

长江上游原生动物的群落生态学研究

郑金秀, 胡菊香, 周连凤, 马沛明, 王 翔, 吴生桂

(水利部中国科学院水工程生态研究所, 湖北 武汉 430079)

摘要: 于2003~2007年采集了长江上游通天河至三峡水库的原生动物样品, 对长江上游地区原生动物的分布情况作了较全面的调查。该调查共设93个采样站点, 其中通天河—重庆在长江干流设38个采样站, 支流设22个采样站, 三峡库区设33个采样点, 每年丰水期和平水期各采集1次。调查结果表明, 长江上游共检出309种原生动物, 隶属于60科106属, 其中通天河至金沙江段检出140种, 水富—重庆江段检出90种, 三峡水库检出245种。金沙江段优势种为砂壳虫、匣壳虫、表壳虫和圆壳虫; 水富—重庆段优势种为砂壳虫、匣壳虫及巢居法帽虫; 三峡库区种类较为丰富, 除了砂壳虫科和表壳科依然占据优势外, 筒壳虫、变形虫、颌鞭虫、吸管虫和钟虫也逐渐增多, 成为一些区域的优势种。三峡水库检出的原生动物种类多于上游河流段, 其中有125种只在三峡库区检出。与1990年三峡地区原生动物资料相比, 库区的群落结构发生了明显变化。随着水库水文情势的变化, 原生动物种类组成也由以有壳肉足虫为主的河流型逐渐转变为以纤毛虫占优势的静水型种类。

关键词: 长江; 三峡; 原生动物; 群落; 生态学

中图分类号: Q178.1⁺4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-3075(2009)02-0088-06

原生动物是生物生态系统中的重要一员, 无论是陆生环境或水生环境的动物区系中, 原生动物都占据了从初级生产者到消费者和分解者的一系列营养等级。它们在自然界生态系统的营养循环中起重要作用, 在生态学研究是不可忽视的方面。另外, 原生动物群落演变与河流生态环境的改变关系密切, 它们的种群动态和群落结构与功能的变化直接或间接地反映着水体的状况及其发展趋势 (Paolo Madoni, 1993; Finlay B J & Esteban G F, 1998)。

我国关于长江中原生动物的研究较少, 只见到三峡地区、长江口、长江洞庭湖口、沱沱江和重庆江段的零星报道, 且主要集中在20世纪80~90年代 (韩德举和胡菊香, 1995; 宋碧玉, 2000; 龚循矩等, 1990; 舒俭民等, 1998; 苏良栋等, 1988; 姜兴义和盛和明, 1987)。目前尚未见到三峡蓄水后原生动物的相关研究, 也未见到长江流域系统的分布调查, 尤其是上游金沙江段。因此, 对长江上游及三峡库区的原生动物作全面调查, 对其生态学进行研究, 不仅能为我国原生动物的地理分布状况提供基础数据, 大大丰富我国河流和水库生态学的内容, 也可通过

原生动物的演变揭示河流—水库生态系统的改变过程, 对水利工程建设的环境影响作出预测。

长江按其河谷的形态特征可以宜昌为界分为上下2段。宜昌以上, 河谷狭窄, 水流湍急, 河床多系石质, 侵蚀作用占优势; 宜昌以下, 河谷宽广, 水流缓慢, 堆积作用盛行, 造成沿江冲积平原。本研究为长江上游, 即宜昌以上江段。上游江段又可分为若干小段, 如下: 通天河段——青海省玉树县直门达以上称为通天河, 全长1100 km, 河谷宽广多草原; 金沙江——直门达以下至宜宾称为金沙江, 全长约3100 km, 该江段又以攀枝花为界分为金沙江上游和金沙江下游, 河流穿行于峡谷之中, 水流湍急; 川江段——宜宾至重庆, 长约830 km, 川江沿途接纳岷江、沱江、嘉陵江、赤水河等众多支流, 江面变宽, 平均流量增加到11000 s/m²; 三峡段——重庆至宜昌, 全长约200 km。三峡水库自2003年蓄水135 m以来, 水位不断上涨。2008年11月试验性蓄水到172 m, 水库将在145~175 m水位之间运行, 变幅30 m, 其回水区已到达重庆主城区。

通天河位于长江源头, 河床海拔高3000~4000 m, 属高寒气候区, 多年平均气温在0℃以下。金沙江上游属寒温带山地季风性气候, 下游为亚热带干热河谷季风气候。宜宾—重庆属亚热带季风性湿润气候。三峡库区处于我国亚热带东部气候区和西部气候区的过渡地带, 年平均气温16.5~19.0℃。

