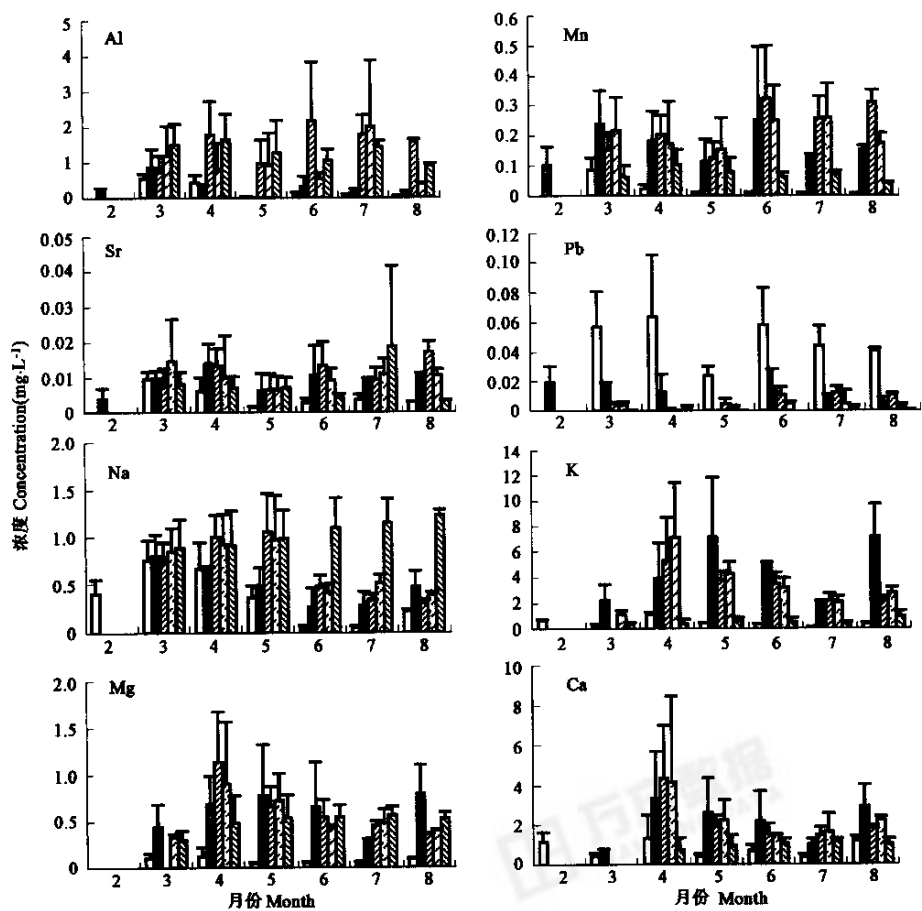


图1 季风常绿阔叶林水文学过程中主要沉积元素浓度的月变化

Fig. 1 Monthly changes of concentration in hydrological processes of monsoon evergreen broad-leaved forest ecosystem for several sediment elements

□大气降水 Precipitation ■穿透水 Throughfall ▨ 30cm 土壤水 Soil water of 30cm in depth ▩ 80cm 土壤水 Soil water of 80cm in depth ▤ 溪水 Stream water

3.6 K 离子浓度 大气降水、穿透水、30cm 和 80cm 土壤水以及溪水中的 K 离子在 3~8 月间平均浓度分别为 $0.4383\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $4.5820\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $3.3733\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $3.4066\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $0.5300\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,以直接参与生态系统内生物过程的穿透水、土壤水中的浓度含量最高,是大气降水和溪水的 6.3~10.5 倍,它们之间差异显著。在月份分配上,大气降水和溪水中的 K 离子变化不大,而穿透水、土壤水中的含量则在生长季节中含量最高。

