

# 热带山地雨林生态系统对降水水质的影响\*

陈步峰 林明献 邱坚锐 吴仲民 周铁峰

(中国林业科学研究院热带林业研究所, 510520, 广州; 第一作者 40 岁, 男, 副研究员)

**摘要** 3<sub>a</sub> 对海南岛尖峰岭热带山地雨林集水区岩石、土壤及水化学质流含量的检测, 雨林集水区降雨、总径流水体 COD、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、酚、Zn、Cu、Pb、Cd、Ni 的加权浓度含量远低于地面水质 类标准; 岩石组成属钾长石类, 其 8 项测定的重金属中 Zn、Mn、Pb 含量相对较高, 水质迁移中以溶解、水解及氧化为特征; 在降雨—径流水循环中, 山地雨林冠层减少降雨中 COD、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、酚、Zn、Cd、As、Ni、Fe 浓度含量范围在 32% ~ 82%; 土壤层对进入林内的雨水中的 COD、Cu、Zn、Mn、Fe 产生吸附效应, 雨林系统对降雨中 COD、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、酚、Cu、Zn、Cd、Fe 贮滤强度分别达 44.4%、23.7%、40.2%、8.9%、57.0%、27.7%、88.3%。热带山地雨林生态系统具有显著的水化学贮滤净化的生态效应。

**关键词** 热带山地雨林; 水质; 水质贮滤功能

**分类号** S718.55

尖峰岭热带山地雨林是我国热带雨林地带性分布的一种典型植被群落, 在维持区域生态环境中产生巨大的而又不可替代的作用, 尤其是涵养水源、调节径流、维持自然水循环和平衡、净化水质方面至关重要; 随着该区域人口增长和经济活动的频繁, 水环境也受到较大压力。森林是人类的清水源, 对水质具有良好影响效益, 而热带林生态系统对水质影响方面的研究尤其是水质微量成分的影响, 研究工作进行得非常少, 也未见这方面研究报道。因此, 3<sub>a</sub> 来对热带山地雨林生态系统的岩石、土壤微量物质特征、森林生态系统水分循环中微量元素的地球化学含量变化, 进行了深入细致的定位测定研究, 寻求热带森林生态系统对降水微量物质(属污染金属元素)的影响效应, 作为保护与可持续发展热带天然林的部分科学依据。

## 1 试验区自然概况和研究方法

### 1.1 概况

尖峰岭热带山地雨林实验区位于 18°44' N, 108°50' E, 海拔 800 ~ 1 100 m。属热带季风气候, 年平均气温 19.5 °C, 年均降水量达 2 668.3 mm, 年均风速为 1.5 m · s<sup>-1</sup>, 平均相对湿度为 88%。取热带山地雨林天然更新林(36 a)集水区(S = 3.01 hm<sup>2</sup>)和原始雨林集水区(S = 220 hm<sup>2</sup>)为定位实验研究对象, 集水实验区植被组成已有报道<sup>[1]</sup>。

### 1.2 研究方法

1.2.1 岩石样品采集及分析 在山地雨林原始林与天然更新林集水区内按立地型(山麓、山

\* 本文属中国林科院科学技术发展基金(1995 ~ 1997 年)资助项目(9586103)“海南岛尖峰岭热带林生态系统净化水质功能的研究”内容。承海南省农垦测试中心和广东省生态环境与土壤研究所分析岩石、土壤样品, 海南省农垦测试中心测定分析全部水样, 特此感谢!

坡、山谷)分别采集岩石样品,编号后用布袋盛装带至实验室,木锤敲碎岩石样品,经玛瑙研钵研细,通过100目尼龙筛后烘干。取试样置于铂金坩埚内,用碳酸钠碱熔法,经动物胶脱硅后,以稀盐酸溶解。然后用原子吸收法测定铁(Fe)、锰(Mn)、锌(Zn)、铅(Pb)、镉(Cd)、镍(Ni)和砷(As)的含量,同时分析岩石主要组成( $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ )含量。

1.2.2 土壤样品采集及分析 在两个集水区内按立地型(山麓、山坡、山谷),土壤样品分5层(0~10 cm, 11~30 cm, 31~60 cm, 61~80 cm, 81~120 cm)采集,每层取土0.5 kg,布袋盛装,经实验室内自然风干后,剔除有机残体及石砾,混合、研细并烘干,经玛瑙研钵研细,通过100目尼龙筛后烘干。取试样置于铂金坩埚内,用碳酸钠碱熔法,经动物胶脱硅后,以稀盐酸溶解。然后用原子吸收法测定铁(Fe)、锰(Mn)、锌(Zn)、铅(Pb)、镉(Cd)、镍(Ni)和砷(As)的含量。

