城区已修复河道冬季浮游动物群落结构的初步研究

刘　一, 禹　娜, 熊泽泉, 毛开云, 李二超, 陈立侨

(华东师范大学生命科学学院, 上海　200062)

摘要: 2007年 11月～ 2008年 1月, 对上海市中心城区 4条已经过初步修复的河道中的浮游动物的种类组成及其主要影响因子进行了调查和分析。共鉴定浮游动物 32种: 轮虫 27种 (85%), 枝角类 3种 (9%), 桡足类 2种 (6%), 其中优势种为转轮虫、长足轮虫、萼花臂尾轮虫、螺形龟甲轮虫、长肢多肢轮虫和跃进三肢轮虫。4条河道浮游动物的平均密度在 155 17～ 2 114. 17个 /L, 以朝阳河的变化幅度为最大, 2008年 1月达到最大值 3 850个 /L; 平均生物量在 0. 50～ 5. 76 mg/L, 以朝阳河的生物量变动最大, 2007年 11月达到最大值 9. 83 mg/L。浮游动物多样性指数、均匀度指数和丰富度指数的平均值在 4条河道中差异不大。多样性指数: 曹杨环浜 (1. 87) > 横港 (1. 74) > 午潮港 (1. 71) > 朝阳河 (1. 70), 均匀度: 横港 (0. 93) > 曹杨环浜 (0. 77) > 朝阳河 (0. 70) > 午潮港 (0. 69), 物种丰富度指数: 曹杨环浜 (1. 59) > 午潮港 (1. 43) > 横港 (1. 31) > 朝阳河 (1. 29)。相关分析结果表明, 冬季里水体中的磷酸盐、硝酸盐和亚硝酸盐含量对浮游动物的群落结构有显著的影响。其中磷酸盐含量与浮游动物种类数有显著的负相关, 与密度和生物量有极显著负相关, 与均匀度指数呈显著正相关, 与丰富度指数呈显著负相关; 硝酸盐含量与浮游动物种类数呈显著正相关; 亚硝酸盐含量与浮游动物密度达极显著正相关, 与均匀度指数呈显著负相关。

关键词: 浮游动物; 群落结构; 影响因子; 相关性分析; 河道修复

中图分类号: X826, Q958. 11　　文献标志码: A　　文章编号: 1674－ 3075(2009) 03－ 0001－ 07

分布在中心城区街楼巷宇之间的河道, 不仅在防洪蓄水、生态恢复、休闲娱乐和改善水环境等方面具有重要作用, 在江南水乡往往还承载着这个城市的某种文化 (陈美发, 2003; 汪松年, 2005; 吴芙蓉, 2006)。近年来, 随着经济的发展和人口数量的急剧增加, 城区内河水质曾一度遭受严重的污染, 城市污染河道的修复引起了全社会的广泛关注。上海作为我国最大的现代化都市之一, 城区内河网交错, 水系纵横, 水质的好坏与城市的市容、景观和民众的生活密切相关。为使居民生活环境中"水更清", 上海市自 2000年起实施"环保三年行动计划"。目前经过前两轮"计划"的开展, 中心城区大多数河道的黑臭现象已基本消除, 水质也有了明显的改善 (上海市水务局, 2006)。但如何巩固已取得的成绩, 并逐步实现河道生态系统的良性自循环, 是进一步进行水环境整治的首要任务, 也是 2006年上海市开始实施的第三轮"环保三年行动计划"的核心内容。

了解不同类型河道中水体自身的理化特性及生物组成, 对水体中食物链和食物网结构进行分析, 是科学修复和管理水体的前提, 是实现水体生态系统良性自循环的基础。目前国内外对该方面的研究多以湖泊和水库为主 (Fronemann PW, 2004; 马徐发等, 2005; 李共国等, 2003), 而针对人口密度较大的城区河道的调查研究较少 (张明凤等, 2003; 谢进金等, 2005)。浮游动物是水生生态系统的初级消费者, 是水域生态系统中重要的生物组成部分, 作为食物链中不可缺少的一环, 它们在物质转化、能量流动、信息传递等生态过程中起着至关重要的作用 (吴利等, 2008; 刘超等, 2007)。浮游动物终生生活在水中, 水体环境质量的变化会引起浮游动物的群落结构发生一系列变化, 分析该生态系统生物群落结构的变动, 能够对水体环境的优劣做出初步的判断。本文研究了上海市城区内已经初步修复的 4条不同生态类型的社区河道的浮游动物群落, 并分析了与水环境因子间的关系。研究结果将为中心城区河道进一步的生态治理提供基础资料。