3.7 Mg 离子浓度 大气降水、穿透水、30cm 和 80cm 土壤水以及溪水中的 Mg 离子在 3~8 月间平均浓度分别为 $0.07900\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $0.6015\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $0.6276\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $0.5421\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $0.4906\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,除在大气降水以外,Mg 离子在其他形式水化学中的浓度相对一致,分别高出大气降水中的浓度 7.6 倍,7.9 倍,6.9 倍和 6.2 倍,差异极显著。月份动态表现为在雨季数据的 4 月份,大气降水、穿透水、30cm 和 80cm 土壤水中的浓度最高,以 7 月份最低,有随着降水量增加而浓度下降的趋势;由 3 至 8 月份溪水中的浓度有微略上升的趋势,月份间标准差为 0.0884,没有显著差异。

3.8 Ca 离子浓度 大气降水、穿透水、30cm 和 80cm 土壤水以及溪水中的 Ca 离子在 3~8 月份间平均浓度分别为 $0.7419\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $2.1067\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $2.2104\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $2.3495\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $0.9716\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。除在大气降水和溪水中以外,Ca 离子在其他形式水化学中的浓度相对一致,而且较高,差异极显著。月份动态表现为在雨季开始的 4 月份,大气降水、穿透水、30cm 和 80cm 土壤水中的浓度最高,以 7 月份最低,有随着降水量增加而浓度下降的趋势;溪水中的浓度基本一致,由 4 至 8 月份有略微上升的趋势,但差异不显著。

3.9 水文学过程中各种离子浓度的比较 以 Sr 浓度作为比较的参照,大气降水中,Mn、Pb、Mg、Al、Na、K、Ca 分别为 Sr 浓度的 4.83、10.45、17.33、44.11、76.03、96.14 倍和 162.73 倍,这是鼎湖山地区大气降水中沉积循环元素浓度的基本构成。穿透水中的次序为(括号中的数字为 Sr 浓度的倍数)Pb(1.02)、Mn(17.67)、Al(30.03)、Na(48.97)、Mg(60.02)、Ca(210.21)、K(457.19);30cm 土壤水中的次序为 Pb(0.66)、Mn(20.31)、Mg(55.68)、Na(57.52)、Al(133.93)、Ca(196.10)、K(299.26);80cm 土壤水中的次序为 Pb(0.29)、Mn(19.71)、Mg(52.14)、Na(64.86)、Al(93.65)、Ca(225.98)、K(327.65);溪水中的次序为 Pb(0.15)、Mn(8.55)、Mg(60.33)、K(65.17)、Ca(119.48)、Na(128.15)、Al(160.38);这是在鼎湖山季风常绿阔叶林生态学过程影响下沉积元素的相互消长状况,其中一个重要的特征是 Al 离子在 30cm 土壤水,80cm 土壤水和溪水中的含量逐渐增高,说明该系统的水相有逐步酸化的趋势(表 1),这是值得注意的问题。

把大气降水、穿透水、30cm 和 80cm 土壤水以及溪水中各个离子浓度加以简单平均,分别为 $51.58\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $103.26\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $95.56\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $98.16\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $67.90\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,这些数据可以从一个侧面反映出沉积循环元素的总体在各水文学过程中的情况,可以看出穿透水在沉积元素的输入和归还中的地位。

表 1 不同水文学过程中的 pH 值

Table 1 pH values in different hydrologic processes					
水样类型 Water types	大气降水 Rainfall	穿透水 Throughfall	30cm 土壤水 Soil water of 30cm in depth	80cm 土壤水 Soil water of 80cm in depth	溪水 Stream water
pH	4.27	5.15	4.38	4.98	4.09

4 分析与讨论

4.1 鼎湖山地区大气输入状况分析 大气输入包括湿沉降和干沉降,大气降水是这里湿沉降最主要的形式,穿透水中物质元素则来源于干沉降、湿沉降和植物叶面的淋洗。

因此,对降水和穿透水中元素浓度的监测可以基本掌握鼎湖山地区沉积元素大气湿沉降和干沉降输入的背景状况,进而评价该地区的大气环境质量对生态系统,特别是鼎湖山季风常绿阔叶林地带性生态系统的影响。

