

尖峰岭热带林集水区一组水质背景值 及水质生态效应*

陈步峰 林明献 曾庆波 周光益 李意德 邱坚锐

摘要 采用定位观测和多流域检测的方法, 研究分析了尖峰岭热带林集水区水质及水质生态效应, 41 个检测集水区径流 $7.01 < \text{pH} < 8.04$ 的区域占 81%, pH 值随海拔高度增加而减小; DO 6.0 mg/L 的占 90%, 随海拔高度增加而增加; BOD_5 $3.0 \text{ cm}^3/\text{L}$ 占 90%, TDS 11.1 mg/L 占 98%, 随海拔高度增加而减小, 4 项检测值为 I 类水质标准; 热带山地雨林系统对雨水中水质项的有效功能为: 径流中 DO、pH、TDS、 Mn 浓度增加, BOD_5 、总 N、总 P 浓度降低, 热带原始山地雨林系统具有良好的水质净化效益。故实施原始林保护及扩大, 对源头水保护、净化、林区居民身心健康是非常有益的。

关键词 尖峰岭热带林 集水流域水质 森林生态系统的水质效应

尖峰岭林区位于热带北缘, 是海南岛热带林的典型代表, 随着海拔梯度分布有 7 个不同的植被类型, 在区域环境生态方面发挥着巨大的作用, 尤其对涵养水源、调节河川径流、维持自然水循环和平衡、净化水质方面至关重要。结合“尖峰岭热带林生态系统净化水质功能”的定位研究及“热带原始林保护示范”(ITTO NO. 4)项目的实施, 笔者对该林区 41 个热带集水流域 5 项水质指标检测值及不同热带林生态系统对部分水质元素的贮滤功能进行研究分析, 旨在为热带林可持续经营提供科学的环境依据。

1 试验地概况

尖峰岭热带林区, 位于海南岛的西南隅, $18^{\circ}23' \sim 18^{\circ}52' \text{ N}$, $108^{\circ}36' \sim 109^{\circ}05' \text{ E}$, 总面积约 472.27 km^2 ; 为海南五大林区之一, 1 000 m 山峰 18 座, 整个山体大致呈 NE—SW 走向, 由森林源头发源的涓涓溪流, 多呈放射状汇流入海; 热带季风气候, 干湿季明显, 80%~90% 雨量集中在 5~10 月, 年均雨量 $1\,600 \sim 2\,600 \text{ mm}$, 年径流量 $1\,246 \text{ mm}$ (海拔 830 m)^[1]、 589 mm (海拔 200 m)^[2], 旱季常 3~5 个月的枯水期; 受热带风暴及台风暴雨影响频繁, 雨量分配

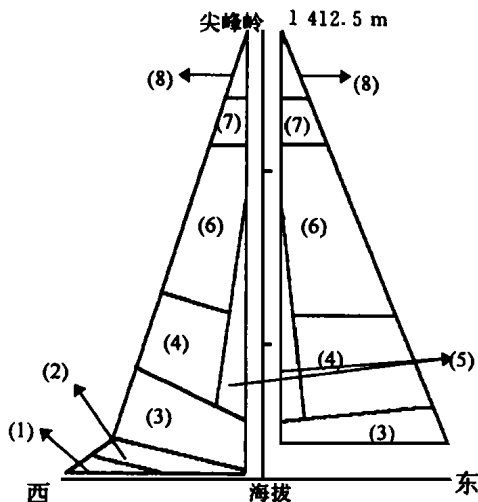


图 1 尖峰岭植被垂直分布示意

1997—09—02 收稿。

陈步峰副研究员, 林明献, 曾庆波, 周光益, 李意德, 邱坚锐(中国林业科学研究院热带林业研究所 广州 510520)。

* 本研究是中国林业科学研究院科学发展基金(9586103 1995~1997 年)项目内容及 ITTO NO. 4(1993~1999 年)定位研究部分内容。

不均匀,有效水分少,降雨为唯一的淡水补充源,林区土壤类型从砖红壤 砖黄壤 黄壤,花岗岩母质;植被类型如图 1 所示:(1)滨海有刺灌丛,(2)热带稀树草原,(3)热带半落叶季雨林,(4)热带常绿季雨林,(5)热带北缘沟谷雨林,(6)热带山地雨林,(7)热带山地常绿林,(8)山顶苔藓矮林。