收稿日期: 2009-02-27

基金项目: 国家自然科学基金重大项目 (30490233); 科技部水利部公益性行业科研专项 (200701008); 水利部公益性行业科研专项 (200701029)。

作者简介: 郑金秀, 1979年生, 女, 助理研究员, 主要从事环境生物及生态学研究。E-mail: surexxzh@126.com

1 材料与方法

1.1 采样点设置

2003~2007 年对长江上游原生动物分布状况进行了调查。2005 年 5 月、10 月调查了通天河至金沙江上游江段,2006 年 5 月、10 月调查了金沙江下游江段,2006~2007 年调查长江上游宜宾—重庆江段。三峡水库蓄水前于 2003 年 5 月进行河流状态的采集,2004~2006 年每年 5 月、10 月进行采集。整个调查一共设置 60 个采样断面,其中长江干流 38 个,支流 22 个,库区干流(主航道)设 16 个,支流设 17 个。调查设计断面位置详见图 1。

1.2 样品处理

原生动物定性样品用 25 号浮游生物网(孔径为 30 μm)大范围拖捞获得,取 50 mL 用 5% 的福尔

马林固定。河流定量样品用 2.5 L 采水器采水 10 L,混合后取 2 L 水立即用 15% 的鲁哥氏液固定,若泥沙含量过高,则用 20% 的鲁哥氏液固定。三峡水库成库后,定量样品用 2.5 L 采水器于 5 个深度(0、5、10、20、40 m)各采水 5 L,混合后取 2 L 水用 15% 的鲁哥氏液固定。所获样品均带回实验室进行分类、鉴定(沈韞芬等,1990;中国科学院青藏高原综合科学考察队,1983)。

2 结果与分析

2.1 长江上游原生动物种类组成及分布

2.1.1 种类组成 经过多年的调查,共采集到长江上游原生动物 60 科 106 属 309 种。各江段原生动物种类数见表 1。依水流状态,将长江上游分为河流段和水库段,即从通天河至重庆为河流段。

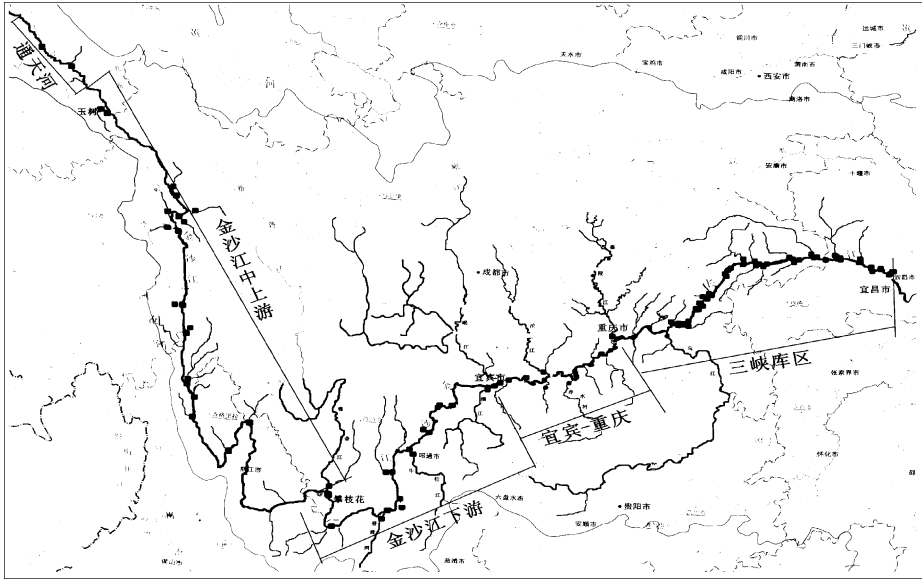


图 1 长江上游采样点设置示意

Fig.1 Sampling sites in upper reaches of the Yangtze River

河流段上共检出原生动物 188 种。在种类组成上,由于流水状态不适宜纤毛虫生长,故长江上游河流段的肉足虫比例要显著大于纤毛虫。从河流上游到下游,纤毛虫的比例逐渐增多,以重庆段最多。其原因主要是城市河流流速较缓,且岸上多礁石,河中多船舶,为原生动物创造了相对静水的小生境。除此之外,河流中的营养物质也对原生动物的生长起了重要作用。宜宾—重庆人口密集、工业相对上游发达,其过境河流容纳了许多生活污水和工业废水,使河流中营养物质显著增多,进而促进了以食菌—碎屑为主的纤毛虫的大量繁殖。