各个元素在大气降水、穿透水、30cm 土壤水、80cm 土壤水和溪水中的背景值是不同的,根据这些元素在这 5 个水文学过程中的绝对量并不能得到客观的结果,因此,为了比较某元素在各个水文学过程中的浓度差异,进而分析受大气与生物学过程影响的程度,这里将元素在某一水文学过程中的浓度与该元素在 5 个过程中的平均浓度比较(即 X/\bar{X} , X 为某元素在某一水文学过程中的浓度, \bar{X} 为该元素在 5 个水文学过程中的平均浓度),结果见表 2。

表 2 元素在不同水文学过程中的相对浓度(X/\bar{X})

Table 2 Relative concentration of elements in different hydrologic processes									
元素 Elements		Al	Mn	Sr	Pb	Na	K	Mg	Ca
大气降水 Rainfall		0.23	0.16	0.51	3.42	0.54	0.18	0.17	0.44
穿透水 Throughfall		0.35	1.26	1.13	0.73	0.77	1.86	1.28	1.26
30cm 土壤水 Soil water of 30cm in depth		1.76	1.63	1.27	0.54	1.01	1.37	1.34	1.32
80cm 土壤水 Soil water of 80cm in depth		1.13	1.46	1.17	0.22	1.05	1.38	1.16	1.40
溪水 Stream water		1.52	0.49	0.92	0.09	1.63	0.21	1.04	0.58

鼎湖山大气降水中的 Pb 浓度远远高出穿透水、土壤水和溪水中的浓度,是这 5 种水分过程 Pb 浓度平均值的 3.42 倍,说明这里的大气具有高浓度的 Pb 含量,是庆云寺香火和汽车尾气污染的结果,Pb 是一种重金属元素,其浓度较高的浓度必然对鼎湖山自然生态系统造成压力。大气降水中的 Mn、Mg、K 和 Al 浓度只有这 5 种水分过程中相应元素浓度平均值的 0.16~0.23 倍,而 Ca、Sr 和 Na 元素浓度约占这 5 种

水分过程相应元素浓度平均值的 0.44~0.54 倍,它们都是这 5 种水分过程中浓度最低的。

季风常绿阔叶林内穿透水元素浓度除 Pb 以外均显著高于大气降水中的浓度。由于本文研究的各种沉积元素对植物体的需要与否不一样,在植物体内的流动性不一样,穿透水中不同元素来源比例是不一样的。K 元素既是植物体大量需要的元素,也是易于移动的元素,在穿透水中的浓度最高,可以预计,穿透水中的 K 元素有较大比例来自叶面的淋溶;Sr、Ca、Mn 和 Mg 的浓度分别是 5 种水分过程中相应元素浓度平均值的 1.13~1.28 倍,由于这些元素都不易于从叶表面中被淋洗,可以认为,它们高出大气降水的部分主要来源于干沉降。穿透水中 Pb 的含量低于大气降水中的含量,有两个可能的解释,第一是由于 Pb 来源于汽车尾气,可能主要存在于大气气溶胶中,颗粒较小,主要靠降水输入,以灰尘等大颗粒为主的干沉降含 Pb 量不多;第二,植物体叶表面能够吸收较多的 Pb 元素,曾有类似的报道^[15]。Na 元素的化合物易溶于水,在湿沉降—大气降水中的含量较高,但在主要来自于干沉降的穿透水中的含量与其他元素相比却是较低的,说明鼎湖山大气中 Na 含量的背景值不高^[9]。和大气降水一样,穿透水中 Al 含量相对其它元素和水文学过程中的含量也不高。

4.2 受系统内生物过程的影响 鼎湖山大气降水存在严重酸化,平均 pH 值达到 4.3^[11-16],酸性降水(表 1)活化了土壤中的 Al 元素,靠近表层的 30cm 土壤水可能因为直接受到酸性沉降的影响而含有更高浓度的 Al 离子。表 1 显示水分通过季风常绿阔叶林由输入到输出,Al 离子含量逐步增加,地表水中的浓度显著高于大气降水和穿透水。

酸性沉降不仅仅活化了 Al 元素,对土壤溶液中的离子浓度也有增大的作用,从表 1 可以看到,除 Pb 以外,所有其他元素在土壤溶液中的浓度都高于平均值,提高了土壤中可溶解盐基离子浓度,这对于植物的吸水是不利的。

