

# 武夷山九曲溪水体营养水平与原生动物群落变化相互关系研究

冯伟松<sup>1</sup> 范小鹏<sup>2</sup> 沈韫芬<sup>1</sup> 余育和<sup>1</sup>

(1. 中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072; 2. 华中科技大学环境研究所, 武汉 430074)

摘要: 2000年研究了武夷山九曲溪水体的营养状态与原生动物群落结构关系。发现并非水越清洁 PFU 原生动物种类就越多, 这要决定于水体的营养状况。当水体是贫营养时, 水越清洁, PFU 原生动物种类反而会越少。研究结果表明, 即使在低营养水平的水体中, PFU 法一样能准确反映人类活动对当地水环境的影响。

关键词: 武夷山; 水体营养水平; 原生动物群落

中图分类号: X171 文献标识码: A 文献编号: 1000-3207(2003)06-0580-04

原生动物作为河流生态系统中一个重要的组成成分, 在水域生态系统的能量流动和物质循环中发挥着十分重要的作用<sup>[1]</sup>。当水体受到污染时, 原生动物的群落结构会发生变化。

在河流污染与原生动物群落变化的关系方面, 国内已有许多报道<sup>[3-11]</sup>。其中许木启等在这方面做了较多工作, 研究结果认为: 从 PFU 原生动物及其综合指标来分析, 受重金属、酸性矿山废水等无机污染的河流与受有机污染河流存在明显差异。在受有机物污染的河流中, 一般来说 PFU 的群集速度相对要快, 即使在较严重污染的河段也能在 1d 暴露时间内群集到若干种类。而在强酸性高浓度重金属污染的河段, PFU 的群集速度为零。另外, 在有机污染的河流原生动物的个体数量、生物量均较高, 而受重金属污染的河流中, 个体数量和生物量均较低。这种情况除了与河流的营养成分和浓度高低有关外, 毒物的性质也是限制原生动物丰度的主要因素。他们根据自己的研究结果并综合前人的研究总结出如下规律: 为了简便快速的目的, 把 PFU 内原生动物种类与河流水质关系大体划分为如下 6 个等级: 0 种—严重污染; 1—10 种, 重污染; 10—20 种, 中度污染; 20—30 种, 轻度污染; 30—40 种, 比较清洁; > 40 种, 清洁水体<sup>[7]</sup>。

然而, 对于无污染、非常清洁、甚至是贫营养的河流中 PFU 原生动物群落如何, 上述原生动物种类与河流污染程度关系的 6 个等级又能否应于此种

类型的河流。2000 年 11 月在武夷山九曲溪就这一问题做了相关的研究。

## 1 研究方法

**1.1 研究环境概况** 武夷山风景名胜区主要境区方圆 70km<sup>2</sup>, 平均海拔 350m, 属典型的丹霞地貌, 素有“奇秀甲东南”之美誉, 其主要河流九曲溪更是有武夷魂之称, 由此也可见其清洁程度。这条发源于武夷山脉主峰—黄岗山西南麓, 澄澈清莹, 红星村镇由西向东穿过武夷山景区, 盈盈一水, 折为九曲, 因此得名。九曲溪面积为 8.5km<sup>2</sup>, 全长约 9.5km。在九曲溪下游, 也就是一曲的尽头, 另一条溪流: 崇阳溪与之交汇。

**1.2 采样站设置** 采样站位置见图 1。九曲溪发源地黄岗山桐木村为 I 站, 作为化学监测的对照点。九曲溪以上人类活动较少的设置为 II 站; 人类活动较多的二曲为 II 站; 崇阳溪上游为 IV 站; 人类活动影响最大的武夷宫, 设置为 V 站; VI 站设在两溪交汇后的下游。由于 I 站位于黄岗山之上往来十分不便, 而 II 站也是在无人类活动影响的地方, 因此将其作为其他后序站点的对照。

**1.3 样品采集** 采集原生动物采用 PFU (Polyurethane Foam Unit—聚氨酯泡沫塑料块) 人工基质, 其规格为 5×6.5×7.5cm 的小块, 将 PFU 块悬挂在各采样站的水中, 暴露天数为 3d。定性、定量观察方法见文献 2。

收稿日期: 2002-10-10, 修订日期: 2003-06-18

基金项目: 国家重点基金项目(37730070); 中国科学院知识创新工程重大项目(KZCX1-SW-12)资助

作者简介: 冯伟松(1961—), 男, 湖北武汉市人; 副研究员; 从事原生动物生态学研究

**1.4 多样性指数的计算** 多样性指数 D 值的计算按照 Margalef :  $D = S - 1 / \ln N$ 。D= 多样性指数; S= 种类数; N= 个体数。D 值的高低表明种类多样性的丰富与贫乏, 可指示水质的优劣程度。

