

# 小江回水区原生动物和轮虫群落结构特征研究

陈小娟<sup>1</sup>, 潘晓洁<sup>1</sup>, 冯 坤<sup>1</sup>, 郑志伟<sup>1</sup>, 彭建华<sup>1</sup>, 万成炎<sup>1</sup>, 赵秀兰<sup>2</sup>

(1. 水利部中国科学院水工程生态研究所, 水利部水工程生态效应与生态修复重点实验室, 武汉 430079;

2. 西南大学, 重庆 400715)

**摘要:**2008年春、夏、秋和水华发生末期,对三峡水库小江回水区的原生动物、轮虫群落进行了调查,共监测到原生动物52种、轮虫35种;其中,原生动物秋季种类最多,有30种,轮虫夏季种类较多,有25种。水华发生末期的现存量最高,但多样性指数最低。理化参数的多因素方差分析、聚类分析结果表明,小江回水区水环境具有明显的时间异质性。从物种组成聚类结果来看,不同时间的原生动物和轮虫群落组成不同,且与水环境的时间异质性并不一致。浮游动物现存量与环境因子关系的冗余分析(RDA)结果显示,水温与浮游动物群落现存量呈显著正相关。

**关键词:**小江;原生动物;轮虫;群落结构特征

**中图分类号:**Q142 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2012)05-0031-05

三峡水库蓄水后,许多支流回水影响区的水流减缓,扩散能力减弱,营养物质易于积累,局部水域水体富营养化,水华频发,水生生态系统发生演替。小江(又名澎溪河)是三峡水库重要的一级支流,流域面积约5 200 km<sup>2</sup>,距三峡坝址约250 km。受三峡水库蓄水的影响,回水区水体平均流速减小,部分河段连年暴发水华,影响周边的饮水安全,受到国内学者的广泛关注(邓春光,2007;李哲等,2009;Li et al, 2009)。

原生动物和轮虫是水生生物多样性的的重要组成部分,也是水域生态系统的重要结构和功能单元;然而,目前有关蓄水后小江回水区原生动物和轮虫的研究还比较缺乏。为增强对蓄水后小江水生态系统特征的认知,开展了小江周年及水华爆发期间的原生动物和轮虫调查,分析了其群落的时间异质性及其与环境理化因子的关系,以为小江水生态环境保护与水华防治等提供科学的基础信息。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集

在小江回水区共设置5个采样断面,分别位于

渠口(QK)、养鹿(YL)、高阳(GY)、黄石(HS)和双江(SJ);水华发生末期(蓝藻和绿藻水华)设3个采样断面,包括渠马(QM)、高阳(GY)和黄石(HS)。具体位置如图1所示。

水质、原生动物和轮虫的常规采样于2008年4月、7月、11月各采样1次,水华发生末期(2008年7月2日)采集1次。水样采集按《水质采样技术指导》(GB12998-91)的规定进行。原生动物和轮虫采样、固定保存、样品处理及检测等方法参照《淡水浮游生物研究方法》(章宗涉和黄祥飞,1991)。

监测指标包括总氮、总磷、铵氮、可溶磷、pH、水温、透明度、叶绿素a、溶解氧和化学耗氧量等,各指标的测定方法参照《水和废水监测分析方法》进行(魏复盛,2002)。

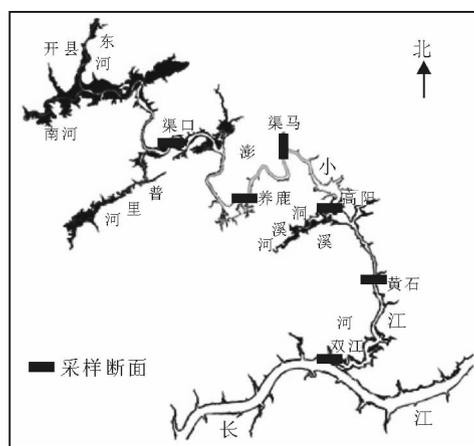


图1 小江水样采集站点的分布示意

Fig.1 Sampling stations in Xiaojiang

收稿日期:2012-07-05

基金项目:国家自然科学基金青年基金项目(51009099;51009100);“十二五”国家科技支撑项目(2012BAC06B04)。

作者简介:陈小娟,1981年生,女,副研究员,博士,主要从事浮游动物生态学与生态规划研究。E-mail:chenxiaojuan@mail.ihe.ac.cn

## 1.2 物种鉴定

参照原生动物、轮虫分类文献(王家楫 1961;沈韞芬等,1990)的描述,在 100 ~ 1 000 倍显微镜下对原生动物(不包含鞭毛虫)、轮虫种类进行鉴定,大多物种鉴定到种或属,少数物种鉴定到更高的分类阶元。