1　材料与方法

1. 1　采样点的设置

本研究结合上海市中心城区河道已基本消除黑

收稿日期: 2008－ 10－ 20

基金项目: 上海市水务局科研项目 (沪水科 2007－ 09), 国家自然科学基金 (NO. 30700064) 和上海高校选拔培养优秀青年教师科研专项基金 (NO. 79001351)。

通讯作者: 陈立侨, 教授, 博士生导师, E－ mail: lqchen@ bio. ecnu. edu. cn

作者简介: 刘一, 1984年生, 男, 辽宁铁岭人, 在读硕士研究生, E－ mail: liuyily1984@ 126. com

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

臭现象这一实际情况, 选取城区内已经过初步治理的 4条不同生态类型的河道 (午潮港、横港、朝阳河、曹杨环浜)作为研究对象, 于 2007年 11月 ~ 2008年 1月逐月定时定点分析其生物组成及水体相关理化因子。具体采样点分布及河道生态类型见表 1。

表 1 采样点分布

Tab. 1 Distribution of Sampling Sites

编号 No.	河道 river	采样点 Sampling sites	河道生态类型 Ecological types
1	午潮港	福泉路新潮路交叉口段 31°12′238″N, 121°21′434″E	砌石普通驳岸, 以沉积淤泥为底, 具少量水生植物
2		金庭庄园会所段 31°12′145″N, 121°21′238″E	
3	横港	富水路水泉路交叉口段 31°16′298″N, 121°24′435″E	缓坡、阶梯复合驳岸, 两岸以挺水植物为主
4		真金路中环锦园内 31°16′493″N, 121°23′853″E	
5	朝阳河	丹巴路梅岭北路交叉口段 31°14′688″N, 121°23′132″E	砼、石驳岸, 以石块为底, 罕有水生高等植物
6		丹巴路梅岭北路交叉口段 31°14′870″N, 121°23′199″E	
7	曹杨环浜	花溪路枫桥路交叉口段 31°14′520″N, 121°24′185″E	砼、石驳岸, 以沉积淤泥为底, 具丰富的沉水植物
8		杨柳青路枣阳路交叉口段 31°14′313″N, 121°23′905″E	

1.2 采样方法

定性分析时, 轮虫用 25号 (网孔 0.064 mm)浮游生物网拖取, 大型浮游动物用 13号 (网孔 0.113 mm)浮游生物网拖取; 经固定后带回实验室鉴定。定量样品用 1L有机玻璃采水器采取, 采得的水样于现场加鲁哥氏液固定, 带回实验室静置沉淀, 浓缩至 20 mL在显微镜下鉴定、计数。浮游动物的鉴定参考相关文献 (章宗涉等, 1991; 王家楫等, 1961; 蒋燮治等, 1979; 中国科学院动物研究所甲壳动物研究组, 1979)。

1.3 河道水体相关理化指标的测定

测定的环境因子包括水温 (Wt)、pH、溶解氧 (DO)、氨氮 (NH_3-N)、磷酸盐 (PO_4-P)、硝酸盐 (NO_3-N)、亚硝酸盐 (NO_2-N) 7项水体物化指标。各理化因子的取样测定与动物样品的采集同步进行, 每个样点取 3个月的平均值。其中水温和溶解氧采用美国哈希 SensION6便携式溶氧仪于采样现场测定, 其他理化因子在实验室用英国 Palintest-Photometer 7500多参数水质分析仪测定。

1.4 多样性分析

浮游动物多样性指数的计算采用 Shannon-Wiener(Shannon CE et al, 1949)生物多样性指数 (H), 公式为: $H=-\sum P_i \ln P_i$; 丰富度指数采用 Margelf(Margalef DR, 1958)的计算公式: $D=(S-1)/\ln N$; 均匀度采用 Pielou(Pielou EC, 1966)指数, 公式为: $J=H/\ln S$。

各式中: N 为某样点浮游动物总个体数, P_i 为第 i物种出现的概率 ($P_i=N_i/N$, N_i 为第 i种的个体数), S 为物种总数。

1.5 数据处理及相关性分析

冬季 4条河道中浮游动物的密度和生物量取 3个月份的平均值, 其中浮游动物的密度经公式 $Y_i=\lg(X_i+1)$进行对数化处理 (X_i 为原始丰度, Y_i 为转换后数值)。对浮游动物的密度与水质中的相关物化因子间用 SigmaStat 3.5软件进行 Pearson相关性分析。