三峡库区共检出原生动物 245 种。随着水库蓄水,原生动物种类数 2003~2005 年逐年增多,2006

年则开始下降。而纤毛虫所占比例却在 2006 年首次大于肉足虫比例。多年的研究观察发现,水库蓄水之后原生动物的变化都有一个从增多到减少到稳定的过程。这是由于蓄水后水流相对静止,泥沙和碎屑下沉,上游随泥沙而来的原生动物也在库前蓄积;此外水文条件的改变也为原生动物的生长繁殖提供了有利条件。这是库区原生动物 2003~2005 年逐年增多的原因。随着蓄山水位的升高,水环境的日趋稳定,在水体温跃层以下,除了厌氧种类和底栖种类,基本上找不到浮游的原生动物,因此采集到的原生动物较之前明显减少。而水库环境稳定后,适宜静水环境的纤毛虫逐渐占据优势,成为库区主要的群体。

表 1 长江上游各江段原生动物种类组成

Tab.1 Species composition of Protozoa in upper reaches of the Yangtze River

河段	通天河	金沙江上游	金沙江下游	宜宾—重庆	三峡库区			
时间	2005 ~ 2006 年	2005 年	2006 年	2006 ~ 2007 年	2003 年 *	2004 年	2005 年	2006 年
种类数	20	59	126	90	99	113	125	85
肉足虫比例/%	85	77.97	65.08	55.56	59.6	67.26	59.20	44.71
纤毛虫比例/%	15	22.03	34.92	44.44	35.35	32.74	40.80	55.29

* 2003 年三峡库区检出 5 种鞭毛虫,占 5.05%。

2.1.2 区域分布 原生动物大多是世界性分布的种类,它们的适应范围很广。从长江源头高寒地区到三峡库区亚热带季风气候区,原生动物都有分布,其出现的种类并没有很大的变化,只是在采集到的种类数量和出现频次上各个江段有差别。原生动物可以生长的温度多为 0 ~ 35℃,最适温度 10 ~ 25℃ (沈韞芬,1999)。源头低温的气候条件一定条件上抑制了原生动物的生长,在通天河 2 个站点共检出原生动物 20 种,种类组成相对简单,主要是表壳虫、圆壳虫、匣壳虫、砂壳虫等肉足虫和 3 种纤毛虫,肉足虫出现的种类也不多。金沙江上游属寒温带山地

季风气候区,金沙江下游是亚热带干热河谷季风气候,随着温度升高,原生动物出现的种类逐渐增多。金沙江上游检出种类 59 种,下游检出 126 种。

长江流域水系众多,干支流上都有大量原生动物分布。现比较河流段干支流原生动物分布情况,见表 2。可以看出除了金沙江上游干支流种类数相当外,其余江段支流中的种类要显著多于干流。以整个河流段计,干支流采样点数量相当,干流为 27 个,支流为 29 个,但支流检出种类为 222 种,干流仅为 166 种。这种分布状况与干支流的河流生境不同有关。

表 2 原生动物在长江上游干支流的分布状况

Tab.2 Protozoan distribution in the upper reaches of Yangtze River and and its tributaries

河段	通天河	金沙江上游		金沙江下游		宜宾—重庆	
河流类型	干流	干流	支流	干流	支流	干流	支流
采样点数	2	11	9	10	9	4	11
种类数	20	48	40	78	100	20	82
优势种 出现频次	表壳圆壳虫 1 片口匣壳 0.75	片口匣壳虫 0.73 碟状圆壳虫 0.61 表壳圆壳虫 0.52		球砂壳虫 0.79 碟状圆壳虫 0.5		球砂壳虫 0.8 片口匣壳虫 0.6 巢居法帽虫 0.6 长圆砂壳虫 0.5	