2 研究方法

在热带原始山地雨林、天然更新林和皆伐地杉木幼林 3 个集水实验区分别设置自记雨量计、林内净降雨测定设施、总径流测水堰以及水质采样仪,长期定位对比监测降雨、林内净降雨、总径流物理化学量。按雨量级采集各水文要素水样带至实验室^[1]。分析元素方法:N——水杨酸固定、酸消煮、硫代硫酸钠还原蒸馏法;P——磷钼蓝比色法,Mn——浓缩、在 5% 盐酸介质中、原子吸收分光光度计法;水样中 pH、DO(溶解氧)、BOD₅(5 日生物需氧量)、TDS(溶解固体量电导率)检测方法同下:

选定林区海拔 100 m 的热带林 41 个集水检测区[森林分布见图 1 的(4)~(8)],采集径流水下 20 cm 水样,其水温、pH、DO、BOD₅、TDS 的水体含量采用瑞士梅特勒-托利多公司的便携式 Checkmate 电化学多用水质测量计现场测定,其中 BOD₅ 测定采用不稀释培养法测定。各水质元素浓度含量的统计方法采用降雨加权法和算术平均法。

3 结果与分析

3.1 尖峰岭热带林区集水径流水质的梯度变化

尖峰岭热带林在维持区域水资源供需平衡,协调人、土、水矛盾方面,以其独特的涵养水源、净化水质、调节径流的生态功能发挥着不可替代的作用,所谓“青山长在、绿水常流”,即森林是人类的水源。笔者 1997 年 5 月检测了整个林区 4 大水系的 41 个森林集水流域径流 5 项指标,结果反映出:41 个检测区水体温度均值 25.6 ($s = 1.81, cv = 7.1\%$)、pH 为 7.27($s = 0.36, cv = 4.9\%$)、DO 为 6.8 mg/L($s = 1.18, cv = 9.5\%$)、BOD₅ 为 1.76 mg/L($s = 1.18, cv = 67.3\%$)、TDS 为 20.11 mg/L($s = 9.24, cv = 45.9\%$),分别达到地面水环境质量标准类^[3],即国家自然保护区源头水;且检测径流时间在旱末、雨初森林集水区以基流水形式输出,说明森林生态系统对雨季降水的调蓄及径流水质的生化滤贮作用。检测集水区水质参数 pH、DO、BOD₅、TDS 随海拔高度的变化如图 2 所示。

由图 2 可见,尖峰岭林区集水流域中 pH 值随海拔高度变化,变异极小,极限值差为 1.78,变异系数仅有 4.9%,溶解氧 DO 检测值随海拔梯度而微量增加,极限值差 2.3 mg/L,变异系数 cv 为 9.5%;而 BOD₅ 及 TDS 随海拔变差较大,两者的检测含量极限值差分别为 4.1 mg/L、42.8 mg/L,变异系数较大,但 TDS 随海拔梯度总体呈增加趋势;森林植被及受干扰不同或恢复的经营方式不同影响水体中生物需氧量和电导率。

3.2 热带林生态系统在水循环中的水质影响效应

热带林区降雨是地面淡水的唯一补充源,热带林生态系统净化水质机能的研究是通过对降雨水质及通过不同的森林生态系统,最后以径流形式输出时的品质来加以衡量,也就是水质元素的地球化学过程,表 1 给出了定位研究的 3 个集水区及降雨水质部分项目监测结果。