Mn、K、Ca 的输入和输出的浓度都不高,主要在该系统的内部循环运转,这是这 3 个元素在季风常绿阔叶林生态系统内的一个重要特点。由土壤水到溪水的过程中,可能存在固定这些元素的环节。

Na 和 Mg 在土壤水和溪水中的浓度超过平均值,这两种元素在季风常绿阔叶林生态系统土壤和径流中的含量都较高,在鼎湖山酸性沉降的背景下,它们被淋洗出系统的可能性较大。

Sr 在各个水文学过程中的浓度差异是上述沉积元素中最小的,由于 Sr 并不是生物体所需要的大量元素,该元素在土壤水和溪水的浓度代表了不受生物过程影响的背景状况。研究证明,Sr 与很多沉积循环元素诸如 Ca、Mg、K、Mn 等有相似的地球化学行为^[17,18],如果不存在生物的作用,这些元素在土壤和溪水中的相对浓度将与 Sr 的比较近似,而 Sr 和这些元素在各个水文学过程中相对浓度的差异格局就体现了生物过程的作用。

从降水输入到溪水输出,Pb 的浓度在持续的下降,溪水中的浓度极低, Pb 在季风常绿阔叶林系统中处于一个持续的积累过程,对于该系统的发展是不利的,有可能对该系统造成深刻的影响。

References:

- [1] Li Han'e. Count measure of Ecological Environment Problem Caused by Tourism in Dinghu Mountain. *Journal of Foshan University*, 1996, **14**(6): 77~81.
- [2] Liu S H, Liu J K, Wang Y X. The Relationship between Biodiversity Conservation and Nature Reserve in China. *World Forestry Research*, 2002, **15**(4): 47~54.
- [3] Xiao Y, Yang R Q. The Actualities, Problems and Principles in the Development of Ecological Tourism in Nature Reserve in China. *Journal of Xinzhou Normal School*, 2000, (2): 36~39.
- [4] Huang Z L, Kong G H, Zhang Q M, *et al.* Structure, species diversity and population dynamics of the lower subtropical evergreen broad-leaved forest in Dinghushan Biosphere Reserve. *Tropical and Subtropical Forest Ecosystem Research*, 1998, **8**: 64~75.
- [5] Zhang H D, Wang B X, Zhang C C, *et al.* Study on the plant communities of Dinghu Mountain at Gaoyao, Guangdong. *Acta Scientiarum Naturalium Univeristatis Sunyatseni*, 1955, **3**: 159~225.
- [6] Yu Q 万方数据 Zhang D Q. Long-term monitoring of the lowersubtropical evergreen broad-leaved forest in Dinghushan Biosphere Reserve(VIII) biological cycle of nutrient elements in the community of *Castanopsis chinensis*,