2.1.3 优势种变化 从通天河至重庆,水体中的原生动物优势种变化不大,都是较能适应流水状态的砂壳科类,宜宾—重庆段多了一种隐砂壳科的巢居法帽虫(表 2)。三峡库区的优势种则变化较大(表 3),2003 年优势种为针棘匣壳虫、钟虫、球砂壳虫、壳吸管虫;2004 年为旋匣壳虫、表壳圆壳虫、球砂壳虫、针棘匣壳虫和盘状表壳虫,其中球砂壳虫和针棘匣壳虫虽然仍然是优势种,但检出频次已大大下降;2005 年优势种变为变形虫、暖昧砂壳虫和旋匣壳虫,同样上一年出现最多的旋匣壳虫在这一年检出率也大大降低;到 2006 年,检出率最高的又恢复到球砂壳虫、针棘匣壳虫和钟虫,但这 3 种与 2003 年相比在群落中已经没有什么优势。可见,随着水库蓄水,原生动物群落结构也发生着变化,其优势种越来越不明显,库区的原生动物向多类型发展。河流段的优势种虽然在水库中仍占有优势,但纤毛虫种类的快速繁殖也使其逐渐在群落里占据了有利的地位。

表 3 三峡库区优势种出现频次

Tab.3 Appearing frequency of dominant species in TGR area

优势种	时间			
	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年
变形虫 <i>Amoeba</i> sp.	0	0.11	0.433	0
卵形领单鞭虫 <i>Monosiga ovata</i>	0.273	0	0	0
宽口圆壳虫 <i>Cyclopyxis eurystoma</i>	0.442	0.05	0.017	0
表壳圆壳虫 <i>C. arcellodes</i>	0.013	0.409	0.017	0.092
球砂壳虫 <i>Diffugia globulosa</i>	0.429	0.386	0.083	0.263
暖昧砂壳虫 <i>D. fallax</i>	0	0.045	0.267	0
针棘匣壳虫 <i>Centropyxis aculeata aculeata</i>	0.623	0.386	0.15	0.132
旋匣壳虫 <i>C. aerophila aerophila</i>	0.247	0.545	0.233	0
盘状表壳虫 <i>Arcella discoides</i>	0	0.386	0	0.053
泡壳虫 <i>Bullinularia</i> sp.	0	0	0.2	0
壳吸管虫 <i>Acineta</i> sp.	0.416	0.023	0.067	0.026
钟虫 <i>Vorticella</i> sp.	0.675	0.227	0.2	0.184
累枝虫 <i>Epistylis</i> sp.	0.299	0.091	0.067	0.026

2.1.4 原生动物的功能营养类群 依照原生动物的食性或营养方式,可将其划分为 6 个功能营养类

群:A——食藻者,以吞食藻类为生;B——食细菌碎屑者,以吞食细菌和附有细菌的碎屑为生;S——腐生营养者,以溶解于水中的大分子有机物为食;N——非选择性杂食者,既能摄食细菌和碎屑,也可以藻类为食;R——肉食者,以其他原生动物和小型轮虫为食;P——光合自养者,体内含有色素体能进行光合作用,包括含有共生绿藻的种类。国内外学者通常用原生动物的功能营养类群来研究各地区的水质状况 (G Fernandez-Leborans, 2001; 刘娜等, 2005; 马正学, 1994)。

对长江上游原生动物进行功能营养类群研究 (表 4), 可以看到通天河的功能类群结构简单, 以食藻者为主, 占 60%, 没有出现腐生营养者和杂食者。金沙江上游原生动物的功能类群结构与通天河相似, 食藻者虽有所下降, 但依然占有明显优势。从金沙江下游至重庆, 原生动物功能类群中 P + A 的比例下降到 50.79% ~ 52.22%, B + R 的比例略有上升, 达到 43.33% ~ 44.43%。

表 4 长江上游各江段原生动物的功能营养类群

Tab.4 Protozoan functional groups in the upper reaches of Yangtze River %

河段	功能营养类群					
	A	B	S	N	R	P
通天河	60.00	35.00	0.00	0.00	5.00	0.00
金沙江上游	57.63	38.98	0.00	0.00	3.39	0.00
金沙江下游	50.00	35.71	0.00	4.76	8.73	0.79
宜宾—重庆	50.00	41.11	0.00	4.44	2.22	2.22
2003 年	51.51	34.34	1.01	3.03	7.07	1.01
三峡 2004 年	56.64	30.09	0.88	1.77	7.96	0.88
库区 2005 年	50.40	32.80	0.80	3.20	12.00	0.80
2006 年	43.53	41.18	0.00	3.53	11.76	1.18

注:A—食藻者,以吞食藻类为生;B—食细菌碎屑者,以吞食细菌和附有细菌的碎屑为生;S—腐生营养者,以溶解于水中的大分子有机物为食;N—非选择性杂食者,既能摄食细菌和碎屑,也可以藻类为食;R—肉食者,以其他原生动物和小型轮虫为食;P—光合自养者,体内含有色素体能进行光合作用,包括含有共生绿藻的种类。