雨水经大气层,携带着大气中的溶解物或漂浮物,其水质监测结果表明,尖峰岭热带山地

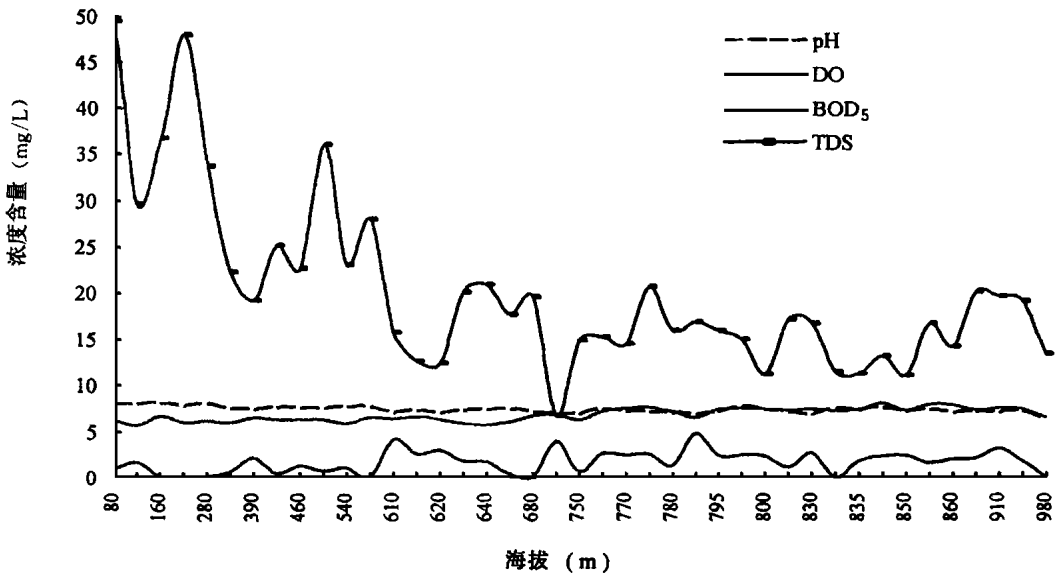


图2 尖峰岭林区水质参数随海拔高度的变化

雨林定位研究区的降水 pH 在 6.06 属微酸性, 总 N、总 P、Mn 的均值较小, 总 N 0.5 mg/L 、总 P $< 0.02 \text{ mg/L}$ 、Mn $< 0.11 \text{ mg/L}$ 以下, 反映出降水中这些元素无污染, 同时 DO、BOD₅ 的检测值也均在国家地面水质标准 Ⅲ类范围内, 降雨溶解固体量 TDS 较小。降雨与热带林冠层界面接触, 进入林内的雨水中除 BOD₅、TDS 浓度减少外, 余项均有增加, 淋溶系数反映浓度含量增加强度为 $Mn > \text{总 P} > \text{总 N} > \text{pH} > \text{DO} > \text{BOD}_5 > \text{TDS}$, 从养分循环角度衡量, 降雨 N、P、Mn 的经冠层淋溶作用, 对于生态系统物质循环产生积极效应。

表1 降雨经不同热带林生态系统后水质含量的变化

项 目	降雨	林内净降雨		3个集水区总径流					
		含量	淋溶系数 ^①	原始林	相对平衡 ^②	更新林	相对平衡 ^②	皆伐地幼林	相对平衡 ^②
pH	6.06	6.37	1.05	7.26	-1.2	7.11	-1.05	7.35	-1.29
DO (mg/L)	7.4	7.5	1.01	7.6	-0.2	7.35	0.05	7.2	0.20
BOD ₅ (mg/L)	1.95	1.8	0.92	1.73	0.22	1.95	0	2.7	-0.75
TDS (mg/L)	9.27	5.01	0.54	14.5	-5.23	16.95	-7.68	15.3	-6.03
总 N (mg/L)	0.50	0.84	1.68	0.38	0.12	0.51	-0.01	0.58	-0.08
总 P (mg/L)	0.014 1	0.042	2.98	0.007 8	0.006 3	0.016 5	-0.002 4	0.020 4	-0.006 3
Mn (mg/L)	0.003 9	0.086	22.05	0.008 5	-0.004 6	0.003 1	0.000 8	0.004 6	-0.000 7