1.2.3 林外降水 按照控制圈法分4个集水实验区设置虹吸日记自记雨量计及DS100D电脑雨量记录仪常年观测,降雨量的统计以控制圈法计算;林内穿透水、茎流测定已有报道<sup>[1]</sup>。

1.2.4 总径流量测定 热带山地雨林天然更新林集水区用巴歇尔堰(测定大流量)、90和30.3两个镶嵌的V型堰(测中、小流量)三级连体测水实验工程测定总径流,日计水位计记录。

1.2.5 水样采集 根据实验区降雨量的雨量级分布规律,按照降雨的雨量级,分别采集降雨、穿透水、茎流、地表径流和总径流各水样,采集各水文要素出现峰值前、峰值、峰值后水样的混合样品,对于大暴雨、特大暴雨的各水文要素水样采用分时段采集。

1.2.6 水样现场处理 用于分析COD、 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 水样各采150 mL,分别加 $\text{H}_2\text{SO}_4$ (浓)使其水样的 $\text{pH}<2$ ;用于分析酚的水样采100 mL,加 $\text{H}_3\text{PO}_4$ 使其水样的 $\text{pH}<4$ ,再加 $\text{CuSO}_4$ (7~11  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ );用于分析Cu、Zn、Pb、Cd、As的水样采1200 mL,加浓 $\text{HNO}_3$ (1~2  $\text{mL}\cdot\text{L}^{-1}$ );水样在3 d内送至实验室分析。

1.2.7 水化学元素的分析测定方法 COD:酸性高锰酸钾法; $\text{NH}_4^+-\text{N}$ :硼酸吸收、标准酸滴定法;酚:4-安替比林比色法;As:银盐比色法;Pb、Cd、Zn、Cu、Ni:原子吸收光谱法(AAS法)。

1.2.8 水文物理化学量的统计 依照森林生态系统定位研究方法中的森林水文及养分循环定位研究方法。

## 2 结果与分析

### 2.1 雨林区降水微量元素含量

经3 a 36次定位测定,降水中微量元素浓度含量的加权均值见模式图1,参照1988年国家地面水环境质量标准<sup>[2]</sup>(GB 3838-88 类含量/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ :COD<15,凯氏N<0.5,挥发酚<0.002, Pb<0.01, Cd<0.001, As<0.05, Cu<0.01, Zn<0.05, Fe<0.3, Mn<0.1)对照,尖峰岭热带山地雨林区降雨中这些物质的浓度含量远低于Ⅱ类标准含量,仅为此标准的0.46(COD)、0.19( $\text{NH}_4^+-\text{N}$ )、0.46(酚)、0.69(Cu)、0.64(Zn)、0.23(Pb)、0.47(Cd)、0.15(As)、0.02(Mn)、0.16(Fe),降雨属未被这些元素污染的纯净优质水。

### 2.2 雨林冠层对降雨水质的影响

降雨穿过林冠层后,冠层的生物化学作用,导致这些物质浓度含量发生变化,冠层对降雨中 $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 、酚、Zn、Cd、As、Ni、Fe的浓度含量分别净贮滤45.5%、40.2%、45.8%、31.9%、

81.6%、59.3%、0.6%，而使 COD、Cu、Pb、Mn 的浓度含量分别净增加 121.4%、171.3%、9.9%、685.9%，反映出热带山地雨林冠层对降水微量元素的高度敏感性，有效地吸贮了 7 种污染元素，而使林内净降水中的化学耗氧量、Cu、Mn 元素浓度含量增高，Pb 有微量的增加，反映出雨林冠层即降水第一接触面对水质的有效贮滤。

### 2.3 集水区岩石化学组成及微量元素含量特征

对原始雨林和天然更新林区岩石组成含量实施 2 a 对照检测，其后者岩石组成含量见图 1，两个集水区的 SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、K<sub>2</sub>O 检测值范围分别在 75.5% ~ 77.7%、10.6% ~