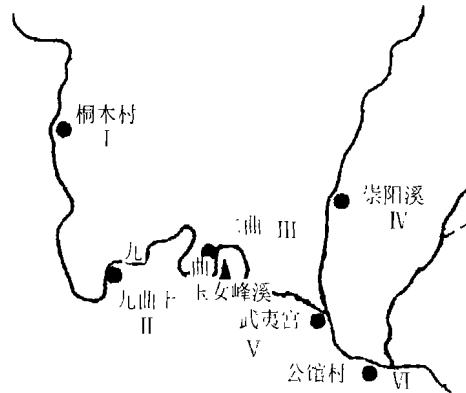


图 1 武夷山采样站示意图

Fig. 1 The map of Wuyi Mountain showing the sampling locations

**1.5 植鞭毛虫百分比** 植鞭毛虫(自养性的鞭毛藻类)在 PFU 原生动物群落当中所占百分比, 它反映出原生动物群落中自养生物和异养生物的比例。

## 2 结果

### 2.1 武夷山水系水质状况

在进行生物采样的同时, 分别对上述 6 个采样点进行水化学测试(表 1)。监测结果表明其水质优良, 属国家水质分类的 I 类。

### 2.2 武夷山原生动物的种类组成

共检测到原生动物 68 种, 其中鞭毛虫 32 种, 肉

足虫 9 种, 纤毛虫 27 种。试验过程中镜检到一些只在非常清洁的水体中存在的种类, 如: 三足虫(*Trinectes*)、磷壳虫(*Euglypha*)等。这从另一方面显示武夷山九曲溪及崇阳溪两条溪流的水质优良。

表 1 武夷山水系水质状况

Tab 1 The water quality of Wuyi Mountain water system

项目 Items	I	II	III	IV	V	VI	地面水质 标准 I 类
pH	6.8	6.8	6.7	7.1	6.5	7.1	6.5—8.5
COD <sub>cr</sub> (mg/L)	1.64	2.69	3.92	2.15	3.77	1.08	15 以下
T-P(mg/L)	0.015	0.015	0.025	0.047	0.020	0.019	0.02
T-N(mg/L)	2.36	4.78	3.36	5.72	5.67	5.67	10 以下
电导(μS/cm)	0.9	1.0	1.1	2.5	1.3	2.0	—

### 2.3 武夷山原生动物群落结构分析

由表 1 中的化学参数, 可以看出九曲溪与崇阳溪的水质优良, 属于国家地面水环境质量标准所列的 I 类水体, 为最清洁的水体。II 号采样站所得到的群落结构参数与其他站相比是比较小的。常规来说, 水质越好种类越多。似乎 II 站所得到的结果有悖于这一规律。其实, 正是由于水质太好才造成这样的结果。这是因为, 九曲上 II 站几乎不存在人类活动对水体的影响, 其水体为最清洁水体。在这样的生境中, 营养成为了生物生长的限制因素。所以 II 站的物种数、多样性指数、丰度才会相对较低。至于植鞭毛虫百分比, 虽然低于 III、IV、VI 号采样站, 但仍有 39.3%, 与其他生境比较是相当高的<sup>[12]</sup>。自养生物占总栖息生物的比例较高。

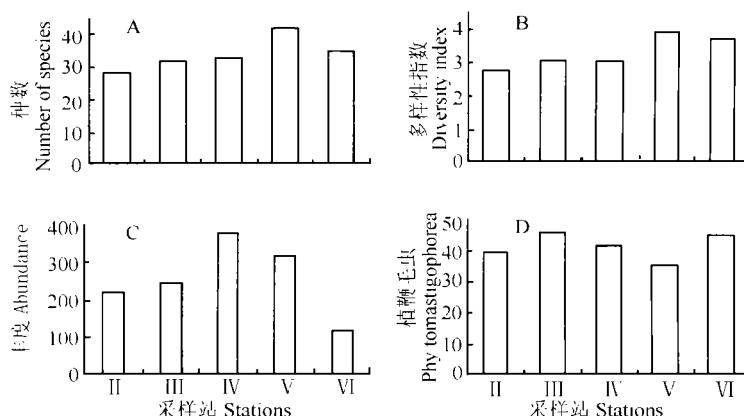


图 2 武夷山原生动物群落结构参数

Fig. 2 The structural parameters of protozoan community in Wuyi Mountain A: 物种数 Number of species B: 多样性指数 Diversity Index C: 丰度 Abundance D: 植物鞭毛虫% Percentage of Phytomastigophorea