2 结果与分析

2.1 浮游动物的种类组成

对上海市中心城区 4条河道中的水生生物进行采样鉴定, 共发现浮游动物 32种, 其中轮虫 27种, 枝角类 3种, 桡足类 2种 (见表 2)。4条河道中均以轮虫为主要的优势类群, 占总种类数 85%。轮虫中习见种有长足轮虫 *Rotaria neptunia*、萼花臂尾轮虫 *Brachionus calyciflorus*、螺形龟甲轮虫 *Keratella cochlearis*、长肢多肢轮虫 *Polyarthra dolichoptera*、长三肢轮虫 *Filinia longiseta* 等, 偶见种有吕氏猪吻轮虫 *Dicranopharus lutkeni*、台杯鬼轮虫 *Trichotria pocillum*、月形腔轮虫 *Lecane luna*、囊形单趾轮虫 *Monostyla bulla* 等, 主要优势种为转轮虫 *Rotaria rotatoria*、长足轮虫、萼花臂尾轮虫、螺形龟甲轮虫、长肢多肢轮虫和跃进三肢轮虫 *Filinia passa*。大型浮游动物较少, 其中枝角类和桡足类分别占种类数的 9%和 6%。枝角类中金氏薄皮溞 *Leptodora kindti* 仅出现于 2007年 11月, 发头裸腹溞 *Moina irrasa* 仅出现于 2008年 1月, 而矩形尖额溞 *Alona rectangula* 在 3个月内均有出现。桡足类共发现 2种, 都为广布性兼性种类。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 2　各采样点浮游动物种类组成和分布

Tab. 2　Composition and distribution of zooplankton in different sampling sites

类群 Groups	种类 Species	各采样点分布情况 Distribution							
		1	2	3	4	5	6	7	8
轮虫 Rotifer	懒轮虫 *Rotaria tardigrada*			+	+	+	+		
	转轮虫 *R. rotatoria*	+	+	+	+	+	+		+
	长足轮虫 *R. neptunia*	+	+	+	+	+	+	+	+
	吕氏猪吻轮虫 *Dicranophorus lutkeni*							+	+
	台杯鬼轮虫 *Trichotria pocillum*							+	+
	萼花臂尾轮虫 *Brachionus calyciflorus*	+	+	+	+	+	+	+	+
	剪形臂尾轮虫 *B. forficula*	+	+						
	壶状臂尾轮虫 *B. urceus*	+	+			+		+	+
	矩形臂尾轮虫 *B. leydigi*					+	+		+
	螺形龟甲轮虫 *Keratella cochlearis*	+	+	+	+	+	+	+	+
	矩形龟甲轮虫 *K. quadrata*	+	+	+		+	+	+	
	曲腿龟甲轮虫 *K. valga*	+	+			+	+	+	+
	缘板龟甲轮虫 *K. ticinensis*	+						+	+
	椎尾水轮虫 *Epiphanes senta*	+			+				+
	前额犀轮虫 *Rhinoglena frontalis*	+	+			+			+
	月形腔轮虫 *Lecane luna*								+
	囊形单趾轮虫 *Monostyla bulla*				+			+	+
	前节晶囊轮虫 *Asplanchna priodonta*	+	+		+	+	+	+	
	暗小异尾轮虫 *Trichocerca pusilla*	+	+	+		+	+	+	+
	二突异尾轮虫 *T. bicristata*	+	+	+		+	+	+	+
	广布多肢轮虫 *Polyarthra vulgaris*	+	+			+	+	+	+
	长肢多肢轮虫 *P. dolichoptera*	+	+	+	+	+	+	+	+
	小多肢轮虫 *P. minor*	+	+			+	+		+
	梳状疣毛轮虫 *Synchaeta pectinata*			+				+	
	长三肢轮虫 *Filinia longiseta*	+	+	+	+	+	+	+	
	跃进三肢轮虫 *F. passa*	+	+	+	+	+	+	+	
	顶生三肢轮虫 *F. terminalis*			+			+		+
枝角类 Cladocera	金氏薄皮溞 *Leptodora kindti*						+		
	发头裸腹溞 *Moina irrasa*				+				
	矩形尖额溞 *Alona rectangula*							+	+
桡足类 Copepoda	汤匙华哲水蚤 *Sinocalanus dorrii*				+	+		+	
	广布中剑水蚤 *Mesocyclops leuckarti*	+	+	+	+	+	+	+	+

注: “+”表示存在. Note: “+” show existence.