- Cryptocarya concinna*. *Tropical and Subtropical Forest Ecosystem Research*, 1998, **8**: 53~63.
- [7] Liao C H, Yi W M, Yao W H. The organic energy dynamics of forest soil ecosystem in south subtropical region of China. *Tropical and Subtropical Forest Ecosystem Research*, 1998, **8**: 172~179.
- [8] Seip H M, Aagaard P, Angell P. Acidification in China: Assessment based on studies at forested sites from Chongqing to Guangzhou. *AMBIO*, 1999, **28**(6): 524~529.
- [9] Zhou G Y, Yan J H. The influences of regional atmospheric precipitation characteristics and its element inputs on the existence and development of Dinghushan forest ecosystems. *Acta Ecological Sinica*. 2001, **21** (12): 2002~2012.
- [10] Huang Z F, Fan Z G. The climate of Dinghushan. *Tropical and subtropical forest ecosystem*, 1982, **1**: 11~16.
- [11] Liu J X, Zhang D Q, Zhou G Y, *et al.* Preliminary study on the chemical properties of bulk precipitation, throughfall, stemflow and surface water in major forest types at Dinghushan under acid deposition. *Chinese Journal of Applied Ecology*, **14**(8):1223~1228.
- [12] He C H, Chen S Q, *et al.* The soils of Dinghushan Biosphere Reserve. *Tropical and subtropical forest ecosystem*, 1982, **1**: 25~37.
- [13] Jiang R, Chu R L. Geological minerals along the Xijiang River in Guangdong. *Annual Report of Both-Guang Geological Survey Institute*, 1932.
- [14] Wang Z H, He D Q, Song S D, *et al.* The vegetation of Dinghushan Biosphere Reserve. *Tropical and subtropical forest ecosystem*, 1982, **1**: 77~141.
- [15] Ruan H H, Jiang Z L. Pb concentration and Distribution in Main Tree Species on both sides of Highway. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, **10**(3): 362~364.
- [16] Huang Q F, Chen Y H. Changes of acid rain pollution in recent ten years in Guangzhou region. *Guangzhou Environmental Science*, 1999, **14**(2):19~22.
- [17] Blum J D, Erel Y, Brown K. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios of Sierra Nevada stream water; implications for relative mineral weathering rates. *Geochim Csmochim Acta*, 1993, **57**: 5019~5025.
- [18] Miller E K, Blum J D, Friedland A J. Determination of soil exchangeable-cation loss and weathering rates using Sr isotope. *Nature*, 1993, **362**: 438~441.

参考文献:

- [1] 李寒娥. 鼎湖山旅游业生态环境问题的对策. 佛山大学学报, 1996, **14**(6): 77~81.
- [2] 刘思慧, 刘季科, 王应祥. 中国的生物多样性保护与自然保护区. 世界林业研究, 2002, **15**(4): 47~54.
- [3] 肖扬, 杨瑞卿. 我国自然保护区生态旅游的发展现状、问题及原则. 忻州师范专科学校学报, 2000, (2): 36~39.
- [4] 黄忠良, 孔国辉, 张倩媚, 等. 鼎湖山南亚热带常绿阔叶林结构、物种多样性及种群动态的研究. 热带亚热带森林生态系统研究, 1998, **8**: 64~75.
- [5] 张宏达, 王伯荪, 张超常, 等. 广东高要鼎湖山植物群落之研究. 中山大学学报(自然科学版), 1955, **3**: 159~225.
- [6] 余清发, 温达志, 张德强. 鼎湖山南亚热带常绿阔叶林 定位研究 VIII. 锥栗、黄果厚壳桂群落营养元素生物循环. 热带亚热带森林生态系统研究, 1998, **8**: 53~63.
- [7] 廖崇惠, 蚁伟民, 姚文华. 南亚热带森林土壤生态系统的有机能量动态. 热带亚热带森林生态系统研究, 1998, **8**: 172~179.
- [9] 周国逸, 闫俊华. 鼎湖山区域大气降水特征和物质元素输入对森林生态系统存在和发育的影响. 生态学报, 2001, **21**(12): 2002~2012.
- [10] 黄展帆, 范征广. 鼎湖山的气候. 热带亚热带森林生态系统研究, 1982, (1): 11~16.
- [11] 刘菊秀, 张德强, 周国逸, 等. 鼎湖山酸沉降背景下主要森林类型水化学特征初步研究. 应用生态学报, **14**(8): 1223~1228.
- [12] 何金海, 陈兆其, 等. 鼎湖山自然保护区之土壤. 热带亚热带森林生态系统研究, 1982, (1): 25~37.
- [13] 蒋溶, 徐瑞麟. 广东西江沿江地质矿产. 两广地质调查所年报. 1932.
- [14] 王铸豪, 何道泉, 宋绍敦, 等. 鼎湖山自然保护区的植被. 热带亚热带森林生态系统研究, 1982, (1): 77~141.
- [15] 阮宏华, 姜志林. 城郊公路两侧主要森林类型铅含量及分布规律. 应用生态学报, 1999, **10**(3): 362~364.
- [16] 黄清风, 陈煜辉. 广州地区近十年酸雨污染的变化. 广州环境科学, 1999, **14**(2): 19~22.