## 1.3 数据分析

原生动物和轮虫多样性分析采用 Margalef 指数计算(Margalef,1958)。理化数据、细胞密度与生物量数据进行对数转换以使数据呈正态分布,各季节理化参数、物种组成的种类数、细胞密度与生物量差异的判别用 SPSS 17.0 软件多因素方差分析中的 Turkey 显著差异法进行分析,并取  $P < 0.05$  作为差异显著性判定标准。利用 Statistica 6.0 软件进行样品间聚类分析,其中样品间距离采用欧氏距离,类间距离采用类平均法(unweighted pair-group average)。运用 CANOCO 4.5 软件中冗余分析(redundancy a-

nalys, RDA)探讨原生动物和轮虫群落细胞密度、生物量与环境因子的关系。

## 2 结果与分析

### 2.1 理化参数及其时间变化

小江 18 个站点的理化参数结果见表 1。多因素方差分析显示,总磷(TP)、总氮(TN)、叶绿素 a 含量(Chl-a)、溶解氧(DO)、氮磷比(TN/TP)、溶解性磷(DP)、水温(WT)、透明度(SD)和 pH 等参数在不同时间存在显著差异( $P < 0.05$ ),而化学需氧量(COD)差异性不显著。整体看来,TP、COD、TN/TP、DO、DP 和 pH 在春季呈现最高值,TN 在夏季呈现最高值,DO 在水华末期呈现最高值,透明度在秋季呈现最高值。基于理化参数的聚类结果表明,同一个季节的站点基本聚在同一组内(图 2),春季与秋季首先聚为一支,然后与水华末期聚为一个大支,最后是夏季。

表 1 小江不同时期的理化参数

Tab.1 Physical and chemical parameters in Xiaojiang

理化参数	春季		夏季		秋季		水华末期		P
	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差	
TN/mg · L <sup>-1</sup>	2.01	0.22	3.99	0.97	3.78	0.34	1.66	0.24	0.001
TP/mg · L <sup>-1</sup>	0.14	0.02	0.05	0.02	0.10	0.01	0.08	0.02	0.000
COD/mg · L <sup>-1</sup>	38.48	10.86	27.60	7.37	26.90	8.27	20.26	4.63	0.131
Chl-a/μg · L <sup>-1</sup>	6.20	3.42	9.88	3.69	1.80	0.76	-	-	0.009
DO/mg · L <sup>-1</sup>	6.64	0.70	5.50	0.45	5.11	0.70	6.65	0.60	0.024
TN/TP	14.44	2.93	101.27	51.87	39.12	5.94	22.19	6.75	0.000
DP/mg · L <sup>-1</sup>	0.09	0.01	0.02	0.01	0.07	0.01	0.02	0.01	0.000
WT/°C	18.22	2.38	30.30	1.48	17.74	0.29	30.03	1.05	0.000
SD/cm	252.60	164.81	117.20	49.68	277.20	67.78	88.33	30.04	0.032
pH	7.93	0.39	7.48	0.07	7.66	0.24	-	-	0.019

注:“-”表示数据缺失。

Note:“-” represents that the data were lost.