2.2　密度的时空分布

就冬季浮游动物密度的水平分布情况看, 4条河道平均密度的变动在 155.17~2 114.17个/L, 总体呈现出朝阳河 (2 114.17个/L) > 午潮港 (1 746.67个/L) > 曹杨环浜 (850个/L) > 横港 (155.17个/L) (图 1)。其中最高值出现于朝阳河的 2008年 1月, 达 3 850个/L; 最低值来自横港的 2007年 11月, 仅为 135个/L。所调查的 4条河道中, 各浮游动物类群的数量差异也十分明显, 其中轮虫在生物数量上占绝对优势, 变动在 110~2 110个/L, 枝角类变动在 5~25个/L, 桡足类变动在 15~50个/L。

从 4条河道中浮游动物密度的动态变化看, 午潮港变动在 950~2 160个/L, 横港在 135~165.5个/L, 朝阳河在 727.5~3 850个/L, 曹杨环浜在 290~1 515个/L。并且 4条河道逐月的变化规律不同, 午潮港 2007年 12月 > 2007年 11月 > 2008年 1月, 横港和曹杨环浜 2008年 1月 > 2007年 12月 > 2007年 11月, 朝阳河 2008年 1月 > 2007年 11月 > 2007年 12月。

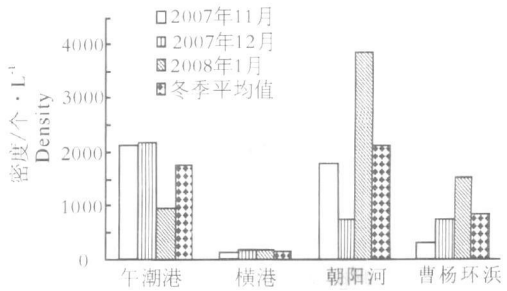

图 1　不同采样点冬季浮游动物密度的分布情况

Fig. 1　Spatial distribution of zooplankton density in winter of different sampling locations

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2 3 生物量的时空分布

冬季 4条河道中浮游动物的平均生物量变动在 0. 50~ 5. 76 mg/L, 水平分布仍然呈现出朝阳河 (5. 76 mg/L) > 午潮港 (4. 38 mg/L) > 曹杨环浜 (3. 52 mg/L) > 横港 (0. 50 mg/L) (图 2)。但由于取样期间各月份浮游动物组成有所变化, 所以生物量和密度的水平分布规律不完全相同。其中 4条河道中生物量最高值出现于朝阳河的 2007年 11月份, 为 9. 83 mg/L, 显著高于其他河道不同月份的调查值, 而且分布较为均匀; 最低值出现于横港的 2007年 12月份, 仅为 0. 21 mg/L。与密度不同的是, 浮游动物生物量的低谷不是出现在横港的 2007年 11月, 这是因为秋末冬初一些体型较大的暖水性种类还没有消失, 例如前节晶囊轮虫在 11月份也有较大的密度, 它们对浮游动物生物量产生重要影响。

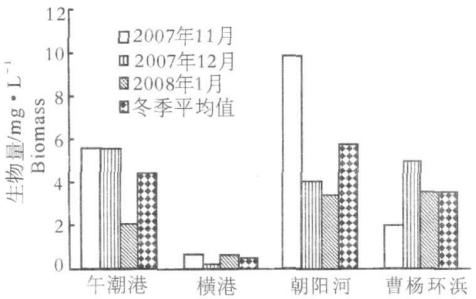

图 2 冬季浮游动物生物量的分布情况

Fig 2 Spatial distribution of zooplankton biomass in winter of four urban rivers

4条河道冬季生物量变化规律各不相同, 午潮港 2007年 12月 > 2007年 11月 > 2008年 1月, 横港 2008年 1月 > 2007年 11月 > 2007年 12月, 朝阳河 2007年 11月 > 2007年 12月 > 2008年 1月, 曹杨环浜 2007年 12月 > 2008年 1月 > 2007年 11月。

2 4 各多样性指数的时空变化

从图 3可以看出, 冬季各指数的平均值在 4条河道中差别不明显。多样性指数 *H* 值表现为: 曹杨环浜 (1. 87) > 横港 (1. 74) > 午潮港 (1. 71) > 朝阳河 (1. 70); 均匀度 *J* 值为: 横港 (0. 93) > 曹杨环浜 (0. 77) > 朝阳河 (0. 70) > 午潮港 (0. 69); 物种丰富度指数 *D* 值为: 曹杨环浜 (1. 59) > 午潮港 (1. 43) > 横港 (1. 31) > 朝阳河 (1. 29)。