为了更清楚地表明各采样站原生动物群落参数的变化, 将原生动物群落参数分别作柱状图。如图 2.A 所示, 5 个采样站的原生动物种数按从上到下, 逐渐增大, 随之又降低。这反映了人类活动对该生境的影响状况。在溪流的上游, 人类活动对水体的影响较小, 水体营养十分贫乏。所以 II 号采样站的物种数较少。而到中下游时, 水体营养开始逐渐增加, 物种数也开始上升( III、IV)。两条溪的交汇处武夷宫( V), 也是武夷山景区的中心, 人类活动最为密集, 所受影响较大。因此 V 站的物种数量最多。在两条溪交汇后的下游, 由于水体的自净致使营养物降解, 所以公馆村采样站( VI) 物种数也有所降低。

在图 B、C、D 中, 其他三个参数也基本反映出相同规律。本次试验中的植鞭毛虫百分比, 较其他生境高。如范晓鹏等发现植鞭毛虫的百分比只有 15%<sup>[12]</sup>。说明武夷山水系是自养型水体。

分析所测的化学参数(表 1), 得到与生物监测结果同样的规律。即从发源地到中游景区中心, 再到下游(公馆村), 水质指标由小变大, 再变小。

### 3 讨论

**3.1 根据化学及生物监测结果, 对照水体国家标准, 武夷山水体属贫营养型水体。**本次生物监测结果, 能充分反应人类活动对武夷山水系的影响。虽然武夷山水体属于国家地表水的 I 类水体, 但 PFU 法仍然监测出人类活动的轻微影响所引起的原生动物群落的微小变化(图 2)。许木启等提出的原生动物群落多样性指数 d 值与河流污染程度关系的 6 个等级<sup>[7]</sup>, 是基于污染水体提出的, 它有清洁水、轻度污染、中度污染、重污染和严重污染之分。但武夷山水系并不在此范围内, 而是清洁水体。

**3.2 分析试验结果发现, II 号采样站水质最好,**然而其群落结构参数却比其他后续站要低。陈建等对 PFU 微型生物群落水质鉴别及群落参数变化模式做了研究<sup>[4]</sup>, 表明在不同的水质范围内, 群落参数与化学综合污染指数的相关强度和相关方向是不同的, 存在一个转折区。如图 3 所示, 当水质范围从十分清洁过度到严重污染之间存在一个转折区, 在这个转折区内 D、Seq 和 T90% 与化学综合污染指数 P 的相关性将发生逆转, 由正(负)相关转变为负(正)相关, HI 和 G 与 P 的正相关性由不显著转变为正相关显著。

俗语说“水至清则无鱼”道出了一个常见的生态学现象, 即在最清洁的水体中物种多样性反而要低。

陈建等所提出的水质鉴别及群落参数变化模型, 从理论上解释了这一现象<sup>[4]</sup>。本研究中, 按 V、IV、III、II 顺序, 水质从清洁到最清洁过度, 原生动物群落结构参数反而降低。这一试验结果符合陈建所提出模型, 也再次证明该模型能解释“水清则无鱼”这一生态学现象。

### 参考文献:

- [1] Finlay B. J. Esteban G. F. Freshwater protozoa: Biodiversity and ecological function [J]. *Biodiversity and conservation*, 1998, 7, 1163—1186
- [2] China State Bureau of Technical Supervision and China EPA, 1992. National Standard of PRC, 〈Water Quality-Microbial Community Biomonitoring PFU Method〉(GB/T12990.91) [M] Beijing: Chinese Standard Press. 1—154. 中国国家技术监督局, 国家环保局. 1992. 中华人民共和国国家标准《水质—微型生物群落监测—PFU法》(GB/T12990.91). 北京: 中国标准出版社, 1—154
- [3] Bai Q S, Xu R L, Xu X B, et al. Study on the influence of the tides on the colonization of protozoan communities [J]. *Act Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 1996, 35(2): 99—102. 白庆笙, 徐润林, 徐显波, 等. 潮汐对原生动物群落群集过程影响的研究. 中山大学学报(自然科学版), 1996, 35(2): 99—102
- [4] Chen J, Shen Y F. Discrimination of water quality based on PFU microbial communities and changing pattern of microbial parameters [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2000, 20(2): 156—161 [陈建, 沈韫芬. 微型生物群落水质鉴别及群落参数变化模式的研究. 环境科学学报, 2000, 20(2): 156—161]
- [5] Gao A Z, Zhang T G. Research of interrelation between equilibrium period of protozoan and pollution index in Fenhe River [J]. *J. of Shanxi Teacher's University (Natural Science)*, 2000, 14(4): 73—76 [高爱枝, 张铁刚. 汾河水体中原生动物平衡期与水体污染指数相关性的研究. 山西师范大学学报(自然科学版), 2000, 14(4): 73—76]
- [6] Shen Y. F, Feng W. S., Gu M. R. Monitoring of river pollution [M] Beijing: China Architecture & Building Press, 1994[沈韫芬, 冯伟松, 顾曼如等. 河流的污染监测. 北京: 中国建筑工业出版社, 1994]
- [7] Xu M Q. Evaluation of self purification efficiency of Fuhe Stream—Baiyangdian Lake through zooplankton [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1996, 20(3): 212—219 [许木启. 从浮游动物群落结构与功能的变化看府河—白洋淀水质的自净效果. 水生生物学报, 1996, 20(3): 212—219]
- [8] Xu M. Q, Wang Z J. Monitoring of heavy metal pollution in the Lean River and Poyang Lake with zooplankton [J]. *Chin. J. Appl. Environ. Biol.*, 1996, 2(2): 169—174 [许木启, 王子健. 利用浮游动物群落结构与功能特征监测乐安江—鄱阳湖口重金属污染. 应用与环境生物学报, 1996, 2(2): 169—174]
- [9] Xu M Q, Zhai J J., Shao Y Y. Water quality in Beijing Tonghui River, Using PFU protozoan communities as indicators [J]. *Chinese Journal of Zoology*, 1998, 33(4): 1—7 [许木启, 翟家骥, 邵永]