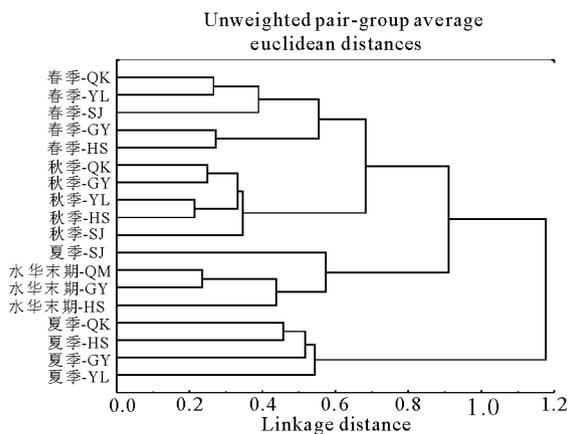


图 2 不同时间理化参数的聚类分析

Fig.2 Cluster analyses results of environment parameters among different periods

### 2.2 物种组成及其时间变化

2.2.1 原生动物 3 个季节及其水华末期共监测到原生动物 52 种;其中,肉足虫 19 种、纤毛虫 33 种;春季 23 种,夏季 29 种,秋季 30 种、水华末期 21 种。与夏季非水华时期的监测结果相比,水华末期的肉足虫种类减少较多。基于物种组成的聚类结果(图 3)表明,夏季与秋季聚类一支,水华末期与春季聚为并列的一支。

2.2.2 轮虫 春、夏、秋及其水华期间的 4 次采样共监测到轮虫 10 科、35 种;其中,臂尾轮虫夏季种类最多,有 25 种。与夏季非水华时期的监测结果相比,水华末期的轮虫种类组成变化不大。基于物种组成的聚类结果(图 4)表明,水华末期与夏季首先聚为一支,然后是春季,最后是秋季。

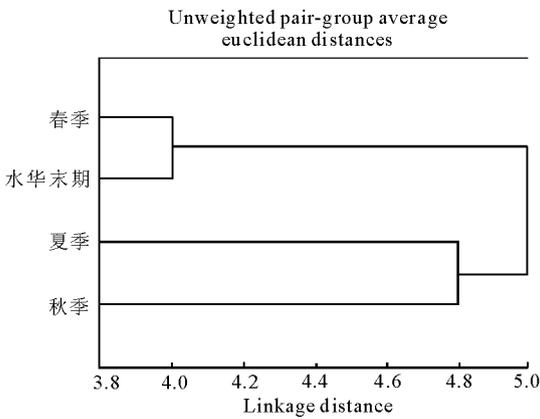


图3 不同时间原动物物种组成的聚类分析  
Fig. 3 Cluster analyses results of protozoan species among different periods

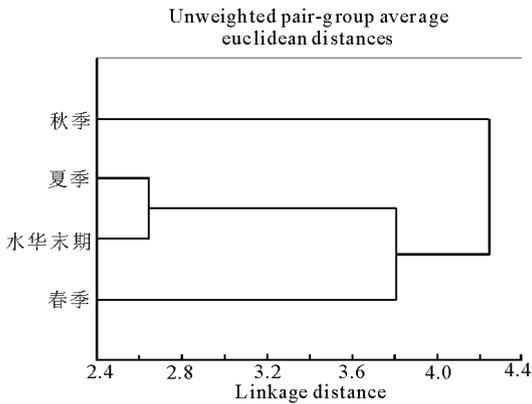


图4 不同时间轮虫物种组成的聚类分析  
Fig. 4 Cluster analyses results of rotifer species among different periods

2.3 现存量及其时间变化

不同时期原动物和轮虫的平均现存量见表2。单因素方差分析显示,原动物和轮虫的密度与生物量在3个季节及水华发生期均存在显著差异( $P < 0.05$ )。从不同季节变化上看,原动物密度和生物量在夏季最高,其次为秋季,春季较低;轮虫密度和生物量也是夏季最高,其次为春季,秋季最低;但水华发生末期的原动物、轮虫密度和生物量均显著高于夏季非水华爆发期。

2.4 多样性指数及其时间变化

不同时期的原动物和轮虫多样性指数如表2所示。从季节变化上看,原动物多样性指数在秋季最高,其次为夏季、春季,且3个季节间相差不大;轮虫多样性指数也是秋季最高,其次为夏季,而春季最低。水华发生末期的原动物多样性、轮虫多样性指数均显著低于夏季非水华爆发期。

表2 不同时期原动物、轮虫现存量与多样性指数

Tab. 2 Protozoan and rotifer abundances and diversity indexes

时间	原动物			轮虫		
	密度/ 个·L <sup>-1</sup>	生物量/ mg·L <sup>-1</sup>	Margalef 指数	密度/ 个·L <sup>-1</sup>	生物量/ mg·L <sup>-1</sup>	Margalef 指数
春季	1438	0.033	3.03	250	0.032	2.17
夏季	6857	0.124	3.17	1464	0.267	3.29
秋季	5250	0.147	3.39	68	0.017	4.51
水华末期	17500	0.484	2.05	9483	4.595	2.51