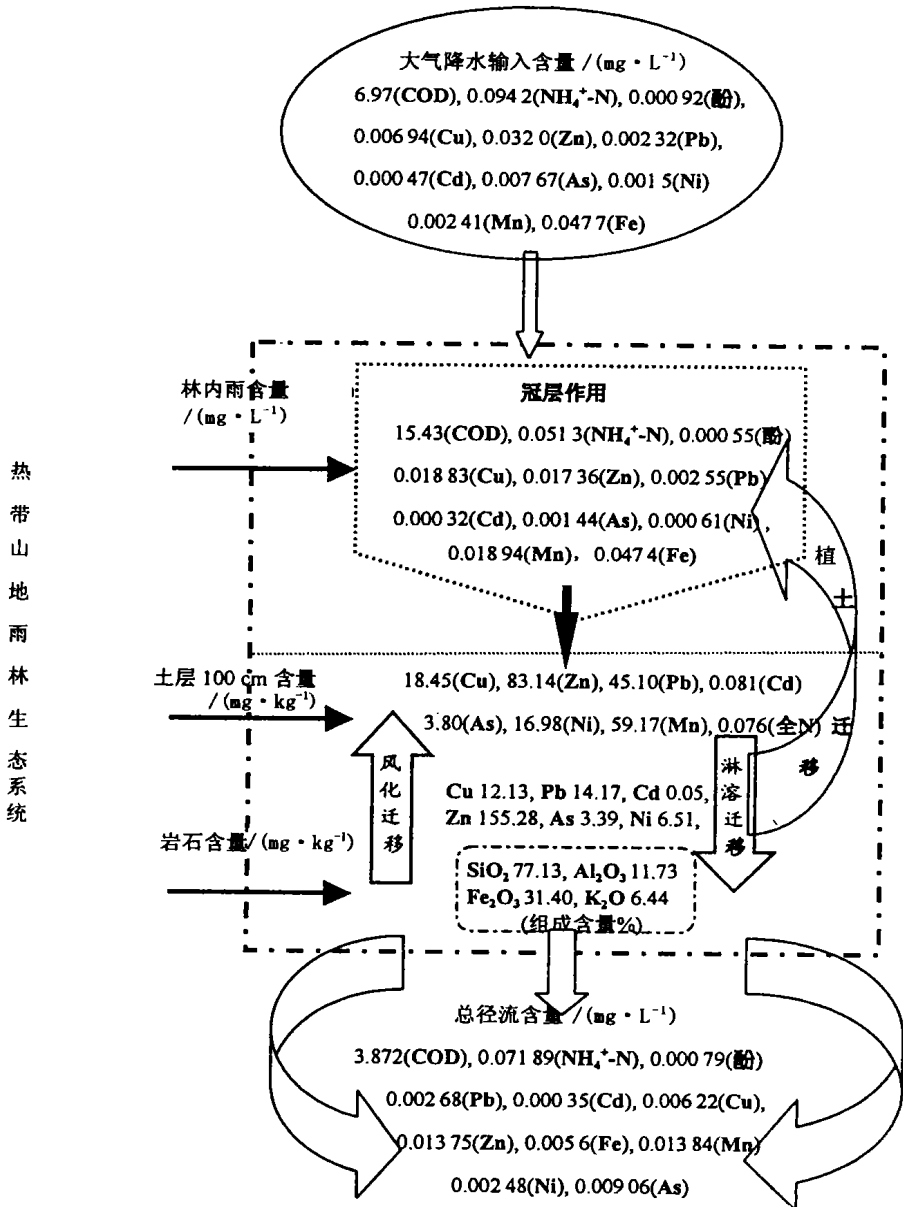


图 1 热带山地雨林水质微量元素(属污染)的生物地球化学过程中含量变化

12.3%、1.1%~1.6%、4.7%~6.7%和75.1%~79.2%、10.7%~12.8%、1.3%~1.5%、5.4%~7.4%，与花岗岩浆岩平均化学成分相应组成对比<sup>[3]</sup>，两区岩石组成SiO<sub>2</sub>分别高出6.42%、6.92%，Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>分别低2.97%、2.77%，Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>低0.27%、0.17%，K<sub>2</sub>O高出1.59%、2.29%；即Si和K的组分含量高，属钾长石，因而在物理风化中，对水分的蓄贮能力较差，而以溶解、水化、水解和氧化的化学风化特征为主，加上热带山地雨林高湿条件水的长期作用，加快了化学风化，风化产物溶于径流中，如下式的溶解：