三峡库区的原生动物,在蓄水后的第 1 年,即 2004 年, P + A 的比例有所升高, 这可能与水库蓄清排浊有关。但之后 2 年 P + A 比例逐年下降, 特别是 2006 年, P + A 的比例下降到 44.71%, 开始低于 B + R 的比例 (52.94%)。

功能营养类群是通过原生动物自养和异养种类的结构来间接反应水体状况的, 一般说来, 清洁的水体自养程度高, 光合类群 P 和食藻类群 A 就较多, 随着水体有机污染程度的增加, 异养程度提高, 相应的食菌和碎屑的 B 类群及肉食者 R 类群和食腐者 S 类群就丰富。长江上游原生动物功能类群的沿程变化在一定程度上反映出下游水质稍逊于上游; 三峡

库区的变化情况也说明了水库的营养水平随着蓄水时间的延长会逐渐增加, 食菌和碎屑者增多还表现了人类活动对生态环境的影响加剧 (Pratt J R et al, 1987), 这种情况应引起重视。

3 讨论

3.1 三峡水库原生动物的来源

原生动物是世界性的广生种类, 在各种水体 (永久性的或临时性的自然水域, 以及生物体内的特殊水域) 或潮湿的土壤、沼泽等环境中都有分布。因此河流中的原生动物来源是比较广泛的, 既可来源于上游干支流, 也可来源于周围土壤或随水流从别的生境冲刷而来。三峡库区检出的原生动物种类远多于上游河流段, 从通天河—重庆共检出原生动物 188 种, 三峡库区有 245 种, 比上游多了 57 种。其中只在三峡库区出现的有 121 种, 占三峡种类的 49.39%, 其中大多数为纤毛虫。可见三峡库区的原生动物除了接纳上游河道中随泥沙运输下来的部分原生动物外, 库区本身产生了将近一半的适合该地区生境的种类。来自河道中的原生动物, 因大坝截留, 三峡蓄水, 使附着于砂砾上的原生动物在库前蓄积, 从而增加了这部分的数量。从研究结果也可发现, 蓄水后的第 1 年, 库区内的砂壳虫、匣壳虫等肉足虫比 2003 年多, 且从 2003 ~ 2005 年肉足虫比例都比纤毛虫大。库区原生动物的另一主要来源就是周边的支流。在三峡水库蓄水前, 来自沿江的众多支流的种类本来就是峡区原生动物的重要组成部分。水库蓄水后原先的支流都成了库湾, 这种静水环境更适宜纤毛虫生长, 同时也增加了支流种类汇入库区的可能。就连原先未和干支流交汇的小水塘、小湖泊里的种类也成了库区种类组成的一部分。而蓄水淹没的大量土地一方面使水体的营养物质含量升高, 促进原生动物的繁殖, 另一方面土壤中的原生动物随着环境的变化也会进入水体, 成为库区原生动物的另一来源。来源的多元化大大丰富了库区原生动物的种类组成, 尤其是纤毛虫, 随着库区环境的稳定, 其比例也将逐渐提高而成为新的优势种群, 这在 2006 年的调查中已初见端倪。

3.2 原生动物种群的演变

龚循矩等人在 20 世纪 80 年代进行的三峡峡区原生动物调查可作为三峡蓄水前的背景资料。之后 20 多年峡区原生动物的种群结构发生了很大的变化, 2003 ~ 2006 年是受三峡蓄水影响的改变, 但是从 1984 ~ 2003 年也不能看作完全的自然演变。20

世纪80年代的那次调查,由于葛洲坝截流,三峡的黄柏河和宜昌江段种类较多;同样的,三峡截流也必然引起其它某些区域的种类变化,由于这方面资料的缺乏,其它对三峡蓄水前原生动物群落的演变过程无法较准确地描述。但可以肯定的是三峡工程对原生动物的种群结构演替起了加速作用。从大的时间尺度上看,时隔20年,三峡在蓄水前的种类组成也与20世纪80年代大不相同。20世纪80年代三峡的优势种是珍珠映毛虫、钩刺斜管虫、瞬目膜袋虫和小轮毛虫,纤毛虫占绝对优势。2003年则是肉足虫占较大比例,优势种也演变为钟虫、针棘匣壳虫、宽口圆壳虫、球砂壳虫和壳吸管虫。2003~2006年,三峡蓄水对原生动物的种群结构的影响是显而易见的。如种类数先增多后减少,纤毛虫比例逐渐增大,优势种越来越不明显,食细菌者增多等。总的来说,随着三峡水库蓄水完成,水环境的稳定使水库中原生动物的种类逐渐从喜流水型向喜静水型转变,群落结构以纤毛虫为主,水库的生态环境与其它湖库趋于相似。