- 怡. 利用 PFU 原生动物群落多样性快速监测北京通惠河水质. 动物学杂志, 1998, 33(4): 1—7]
- [10] Xu M. Q. A study on applying PFU protozoan community to monitor the self purification effectiveness of the Beijing wastewater canal[J]. *Act Ecologica Sinica*, 1991, 11(11): 80—85[ 许木启. 利用 PFU 原生动物群落监测北京排污河净化效能的研究. 生态学报, 1991, 11(1): 80—85]
- [11] Yang H J., Zuo B R, Yuan J. F, et al. Assessment of water quality of Huangpu River by comprehensive index of microbial communities [J]. *J. of Shanghai Teacher's Univ. (Natural Sciences)*, 2000, 29(4): 78—85[ 扬红军, 左本荣, 袁峻峰. 用微型生物群落综合指数评价黄浦江水质. 上海师范大学学报(自然科学版) 2000, 29(4): 78—85]
- [12] Fan X P, Shen Y F. Effects of environment factors on the characteristics of protozoan community [J]. *Chin. J. Appl. Environ. Biol.* 2001, 7(6): 554—557[ 范晓鹏, 沈韫芬. 环境因素对原生动物群落特征的影响. 应用与环境生物学报, 2001, 7(6): 554—557]

## STUDY ON THE RELATIONSHIP BETWEEN THE PROTOZOAN COMMUNITY STRUCTURE AND THE NUTRITION LEVEL OF JIUQUXI BROOK IN WUYI MOUNTAIN

FENG WeiSong<sup>1</sup>, FAN XiaoPeng<sup>2</sup>, SHEN YunFen<sup>1</sup> and YU YuHe<sup>1</sup>

(1. Institute of Hydrobiology, The Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072;

2. College of Environmental Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)

**Abstract:** We described at the present study that the relationship between the protozoan community structure and the nutrition level of Jiuquxi Brook in Wuyi Mountain based on the PFU (Polyurethane Foam Unit) method. Six sampling locations were investigated in Jiuquxi Brook in Wuyi Mountain in November, 2000. It was found that the water quality in six sampling locations was at Grade I of national standard. 68 species protozoa including 32 species flagellates, 9 species amoebae and 27 species ciliates were observed. The species, the diversity index and the abundance of the protozoan community in each station of Wuyi Mountain were very low. It can be concluded that the cleaner the water, the less PFU protozoan species exist. However, our data showed that species abundance also depended on the nutrition level of the water body. That is to say, when the nutrition is under certain value, it is generally believed that the cleaner the water, the fewer the PFU protozoan species exist. This conclusion just accords with the relation model of the water quality evaluation and community structure parameters set up by Professors Chen Jian and Shen Yunfen. There is a transition area in a wild field of water quality. Correlative intensity and correlative direction between community structure parameters and comprehensive chemical pollution index are different. In the transition area, the correlation between comprehensive chemical pollution index and diversity index(D), species number at equilibrium (Seq) and time needed to reach 90% Seq(T90%) positive one ( negative) to negative one ( positive). the positive correlation between heterotrophic index(HI), constant for colonization rate(G) and comprehensive chemical pollution index(P) turns distinctness (undistinctness) to undistinctness (distinctness). In the end, even in the condition of low nutrition level stream, the PFU method could properly reveal the influence of human activity on local aquatic environment.

**Key words:** Wuyi Mountain; Nutrition level; Protozoan community