各指数冬季不同月份的变化规律不尽相同。多样性指数 *H* 值的变动, 午潮港和横港为 2007年 11月 > 2007年 12月 > 2008年 1月, 朝阳河 2007年 11月 > 2008年 1月 > 2007年 12月, 曹杨环浜为 2007年 12月 > 2008年 1月 > 2007年 11月; 均匀度 *J* 值的变动, 午潮港和曹杨环浜为 2007年 11月 > 2007年 12月 > 2008年 1月, 横港和朝阳河为 2007年 11月 > 2008年 1月 > 2007年 12月; 物种丰富度指数 *D* 值的变动, 午潮港为 2007年 11月 > 2008年 1月 > 2007年 12月, 横港、朝阳河和曹杨环浜为 2007年 11月 > 2007年 12月 > 2008年 1月。

生物多样性指数 (*H*) 的变化可以监测水体的污染状况及其水质的变化趋势: 0~ 1表示水质重污染, 1~ 2表示水质 α- 中污型, 2~ 3表示水质 β- 中污型, > 3表示水体清洁。4条河道生物多样性指数冬季平均值均在 1~ 2, 水质状况评价皆为 α- 中污型。

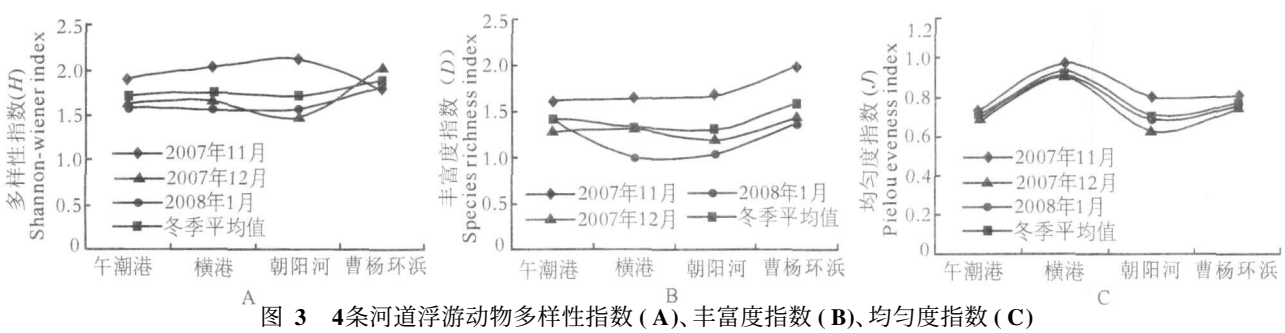

图 3 4条河道浮游动物多样性指数 (A)、丰富度指数 (B)、均匀度指数 (C)

Fig 3 Shannon-Wiener index, Species richness index and Pielou eveness index of zooplankton in four urban rivers

2 5 与环境因子的相关分析

各采样点理化指标分析结果见表 3。

4条河道中浮游动物的种类数、密度、生物量和各生物指数与理化因子的相关性分析结果见表 4。NH_3-N 和 PO_4-P 与浮游动物的种类数、密度和生物量均呈负相关关系, 其中磷酸盐与动物种类数间呈显著负相关 ($P < 0.05$), 与密度和生物量达极显著负相关 ($P < 0.01$); 溶解氧、NO_3-N 和 NO_2-N 则与浮游动物的种类数、密度和生物量都呈正相关关系, 其中硝酸盐与种类数呈显著正相关 ($P < 0.05$), 亚硝酸盐与密度达极显著正相关 ($P < 0.01$)。浮游动物多样性指数 (*H*)、均匀度指数 (*J*) 和丰富度指数 (*D*) 与环境因子间的相关性分析结果为: NH_3-N 和 NO_2-N 与浮游动物的多样性指数

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

有一定的负相关关系, 溶解氧与多样性指数呈现一定的正相关性; PO_4-P与均匀度指数呈显著正相关 ($P<0.05$), 与丰富度指数则呈显著负相关关系 ($P<0.05$); NO_3-N和 NO_2-N与浮游动物的均匀度指数都成负相关关系, 其中 NO_2-N与均匀度指数呈显著负相关 ($P<0.05$)。