原生动物的这种演变趋势是值得关注的,因为它反映了水体营养物质的变化过程。富营养化的防治一直都是水利工程建设后最受关注的问题之一。现在三峡水库的营养物质和有机污染物比蓄水前有所增加,但总体情况并不严重。随着水库向湖泊型生态环境演变,原生动物中食菌者、食腐者和肉食者大量繁殖时,其水体状况将不容乐观。

参考文献:

- 龚循矩,肖化忠,沈韞芬. 1990. 长江三峡地区的原生动物区系研究[J]. 水生生物学报, 14(4): 289-297.
- 韩德举,胡菊香. 1995. 长江仪征—崇明段的肉足虫和纤毛

- 虫[J]. 动物学杂志, 30(2): 2-7.
- 姜兴义,盛和明. 1987. 嘉陵江重庆段原生动物初步调查[J]. 重庆环境科学, (5): 43-46.
- 刘娜,孔维宝,王文科,等. 2005. 黄河三峡湿地保护区水体原生动物构成及水质评价[J]. 环境研究与监测, 18(3): 1-4.
- 马正学. 1994. 用原生动物评价黄河兰州段的水质[J]. 中国环境科学, 14(6): 401-406.
- 沈韞芬,章宗涉,龚循矩,等. 1990. 微型生物监测新技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社.
- 沈韞芬. 1999. 原生动物学[M]. 北京: 科学出版社.
- 舒俭民,宋福,傅德黔,等. 1998. 长江源区浮游生物调查初报[J]. 中国环境监测, 14(5): 7-9.
- 宋碧玉. 2000. 长江洞庭湖口原生动物的生态学研究[J]. 水生生物学报, 24(4): 317-321.
- 苏良栋,王爱珍,李林. 1988. 重庆原生动物调查初报[J]. 四川动物, 7(2): 1-4.
- 中国科学院青藏高原综合科学考察队. 1983. 西藏水生无脊椎动物[M]. 北京: 科学出版社.
- Finlay B J, Esteban G F. 1998. Freshwater protozoa: biodiversity and ecological function [J]. Biodiversity and Conservation, 7: 1163-1186.
- G Fernandez-Leborans. 2001. Protozoan groups in sublittoral areas [J]. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 81: 735-750.
- Paolo Madoni. 1993. Ciliated protozoa and water quality in the Parma River (Northern Italy): long-term changes in the community structure [J]. Hydrobiologia, 264: 129-135.
- Pratt J R, Horwitz R, Cairns J Jr. 1987. Protozoan communities of the Flint River-Lake Blackshear ecosystem (Georgia, USA) [J]. Hydrobiologia, 148: 159-174.

(责任编辑 杨春艳)

Ecological Research of Protozoan Community in Upper Reaches of the Yangtze River

ZHENG Jin-xiu, HU Ju-xiang, ZHOU Lian-feng, MA Pei-ming, WANG Xiang, WU Sheng-gui

(Institute of Hydroecology, Ministry of Water Resources, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430079, China)

Abstract: The author took a rather comprehensive investigation from the source Tongtian River to TGR in the year of 2003 to 2007. 93 sampling sites were set in total, of which 38 sites were in main stream from Tongtian River to Chongqing and 22 in its tributaries, and 33 sites were set in TGR area. It sampled twice a year during high-water period and normal-water period respectively. Investigation results showed that there are 309 species protozoa in total in upper reaches, belonging to 60 families and 106 genera. 140 species were detected in the reaches from Tongtian River to Jinsha River, 90 species from Yibin to Chongqing and 245 species in TGR. Diffugia, Centropyxis, Arcella and Cyclopyxis are dominant species in Jinsha River reaches, and Diffugia, Centropyxis, Phryganella nidulus are dominant in Yibin-Chongqing reaches. The protozoan in TGR are relatively abundant, besides the Family Diffugiidae and Family Arcellidae, Tintinnidium and Amoeba are increasing and becoming dominant. There are more protozoa in TGR than in the upper river, and of all the species, 125 species are detected in TGR only. Compared with the data in 1990 the dominant species in TGR have changed completely, and the community construction altered distinctly, all of which are related to the TGP.

Key words: Yangtze River; Three Gorges; protozoa; communities; ecology