2.5 群落结构与环境因子的关系

原动物、轮虫现存量与水体理化参数的RDA分析结果显示,第一轴和第二轴的特征值分别为0.510和0.346,并且这两轴的累计值占总特征值的85.6%(表3);表明这两轴集中了4/5的环境因子对原动物和轮虫现存量分布格局影响的信息。

表3 冗余分析结果

Tab. 3 Results of redundancy analysis

项目	第一轴	第二轴
WT	0.7866	0.0000
特征值	0.510	0.346
现存量-环境相关性	0.787	0.000
累计方差	51.0	85.6
百分比	100	

通过自动筛选(Automatic selection)、前选法(Forward selection)和蒙特卡罗检验(Monte Carlo Permutation Test),排除贡献小的因子,发现水温(WT)与原动物密度(PD)、原动物生物量(PB)、轮虫密度(RD)及轮虫生物量(RB)的相关性均较强( $P < 0.05$ ),与第一轴密切相关( $r = 0.79$ );且与轮虫现存量相关性大于原动物(图5)。

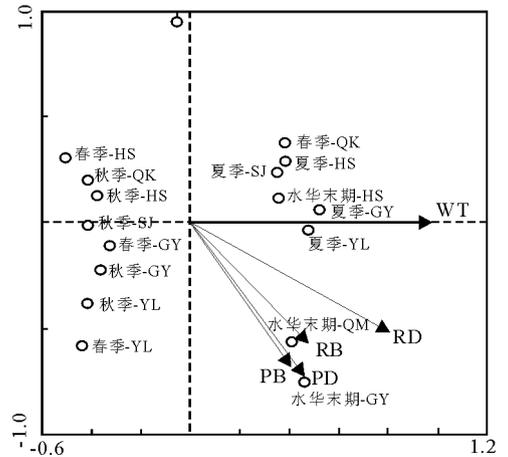


图5 浮游动物现存量与理化参数的冗余分析结果  
Fig. 5 Relationships between abundances of zooplankton communities and environmental parameters by Redundancy analysis (RDA)

### 3 讨论

#### 3.1 小江回水区水环境及原生群落、轮虫群落结构特征的时间异质性

根据 TN、TP 和 COD 测定的结果,依据我国《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)中不同类别水质限值进行比较发现,总磷浓度能达到地表水环境质量标准中的 II、III 限值,COD 属 IV、V 类,而总氮浓度为 V 类、劣 V 类。由此可见,水体总氮、有机污染物污染总体比较严重,夏季、水华发生末期的水体呈富营养化,这与蓄水后小江流域水土流失严重、水体的环境容量降低等有关(湛芸等,2010;王晓青和郭劲松,2012)。从单因素方差分析、理化参数的聚类分析结果来看,小江回水区生境具有明显的时间异质性。

将不同时间的物种组成、理化参数聚类结果进行比较发现,原生动物、轮虫群落组成的时间异质性分布规律并不一致,与生境的时间异质性也不一致;与同为夏季的非水华期相比,水华发生末期的轮虫群落组成变化不大,但原生动物群落组成变化较大。2008 年 11 月,三峡水库完成试验性蓄水,坝前水位达 172 m。在高水位运行条件下,小江原生动物种类增加,且与夏季物种组成较相似;但轮虫种类较夏季低水位运行期减少,与其他时间的物种组成不相似,单独聚为一支。因此,原生动物、轮虫群落组成对于生境时间异质性的反响并不一致。

#### 3.2 小江回水区水环境对原生群落和轮虫群落结构特征的影响

温度是影响浮游动物生长、繁殖、数量及分布等重要的环境因子。本次研究表明,水华发生末期、夏季的原生动物、轮虫密度和生物量均显著高于春、秋季;现存量与环境因子间关系的 RDA 分析显示,现存量的升高与水温显著相关,这与湖泊水体中有关浮游动物群落结构受温度影响的研究结果一致(陈光荣等,2008;吴利等,2011);而水华末期的浮游生物群落现存量高于同为夏季的非水华期,可能是由于藻类的增加使得原生动物和轮虫的饵料更为丰富。与此同时,在水华发生末期,水体营养水平提