其中Me代表Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>等阳离子<sup>[6]</sup>。

这种特性对于降水形成的潜育径流水化学组成有显著的影响。原始雨林集水区岩石中的微量元素含量，是以Zn为最高，Cd为最低，天然更新林集水区为：Zn(155.3) > Mn(59.8) > Pb(14.2) > Cu(12.1) > Ni(6.5) > As(3.4) > Cd(0.1)，从水循环的角度分析，这种岩石化学成分输入系统，势必对径流尤其是潜育流、地下径流中相应化学物质的迁移产生最根本的影响。

#### 2.4 土壤微量元素含量特征

山地雨林生态系统的土壤是系统的重要环境因素，是生物与环境之间物质交换的活跃场，它既具有与表层物质的交换界面，又具有与岩石间物质交换的界面，中间层是矿质营养元素与水分的补充基地，也是受下淋物质影响的淋溶淀积区，根据土壤各层重金属测定值的面积加权含量，天然更新林分(36a)与原始雨林有一定的差别，相对天然更新林结果(图1)，原始雨林土壤5项重金属含量比天然更新林低，3项重金属测定值比天然更新林含量高。用会同杉木林集水区土壤相应元素含量来比较<sup>[4]</sup>，会同杉木林集水区土壤Mn分别高出两个雨林集水区23.5、16倍，Fe分别高出2.53、1.28倍，Zn、Cu、Pb、Ni均有微量高出，而Cd相对于两个雨林集水区低；参照GM·GD土壤参考标准(mg·kg<sup>-1</sup>) (Pb(36.34)、Cd(0.157)、As(17.57)、Cu(33.20))，原始雨林土壤含量仅为参考标准的0.85、0.61、0.31、0.5，天然更新林集水区土壤的Cd、As、Cu是参考标准的0.51、0.22、0.56，而Pb净高出标准0.24，反映了热带雨林土壤系统中污染重金属元素含量低于参考标准，从而当雨水经土壤层向下淋溶时，溶入径流水体循环输出到环境水体的量是有限的。

#### 2.5 林冠下系统及整个森林生态系统对水质的影响

山地雨林生态系统的地被物层、土壤和岩石层对水质流含量的影响，通过总径流含量反映，根据以上分析，山地雨林土壤岩石微量元素在高温、高湿的环境诱导之下，各种生化、物理化学交换特性将强烈进行，对总径流含量的贡献可据图1进行估算。(1)以林内雨水和总径流浓度含量对应衡量，地被物、土壤、岩石层对林内净降雨浓度含量的影响，增减表现为：净增NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N(40.1%)、酚(43.6%)、Pb(5.1%)、Cd(9.4%)、As(529.2%)、Ni(306.6%)，致使其向径流水体迁移率较高；净减为COD(74.9%)、Cu(67.0%)、Zn(20.8%)、Mn(26.9%)、Fe(88.2%)，体现为被吸附机能<sup>[5]</sup>。(2)以降雨输入和总径流输出浓度含量为基准来衡量山地雨林生态系统的贮滤各微量元素的强度，则径流水体浓度减少的元素有COD、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、酚、Cu、Zn、Cd、Fe，山地雨林系统对其的贮滤强度分别达到44.4%、23.7%、40.2%、8.9%、57.0%、27.7%、88.3%，径流含量相对降雨增加的有Pb、As、Ni、Mn元素，增加强度分别为12.1%、18.1%、65.3%、474.3%。由此反映出，山地雨林系统对于降雨中水质属污染元素的贮滤效应

是非常显著的,尤其是对减少的微量元素。对于增加的元素,则主要是由于土壤岩石的溶质化学迁移,但除 Ni、Mn 元素外,径流增加非常有限。就径流浓度含量与地面水质标准比较,径流中  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、酚、Pb、Cd、Cu、Zn、As、Mn、Fe 浓度含量分别是水质标准的 0.14、0.40、0.27、0.36、0.62、0.28、0.18、0.14 和 0.02, pH 值为 7.21, 径流水也属非常优质的自然水。

### 3 结 语

(1) 热带山地雨林区降水微量元素检测结果表明, 10 项检测项目浓度含量远低于地面水质标准, 尤其是 COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、As、Mn、Pb、Cd 仅为标准的 0.02 ~ 0.46, 降水未受这些物质的污染。

(2) 山地雨林林冠层对降水输入的这些元素非常敏感, 产生了有效的缓冲、贮滤效应, 尤其是林冠层对降水中  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、酚、Zn、Cd、As、Ni 的浓度含量, 其相对降低的程度较高, 林冠层的贮滤强度较高, 净贮滤强度达到 31.9% ~ 81.6%。