注: ①淋溶系数= 净降雨/降雨(无量纲); ②相对平衡= 输入- 输出。

与降雨比较, 原始山地雨林系统总径流水体相应 7 项监测值反映出, pH、DO、TDS、Mn 浓度增加, 反映出该系统这一自然体本身的化学调节机能, 而 BOD₅、总 N、总 P 浓度含量减少, 系统对此产生了相应的净化贮滤作用, 如果由浓度含量粗略的计算, 该系统对此 3 项的净化强度分别达到 24.0%、44.7%、11.3%, 相对平衡值衡量(见表 1), 该系统的水文效应使水流中 pH、DO、TDS、Mn 呈增值效应, 相对平衡值为负值; 使 BOD₅、总 N、总 P 含量呈降低效应, 其相对平衡值为正。使得降雨通过原始山地雨林生态系统后的径流水质更为优质。

干扰后天然恢复(32 a)的山地雨林, 其演替阶段仅处于初级不稳定阶段, 土壤体中贮藏养

分物质较原始山地雨林系统为多,循环周转较原始林为慢,从而导致一些水化学物在地球化学循环中流失至外界环境。由径流水体 7 项测定结果反映出,总 N、总 P 的浓度分别较降雨有 2%、17% 增加强度, Mn 有 20% 降低强度;径流溶解固体总量 TDS 的含量提高较原始山地雨林系统为大,生物需氧量 BOD₅ 与降雨持平、较原始林系统为低, pH 值较降雨增高, DO 相对降雨有微量降低,反映出干扰恢复的山地雨林生态系统对降雨水质的生态效应较原始山地雨林系统差一些,但对降雨水质仍有较强贮滤效应,特别是在水循环物流量比较中得到反映^[4]。但径流水体各单项测定值为地面水环境质量的 Ⅲ类水。

相对前两个热带林生态系统,热带山地雨林皆伐后,人工更新杉木幼林(5 a)定位研究集水区的水质,7 项测定结果反映出,除 pH、TDS 较降雨有积极有益的正增加效应外,其余 5 项水质指标较降雨均有无益的增加或减少,其中增加强度较大的有 P 44%、BOD₅ 38.5%、N、Mn 增加强度在 16%~18%,而 DO 则相应减少。由于林分未达到郁闭,林地裸露多,生态系统对水分的调蓄和贮滤功能大大降低,故而径流水体较降雨增加较大,如 P 浓度含量被增至地面水环境质量 Ⅲ类标准内,而总 N 含量则在 Ⅲ类标准内,BOD₅ 接近 Ⅲ类 3.0 mg/L;如果与热带原始山地雨林或更新林生态系统相应径流测定项目相比就更差了。

由降雨通过 3 个不同热带森林植被的生态系统径流 7 项水质指标对比可见,热带原始山地雨林生态系统对降水水质有极其有意义的贮滤效应,即该系统的作用结果是有利于人类所期望的,7 项指标均达到国家地面水环境质量的 Ⅲ类标准,反之皆伐热带林则导致水质变差,因此实施对热带林的经营方式要严格控制,才能保持热带雨林生态系统这种环境效应。

3.3 不同植被类型及经营集水区水质状况

实施热带林分类经营是从根本上解决热带林保护区居民的经营方式,减轻对热带森林资源消耗的压力;热带林生态功能规律研究是从科学的角度论证热带林的环境生态效益,将热带林生态系统的水化学贮滤功能研究扩展到 ITTO NO. 4 项目功能实施区,检测结果列于表 2。