表 3　不同样点的理化指标

Tab. 3　Mean values of some physico-chemical parameters

参数 Parameter	采样点 Sampling sites 1	2	3	4	5	6	7	8
Wt/℃	12.2	12.6	12.1	11.4	11.3	11.3	10.7	10.4
pH	7.28	6.89	7.29	7.42	7.22	7.45	7.84	7.47
DO/mg·L^{-1}	4.5	12.1	2.4	2.7	8.2	6.4	8.3	8.6
NH_3-N/mg·L^{-1}	6.87	3.65	5.57	5.23	2.63	4.73	1.60	3.50
PO_4-P/mg·L^{-1}	0.70	0.55	3.17	4.23	0.70	0.93	1.40	1.65
NO_3-N/mg·L^{-1}	0.341	0.253	0.127	0.301	0.305	0.461	0.401	0.500
NO_2-N/mg·L^{-1}	0.291	0.126	0.033	0.032	0.215	0.196	0.014	0.006

表 4　浮游动物与环境因子的相关系数 (*R*)

Tab. 4　The correlation of zooplankton and environmental factors

参数 Parameter	种类 Species	密度 Density	生物量 Biomass	多样性指数 *H* Shannon-Wiener index	均匀度指数 *J* Pielou eveness index	丰富度指数 *D* Species richness index
Wt	-0.417	0.077	-0.126	0.078	0.151	-0.161
pH	0.189	-0.290	0.028	-0.053	0.020	0.102
DO	0.631	0.415	0.535	0.578	-0.269	0.614
PO_4-P	-0.828*	-0.845**	-0.876**	-0.154	0.785*	-0.781*
NH_3-N	-0.431	-0.038	-0.364	-0.578	-0.028	-0.444
NO_3-N	0.724*	0.376	0.482	-0.209	-0.554	0.331
NO_2-N	0.363	0.857**	0.677	-0.509	-0.757*	0.142

注: * 表示 $P<0.05$, ** 表示 $P<0.01$

3　讨论

浮游动物的分布广, 散布能力较强, 但不同水体中浮游动物的群落结构却有一定的差异, 这种差异主要与水体中理化因子的含量和变化相关 (许木启等, 1995)。本次调查中的浮游动物包括轮虫、枝角类和桡足类, 群落结构特点以小型浮游动物为主, 大型浮游动物在总种类数中所占的比例较小。这与国内外已有河流、水库、湖泊的浮游动物比例组成结果相类似 (马徐发等, 2005; 谢进金等, 2005; 吴利等, 2008; 刘超等, 2007; Marcos GN, 2001)。所调查的河道中枝角类和桡足类出现较少, 且无优势种, 可能与其对温度和水质要求较高有关 (薛俊增等, 2006; 李共国等, 2001; Wolfinbarger WC, 1999; 吴振斌等, 2007)。河道的底泥疏浚工程对枝角类、桡足类等大型浮游动物的影响也较大。本次调查期间 2007年 12月, 河道管理部门对午潮港部分河段进行了再次的清淤, 使浮游动物的群落结构阶段性地向小型化的方向发展, 这与王小雨等 (2005) 对底泥疏浚前后长春南湖浮游生物群落变化的研究结果相似。轮虫是调查河道中的主要的优势类群, 出现这种现象的原因主要是: 其一, 内河出现的轮虫多为广温性种类, 对水温的适应范围较广; 其二, 冬季里以轮虫为捕食对象的大型浮游动物的减少, 也造成了轮虫种类和密度的增加 (Couch KM et al, 1999); 其三, 轮虫的 r策略生存原则 (r策略者在适合条件下采用快速增殖的方法达到较大密度), 使它们能够在不稳定和理化状况经常变化的水体中生存下来 (Matsumura-Tundisi T et al, 1981)。Dumont (1977) 认为轮虫食物的可塑性也是轮虫分布较广的原因, 藻类、自养型鞭毛虫、小型纤毛虫、细菌及腐殖质均可作为轮虫的食物来源, 这样可以减少其对食物的竞争压力。本次调查的优势种轮虫中大多数为一些耐污种、中污带指示种, 如懒轮虫、长足轮虫、萼花臂尾轮虫、螺形龟甲轮虫等, 温新利等 (2006) 认为这些指示轮虫的出现提示水体有朝富营养化发展的趋势。以上结果表明, 这些经初步修复后的河道其水质恢复和稳定状况不容乐观, 需进一步的修复和巩固治理。

浮游动物的分布与环境因子间的相关性分析表明, 氮磷的含量对浮游动物的种类、密度和生物量的分布有一定影响。(1) 硝酸盐和亚硝酸盐含量与浮游动物种类和密度均有一定的正相关性。杨桂军等 (2007) 对太湖轮虫季节变化的研究显示, 轮虫的数量与总氮呈显著正相关; 刘超等 (2007) 认为在一定