(3) 两个山地雨林集水区岩石主要组成  $\text{SiO}_2$  为 75.5% ~ 77.7%、75.1% ~ 79.2%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  为 10.6% ~ 12.3%、10.7% ~ 12.8%,  $\text{K}_2\text{O}$  分别为 4.7% ~ 6.7%、5.4% ~ 7.4%, 属钾长石, 其以溶解、水解和氧化的化学风化特征为主, 微量元素含量以 Zn、Mn、Pb 的含量相对较高, 其 Cd 的含量最低, 由岩石组成特征反映出, 风化输入系统内, 迁移入径流, 对水体产生相应的影响。

(4) 两个山地雨林集水区土壤微量元素含量检测结果比较, 原始雨林土壤中 Cu、Zn、Pb、Ni、Mn 含量比天然更新林土壤相应低 9.9%、46.4%、9.3%、13.2%、31.9%, 而 Cd、As 含量相应高 18.5%、45.5%。就天然更新林土壤含量而论, 其 Pb、Cd、As、Cu 比 GM·GD 相应标准低 15%、49%、78% 和 44%, 土壤溶液在向下淋溶过程中, 向径流水体迁移也是有限的。

(5) 山地雨林天然更新林系统总径流输出的  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、酚、Pb、Cd、Cu、Zn、As、Mn、Fe 浓度含量较降雨更为优质, 各项浓度含量相应仅为地面水质标准一类的 14%、40%、27%、36%、62%、28%、18%、14% 和 2%。降雨穿过生态系统输出时, 雨林系统有效地贮滤了这些物质, 尤其对 COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、酚、Cu、Zn、Cd、Fe, 贮滤强度分别为 44.4%、23.7%、40.2%、8.9%、57.0%、27.7%、88.3%, 该系统具有较为显著的水质贮滤、净化效能。

### 参 考 文 献

- 1 曾庆波, 李意德, 陈步峰, 等. 热带林生态系统的研究与管理. 北京: 中国林业出版社, 1997. 58 ~ 61, 114 ~ 116.
- 2 樊祥熹编. 环境分析. 北京: 首都师范大学出版社, 1995. 15 ~ 54.
- 3 西南农学院主编. 土壤学. 北京: 农业出版社, 1978. 7 ~ 120.
- 4 田大伦, 朱小年, 蔡宝玉, 等. 会同杉木林小集水区环境背景值的研究. 中南林学院学报, 1989, (增刊): 85 ~ 91.
- 5 许嘉琳, 杨居荣编著. 陆地生态系统中的重金属. 北京: 中国环境科学出版社, 1995. 52 ~ 91.
- 6 陈步峰, 周光益, 曾庆波, 等. 热带山地雨林生态系统的暴雨水文功能规律的研究. 生态学杂志, 1998, (增刊): 63 ~ 67.

## Effect of Tropical Mountain Rainforest Ecosystem on Water Quality of Precipitation

*Chen Bufeng Lin Mingxian Qiu Jianrui Wu Zhongmin Zhou Tiefeng*

(The Research Institute of Tropical Forestry, CAF, 510520, Guangzhou, China)

**Abstract** Based on measuring of elements contents for rock, soil and hydrochemistry flow since 1995 in Jianfengling tropical mountain rainforest, concentration values of COD,  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ , phenol, Zn, Cu, Pb, Cd, Ni in precipitation and total runoff for two rainforest watershed were more low than that of the first standard of area water environment. Main consisting of the rock belongs to the potash feldspar in which content of Zn, Mn and Pb is high relatively for measuring of 8-weight metal. Elements migrating of rock in water is main chemistry effloresce with dissolve, hydrolyze and combustion in the system. Concentration content of COD,  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ , phenol, Zn, As, Cd and Ni in rainfall was decreased range from 32% to 82% by the canopy layer. The soil layer could bring the absorb effect on COD, Cu, Zn, Mn, Fe by net rainfall. The rainforest system could store contents of COD,  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ , phenol, Cu, Zn, Cd and Fe by rainfall input of 44.4%, 23.7%, 40.2%, 8.9%, 57.0%, 27.7%, 88.3% respectively. The tropical mountain rainforest ecosystem has a marked purify function of water quality.

**Key words** tropical mountain rainforest; water quality; purify function of water quality