表 2 尖峰岭不同森林植被及功能分区集水流域径流水质 4 项检测均值

集水区 森林类型	ITTO NO. 4 功能区	项目	pH	DO (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	TDS (mg/L)	检测集水区 _n 采水海拔(m)
原始山地 雨林集水 流域	核心保 护区	检测范围	6.98~7.49	7.2~8.0	0.1~2.4	11.3~20.1	7
		平均	7.26	7.6	1.73	14.5	830~880
		cv(%)	2.38	4.09	44.11	21.30	
天然更新 山地雨林 集水流域	保护缓冲 实验区	检测范围	6.74~7.16	6.3~7.5	1.2~3.2	11.1~19.6	7
		平均	7.00	7.20	2.41	16.02	650~930
		cv(%)	2.04	5.67	28.17	19.98	
天然更新林 + 人工杉木 幼林流域	生态经营 试验区	检测范围	7.08~7.35	6.3~7.6	0.1~2.7	14.5~20.7	6
		平均	7.16	7.25	1.98	17.53	680~775
		cv(%)	1.57	4.83	54.78	15.22	
更新林+ 种养体系 集水流域	自养体系 经营区	检测范围	6.84~7.06	6.3~7.4	0.7~4.8	6.7~16.9	6
		平均	6.92	6.84	2.68	14.1	750~775
		cv(%)	1.24	6.04	57.39	26.62	
热带常 绿季雨 林集水区	扩大的 核心保 护区	检测范围	7.21~7.62	5.7~6.5	0.1~2.2	17.7~36.0	9
		平均	7.42	6.17	1.12	23.66	390~650
		cv(%)	1.81	4.32	61.83	22.29	
常绿季雨林 + 人工林、 种养集水区	热带林 经营示 范区	检测范围	7.44~8.04	5.7~6.7	0.1~1.8	22.3~49.5	6
		平均	7.85	6.15	0.67	36.65	100~350
		cv(%)	2.72	5.03	89.41	26.29	

由检测结果反映出: 热带原始山地雨林(即核心保护区)流域集水径流水质 4 项检测均值为最优质的源头水, 其次是天然更新的山地雨林加杉木幼林流域、天然更新山地雨林流域, 而山体中上部为天然更新林、下部为种养果树经营的集水流域(即自养系统经营功能区)检测值较差, 主要体现在检测 BOD₅ 较高, 尽管检测平均为 2.68 mg/L, 接近国家地面水质 I 类标准 3.0 mg/L, 但超出标准也有部分区域, pH 6.92、DO 6.84 mg/L 在 I 类水质标准内。由检测单项指标看, 低海拔热带常绿季雨林流域, BOD₅ 检测均值为最小, 但变异系数大于原始山地雨林、天然更新林流域检测变异值; 总溶解固体量电导率 TDS 均值, 也是以低海拔的热带常绿季雨林流域为高, pH、DO 检测均以原始山地雨林、更新林较好, 分别为 7.0~7.26、7.2~7.6 mg/L, 常绿林和更新林间种养流域 pH < 7.0 或 > 7.4, DO 在 6.15~6.84 mg/L, 而水体溶解离子量在山地雨林原始林流域小于自养经营流域。

由此检测各功能区水质表明, 尖峰岭热带林保护核心区、缓冲科学试验区及扩大的核心区, 其森林植被为原始山地雨林、常绿季雨林, 检测结果反映出热带森林生态系统对水质的生化贮滤作用是积极有益的, 检测值较好也较稳定; 而干扰热带林或采用各种种养经营, 人为活动对流域水质具有一定程度的影响, 但各流域 4 项检测值均在国家地面水环境 I 类标准以上, 仅有 3 检测集水区径流 BOD₅ 超出 I 类 3.00 mg/L, 但经汇流过程中的疏导、自净, 其下游河段检测值 2.6 mg/L, 总体水质是优质的源头水。

ITTO NO. 4 项目功能分区将核心在原有的 77.68 km² 上扩大了 80.0 km², 范围扩展到南崖 2 林班、南中林场 18 林班、南望林场的 5 林班和卫东林场 6 林班, 植被为热带常绿季雨林, 同时扩展到天池林场 6 林班, 森林植被属天然更新山地雨林, 规划的科学实验与生态经营区, 面积 290.32 km², 约有人口 8 200。实施核心保护区的扩大对于热带林流域源头水质的保护是非常有意义的, 有利于发挥热带林生态系统的环境生态效应和调蓄水源、贮滤水质有害物质, 改善生态经营区居民的生活和健康水平。