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

范围内水体中氮含量增高有利于轮虫的生长繁殖。(2)氨氮和亚硝酸盐含量与浮游动物的多样性指数有一定的负相关关系。可能是因为多样性指数是综合衡量群落的均匀度和丰富度的一个指数,而本次调查中一些优势种类的数量较多,使得生物多样性的计算值偏低。(3)磷酸盐与浮游动物的种类、密度和生物量有显著的负相关性。磷是淡水生态系统中营养的主要限制因子,磷的浓度与浮游植物生物量的代表参数——叶绿素 a有一定的正相关关系(刘鸿亮等, 1987)。推测原因是磷的增加促进了水体中藻类的增长,藻类的大量繁殖消耗了水体中的氮,改变了水体中的氮磷比,从而使浮游动物的分布发生变化。李共国等(2005)对疏浚前后杭州西湖枝角类群落结构的研究也得出"枝角类年平均生物量与总磷含量之间呈显著负相关关系"的相似结论。(4)溶解氧与浮游动物的种类关系密切,说明浮游动物的分布在一定程度上受溶解氧含量的影响,但还没有达到显著相关的程度。因为冬季水体中含氧量较高,而浮游动物种类相对较少,活动能力不强,因此溶解氧没有成为影响浮游动物生长的重要制约因素。

目前,水体的理化指标是水质评价的重要参数,但它们仅能反映水体监测瞬时的环境状况,而掌握了生物组成和分布与环境因子间的相关规律,就可以通过生物群落结构的变化对水质的变化趋势进行预测,从而为河道初步修复后效果的巩固和进一步治理提供指导。

参考文献:

陈美发. 2003. 上海市河道治理现状及展望[J]. 城市道桥与防洪, (1): 43-45.

蒋燮治, 堵南山. 1979. 中国动物志 淡水枝角类[M]. 北京: 科学出版社.

李共国, 吴芝瑛, 虞左明. 2005. 疏浚工程前后杭州西湖枝角类群落结构的变化[J]. 生物多样性, 13(3): 248-254.

李共国, 虞左明. 2001. 千岛湖枝角类的群落结构[J]. 浙江万里学院学报, 14(2): 51-55.

李共国, 虞左明. 2003. 千岛湖轮虫群落结构及水质生态学评价[J]. 湖泊科学, 15(2): 169-175.

刘超, 禹娜, 陈立侨, 等. 2007. 上海市西南城郊河道春季的浮游生物组成及水质评价[J]. 复旦学报: 自然科学版, 46(6): 36-42.

刘鸿亮, 金相灿, 屠清瑛, 等. 1987. 湖泊富营养化调查规范[M]. 北京: 中国环境科学出版社.

马徐发, 熊邦喜, 王卫民, 等. 2005. 道观河水库浮游动物的群落结构与物种多样性[J]. 华中农业大学学报, 24(1): 63-67.

上海市水务局. 2006. 上海市河道报告[EB/OL]. http://shanghai.gov.cn/shanghai/node2314/node2315/node4411/userobject21ai222926.htm. 2007-06/2007-09-08.

王家楫, 等. 1961. 中国淡水轮虫志[M]. 北京: 科学出版社.

王小雨, 冯江, 李贺. 2005. 底泥疏浚前后长春南湖浮游生物群落变化研究[J]. 东北师大学报: 自然科学版, 37(3): 90-94.

汪松年. 2005. 河道、湖泊在上海水环境中的作用[J]. 上海建设科技, (5): 22-24.

吴芙蓉. 2006. 江苏水文化旅游资源开发初探[J]. 江苏商论, (12): 56-58.

温新利, 席贻龙, 张雷, 等. 2006. 芜湖市镜湖轮虫群落结构分析及水质的生态学评价[J]. 水生生物学报, 30(2): 152-158.

吴利, 冯伟松, 陈晓娟, 等. 2008. 新疆伊犁地区夏季浮游动物群落结构特征[J]. 应用生态学报, 19(1): 163-172.

吴振斌, 刘爱芬, 吴晓辉, 等. 2007. 人工湿地循环处理的养殖水体中浮游动物动态变化[J]. 应用与环境生物学报, 13(5): 668~673.

谢进金, 许友勤, 陈寅山, 等. 2005. 晋江流域水质污染与浮游动物四季群落结构的关系[J]. 动物学杂志, 40(5): 8-13.

薛俊增, 韩新芹, 蔡庆华, 等. 2006. 香溪河库湾枝角类的种类组成及垂直分布[J]. 水生生物学报, 30(1): 120-122.

许木启, 许江. 1995. 从浮游动物种类多样性变化看白洋淀富营养化的发展[C]. 许智宏, 等. 首届全国生物多样性保护与持续利用研讨会论文集. 北京: 中国科学技术出版社.