高,原生动物和轮虫的多样性指数均呈现显著降低。与湖泊水体一样,呈现出物种多样性与营养水平相反的变化趋势,当水体从中营养型向超富营养型过渡时,虽然浮游动物密度和生物量增大,但群落结构趋于简单,多样性指数下降(黄祥飞等 1984;谢平等,1996)。

#### 参考文献

- 陈光荣,钟萍,张修峰,等.2008.惠州西湖浮游动物及其与水质的关系[J].湖泊科学,20(3):351-356.
- 湛芸,何丙辉,赵秀兰,等.2010.小江流域农地水土流失对水体富营养化的影响[J].水土保持学报,24(4):31-34,43.
- 邓春光.2007.三峡库区富营养化研究[M].北京:中国环境科学出版社.
- 黄祥飞,陈雪梅,伍焯田,等.1984.武汉东湖浮游动物数量和生物量变动的研究[J].水生生物学集刊,8(3):345-358.
- 李哲,方芳,郭劲松,等.2009.三峡小江回水区段 2007 年春季水华与营养盐特征[J].湖泊科学,21(1):36-44.
- 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.
- 王家楫.1961.中国淡水轮虫志[M].北京:科学出版社.
- 王晓青,郭劲松.2012.三峡水库蓄水后小江水环境容量的变化[J].环境科学研究,(1):36-42.
- 魏复盛.2002.水和废水监测分析方法(第4版)[M].北京:中国环境科学出版社.
- 吴利,冯伟松,张堂林,等.2011.春、秋季武湖浮游动物群落特征及其与环境因子的关系[J].水生态学杂志,32(2):31-37.
- 谢平,诸葛燕,戴莽,等.1996.水体富营养化对浮游生物群落多样性的影响[J].水生生物学报,20(增刊):30-37.
- 章宗涉,黄祥飞.1991.淡水浮游生物研究方法[M].北京:科学出版社.
- Li Z, Guo J S, Long M, et al.2009. Seasonal variation of nitrogen and phosphorus in Xiaojiang River-A tributary of the Three Gorges Reservoir [J]. Frontiers of Environmental Science & Engineering in China. 3(3):1673-7520.
- Margalef R.1958. Perspectives in ecological theory[M]. Chicago: University of Chicago Press.

(责任编辑 万月华)

## Studies on the Characteristics of Protozoan and Rotifer Communities in Xiaojiang Backwater Region

CHEN Xiao-juan<sup>1</sup>, PAN Xiao-jie<sup>1</sup>, FENG Kun<sup>1</sup>, ZHENG Zhi-wei<sup>1</sup>,  
PENG Jian-hua<sup>1</sup>, WAN Cheng-yan<sup>1</sup>, ZHAO Xiu-lan<sup>2</sup>

- (1. Key Laboratory of Ecological Impacts of Hydraulic-Projects and Restoration of Aquatic Ecosystem of Ministry of Water Resources, Institute of Hydroecology, Ministry of Water Resources and Chinese Academy of Sciences. Wuhan 430079, P. R. China)
2. Southwest University, Chongqing 400715, P. R. China)

**Abstract:** The studies on the characteristics of protozoan and rotifer communities in backwater region of Xiaojiang were carried out in 2008. Totally, 52 species of protozoa and 35 species of rotifer were found. autumn. The species number of protozoa was the highest in autumn (30), and rotifer species were the most abundant in summer (25). At the end of algae bloom period, their densities and biomasses were the highest than in the other seasons, but their biodiversity indexes were the lowest. From the results of multifactor analysis of variance and cluster analyses, it was found that the physical and chemical factors had significant temporal heterogeneity. The cluster analyses of species composition showed that protozoa and rotifer communities differed among the different periods and their changes were not same with the temporal heterogeneity of environmental factors. The abundances of zooplankton communities was analyzed in relation to water quality parameters by redundancy analysis (RDA). Temperature were positively correlated with the zooplankton community abundances.

**Key words:** Xiaojiang; protozoan; rotifer; community structure characteristics