4 小 结

(1) 尖峰岭热带林具有良好的涵养水源、调节径流、防治雨季山洪暴发功能, 同时集水流域检测 4 项结果表明, 尖峰岭热带林区集水流域水质 pH > 7.01 以上流域占 80.5%, DO > 6.0 mg/L 的检测流域占 90.2%, DO > 6.5 mg/L 的检测区占 63.4%, BOD₅ < 3.0 mg/L 检测流域占 90.2%, 其中 BOD₅ < 1.0 mg/L 占 32.4%, 径流溶解固体总量 TDS < 11.1 mg/L 的检测流域占 97.6%。森林集水区径流水质 4 项检测结果达到或接近国家地面水环境质量 I 类水质标准。

(2) 尖峰岭热带林区集水流域径流 4 项水质检测值随海拔的变化趋势为: pH 值随海拔的梯度上升呈极微的减小, DO 随海拔梯度呈极微的增加趋势, 两者分别以 7.27 和 6.8 mg/L 为增减均值, 变异系数小; 水体溶解固体总量 TDS 随海拔梯度变化, 检测值变异幅度大, 但总的趋势是随海拔增加而减小; 而 BOD₅ 检测值随海拔增加不呈变化规律。

(3) 3 个不同热带林生态系统水质 7 个项目的地球化学过程研究表明, 降雨经热带原始山地雨林生态系统后, 径流中 pH、DO、TDS、Mn 浓度提高, BOD₅、总 N、总 P 浓度减少, 这种效应对水质环境非常有益, 即森林生态系统这一自然体本身在水质生态功能方面具有有效作用。降雨经天然更新山地雨林生态系统后, 径流总 N 浓度较降雨有 2% 的增加, 系统对应检测项目的

作用较原始林系统较差一些,而皆伐地幼林生态系统,水文过程中较大强度地增加了径流中 P、BOD₅、N、Mn 浓度,减少了径流中 DO 浓度含量,说明杉木人工幼林系统对水质的有效作用几乎消失。

(4) 尖峰岭不同森林植被集水区水质检测结果表明,核心保护区及扩大核心区即为热带原始山地雨林、常绿季雨林植被的森林流域水质 4 项指标最好,其次是属热带天然更新山地雨林的科学试验和生态经营试验区水体水质,而干扰恢复后的热带林为种养经营集水流域水质 4 项指标较差,因此 ITTO NO. 4 项目实施扩大热带林核心保护区,对于源头水的保护、充分利用森林环境效益,为林区居民提供优质生活饮用水及增进健康是非常有益的。

参 考 文 献

- 1 曾庆波,李意德,陈步峰,等. 热带林生态系统研究及管理. 北京: 中国林业出版社, 1997. 156 ~ 165.
- 2 蒋有绪,卢俊培. 中国海南岛尖峰岭热带林生态系统. 北京: 科学出版社, 1991. 196.
- 3 樊祥熏编. 环境分析. 北京: 首都师范大学出版社, 1995.
- 4 陈步峰,周光益,曾庆波,等. 热带山地雨林生态系统水文化学循环规律的研究. 林业科学研究, 1997, 10(2): 112 ~ 117.

The Background Value and Ecological Effect of Water Quality of Tropical Forest Catchment in Jianfengling, Hainan Island

Chen Bufeng Lin Mingxian

Zeng Qingbo Zhou Guangyi Li Yide Qiu Jianrui

Abstract The water quality and ecological effect of tropical forest watershed were studied using the located and more watershed measuring in Jianfengling. The measured results in the 41 forest watersheds with 4 indexes of water quality show that there is high quality water in the forest watershed that is a fine natural water. The effects on water quality of tropical rainforest with water cycle were that the concentration of the BOD₅, N, P in total runoff was decreased and that of the DO, pH, TDS, Mn in total runoff was increased. The virgin forest ecosystem has purifying function on the BOD₅, N, and P in precipitation and make contents of the DO, pH, TDS in runoff achieve the high quality standard. So, the protection and expansion of virgin forest has produced beneficial effects on purification of water and health of inhabitants in forest.

Key words tropical forest of Jianfengling water quality in the forest watershed the effect of the forest ecosystem on water quality