杨桂军, 潘宏凯, 刘正文, 等. 2007. 太湖不同富营养水平湖区轮虫季节变化的比较[J]. 湖泊科学, 19(6): 652-657.

张明凤, 陈寅山, 许友勤. 2003. 福州市内河水质评价[J]. 福建师范大学学报: 自然科学版, 19(4): 56-61.

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.

中国科学院动物研究所甲壳动物研究组. 1979. 中国动物志 淡水桡足类[M]. 北京: 科学出版社.

Couch KM, Burns CW, Gilbert JJ. 1999. Contribution of rotifers to the diet and fitness of *Boeckella* (Copepoda: Calanoida)[J]. Freshwater Biology, 41: 107-118.

Dumont HJ. 1977. Biotic factors in the population dynamics of rotifers[J]. Arch. Hydrobiol, 8: 98-122.

Froneman PW. 2004. Zooplankton community structure and biomass in a southern African temporarily open/closed estuary[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 60: 125-132.

Margalef DR. 1958. Information theory in ecology[J]. Gen

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Syst, 3: 36-71.
Pielou EC. 1966. Species-diversity and pattern-diversity in the study of ecological succession[J]. Journal of Theoretical Biology, 10: 370-383.
Marcos GN. 2001. Zooplankton composition, dominance and abundance as indicators of environmental compartmentalization in Jurumirim Reservoir (Paranapanema River), S o Paulo, Brazil[J]. Hydrobiologia, 455: 1-18.
Matsumura-Tundisi T, K. Hin& S. M. Claro. 1981. Limnological studies at 23 reservoirs in southern part of Brazil[J]. Verh. int ver. Limnol, 21: 1 040-1 047.
Shannon CE, Weaver W. 1949. The Mathematical Theory of Communication[M]. Urbana: University of Illinois Press.
WolfinbargerWC. 1999. Influences of biotic and abiotic factors on seasonal succession of zooplankton in Hugo Reservior, Oklahoma, U.S.A [J]. Hydrobiologia, 400: 13-31.

(责任编辑　张俊友)

Preliminary Study on Zooplankton Community Structure of Shanghai Urban Rivers Restored in Winter

LIU Yi, YU Na, XIONG Ze-quan, MAO Kai-yun, LI Er-chao, CHEN Li-qiao

(School of Life Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: Zooplankton communities were investigated monthly (Nov. 2007~Jan. 2008) in the four rivers being restored primarily within Shanghai city zone, including Whuchaogang River, Hegang River, Chaoyang River and Caoyanghuanbang River. A total of 32 species were collected and identified, including 27 species in Rotifera (85% of the total), 3 species in Cladocera (9% of the total) and 2 species in Copepoda (6% of the total). Dominant species were *Rotaria rotatoria*, *Rotaria neptunia*, *Brachionus calyciflorus*, *Keratella cochlearis*, *Polyarthra dolichoptera*, and *Filinia passa*. The range of average zooplankton abundance in four rivers was 155.17~2114.17 ind./L, the maximum value (3 850 ind./L) occurred in Chaoyang River in Jan. 2008, and the range of biomass was 0.50~5.76 mg/L, the maximum value (9.83 mg/L) occurred in Chaoyang River in Nov. 2007. In winter, the average values of Shannon-Wiener index (H), Pielou eveness index (J) and Species richness index (D) of zooplankton in the four rivers revealed a very similar trend. The Shannon-Wiener index (H) showed Caoyanghuanbang River (1.87) > Hegang River (1.74) > Whuchaogang River (1.71) > Chaoyang River (1.70); The Pielou eveness index (J) showed Hegang River (0.93) > Caoyanghuanbang River (0.77) > Chaoyang River (0.70) > Whuchaogang River (0.69); The Species richness index (D) showed Caoyanghuanbang River (1.59) > Whuchaogang River (1.43) > Hegang River (1.31) > Chaoyang River (1.29). According to the Pearson correlation analysis results, there was a significant relationship between the community structure of zooplankton and the content of phosphate, nitrate, nitrite in the four rivers. The content of phosphate had a significant negative correlation with species ($P < 0.05$), abundance and biomass ($P < 0.01$) of zooplankton; Phosphate also had a positive correlation with Species richness index. Nitrate had a significant positive correlation with species ($P < 0.05$); nitrite also significant correlated to the abundance ($P < 0.01$) and Pielou eveness index ($P < 0.05$) of zooplankton.

Key words: Zooplankton; Community structure; Influential factors; Correlation analysis; River restore

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net