

文章编号:1000-5641(2010)06-0091-10

上海城区小型河道生物组成特征及食物链结构分析

禹娜, 刘一, 姜雪芹, 熊泽泉, 毛开云, 戴奇,
李二超, 陈立侨

(华东师范大学 生命科学学院, 上海 200061)

摘要: 2007年11月-2008年10月对上海市城区4条小型河道(曹杨环浜、午潮港、横港和朝阳河)中的生物组成进行了调查分析. 结果共鉴定浮游植物268种, 浮游动物157种, 大型底栖动物21种, 高等植物10种, 鱼类13种. 浮游植物包括绿、裸、硅、蓝、黄、隐、甲和金藻8个类群, 其中以绿、裸、硅和蓝藻数量最多; 浮游动物中原生动物、轮虫、枝角类和桡足类分别为94种(不含植鞭毛虫)、44种、13种和6种; 底栖动物中软体动物14种, 环节动物3种, 甲壳动物和水生昆虫幼体各2种; 鱼类包括7科, 分别为鲤科、鲈科、塘鳢科、斗鱼科、鰕虎鱼科、鳢科和合鳃鱼科, 其中鲤科最为丰富, 占全部鱼种的53.8%; 高等植物包括沉水植物4种、挺水植物4种及浮叶植物2种. 曹杨环浜的浮游植物、浮游动物、底栖动物、鱼类和高等植物的种类均最为丰富, 且浮游植物和鱼类的组成较均一, 无明显优势种, 高等植被密度大, 以沉水植物为主; 横港浮游生物种类最少, 脊椎动物仅见外来小型鱼类食蚊鱼, 高等植物则以挺水植物为主, 分布区域较为集中; 午潮港和朝阳河的浮游植物以蓝绿藻为优势种, 高等植物分别仅1和2种, 且密度小、覆盖率低. 4条河道的生物食物链结构都趋于简单化, 且能量输出方式较为单一. 鉴于上述情况, 建议在今后的生态修复中要因河道而异, 适当改善底栖动物、鱼类和水生高等植物的组成结构, 增加物种丰富度, 促进食物链结构复杂化.

关键词: 城区; 河道; 生物组成; 食物链结构; 上海市

中图分类号: Q948.12 **文献标识码:** A

Analysis on biological composition and food-chain structure in the urban rivers of Shanghai

YU Na, LIU Yi, JIANG Xue-qin, XIONG Ze-quan, MAO Kai-yun, DAI Qi,
LI Er-chao, CHEN Li-qiao

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

Abstract: The community structure, biodiversity and dominant species of the four urban rivers

收稿日期:2010-01

基金项目: 国家自然科学基金(30700064); 上海市科委科技项目(08DZ1203101, 08DZ1203102, 09DZ120010A); 上海高校选拔培养优秀青年教师科研专项基金(79001351)

第一作者: 禹娜, 女, 博士, 副教授, 主要从事水生生态学研究. E-mail: nyu@bio.ecnu.edu.cn.

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

in Shanghai (Caoyanghuanbang River, Henggang River, Wuchaogang River and Chaoyang River) were investigated during the period of Nov. 2007 to Oct. 2008. Totally, 268 species of phytoplankton, 157 species of zooplankton, 21 speices of macrobenthos, 10 speices of higher plants and 13 speices of fish were identified. In phytoplankton, Chlorophyta, Euglenophyta, Bacillariophyta, Cyanophyta had the highest richness. There were 94 species of protozoan, 44 species of rotiferan, 13 species of cladoceran and 6 species of copepodan in the zooplankton group; the macrobenthos included 14 mollusks, 3 annelidans, 2 crustaceans and 2 insect larvae; fishes belonged to 7 families in which Cyprinidae was the most abundant species (53.8%). Higher plants included 4 species of submerged plants, 4 species of emerged plants and 2 species of floating plants. The biodiversity of phytoplankton, zooplankton, macrobenthos, fish and higher plants were much higher in Caoyanghuanbang River than the other three, and there was no dominant species for each group, and vegetation was of high density and mainly was emerged-plants. While, in Henggang River, the biodiversity of phytoplankton was the lowest and mosquito-eating fish was the only vertebrate species, the most abundant plant was the submerged species. The biomass in Wuchaogang River and Chaoyang River was the lowest among the four rivers in which the dominant species of phytoplankton were Cyanophyta and Chlorophyta. The four rivers were all identified as having simplified food webs based on the analysis of the community composition and distribution of the dominant species. Further suggestions were made that the process of ecological restoration should be different due to the different biotic-component-types of rivers with the aim of enhancing the community structure and the food-chain construction.

Key words: urban area; river; biological composition; food-chain construction; Shanghai

0 引 言

目前上海中心城区河道基本消除了黑臭现象,水质得到了明显的改善^[1]. 2006 年开始实施的第三轮“环保三年行动计划”将“巩固和提高中心城区河道基本消除黑臭的成果”作为水环境整治的目标^[2],上海水环境的治理进入了一个新的阶段,同时对水环境的治理工作也提出了更高的要求. 如何进一步改善已经基本消除黑臭河道的水质,逐步恢复水体中的生物多样性,构建完整的水生食物链、实现生态系统的良性自循环等问题就提到了议事日程. 为了构建和维持水生生态良性自循环系统,首先应在充分了解水体自身生物组成及食物链现状的基础上才能制定正确、恰当的实施计划. 为此,我们于 2007 年底开始对上海市城区内部分河道中的水生生物进行了调查研究,拟通过分析各河道的生物组成和食物链结构来探讨不同河道的现状,为进一步的河道治理工作提供依据.

1 材料与方法

1.1 样地

本次调查选取城区内已经初步治理的 4 条不同生态类型河道作为研究对象,它们分别是午潮港(砌石普通驳岸,以沉积淤泥为底,具少量水生植物)、横港(缓坡、阶梯复合驳岸,以沉积淤泥为底,两岸以挺水植物为主)、朝阳河(砼、石驳岸,以石块为底,罕有水生高等植物)和曹杨环浜(砼、石驳岸,以沉积淤泥为底,具丰富的沉水植物). 其中依据河道的环境地理状

况,在每条河道设两个具有代表性的样点,自 2007 年 11 月至 2008 年 10 月间逐月定时进行生物样的采样.河道位置和采样点分布见文献^[3].

1.2 取样和处理方法

浮游生物 定性采集浮游植物及浮游动物中的原生动物时采用 25 号(网孔 0.064 mm)、其他浮游动物用 13 号(网孔 0.113 mm)手抄网在水中进行“∞”形捞取;定量取样时用 5 L 的采水瓶分别采集各样点河道表层和中层的水样,在大型容器中混匀后,取其中 2 L 分装于两个样瓶中,经鲁哥氏液固定后,带回实验室中分别用于浮游植物和原生动物的计数和鉴定;其余水样经网孔 0.064 mm 的滤网过滤后,置于样瓶中,加 4% 的福尔马林固定后带回实验室用于其他浮游动物的计数和鉴定.样品在实验室沉淀 48 h 后浓缩计数,计数方法参考相关文献^[4].种类鉴定采用镜检的方法,依据相关文献进行鉴定^[5-8].

底栖动物 直接用底泥抄网或开口面积为 1/16 m² 的彼得逊采泥器分别进行定性和定量采集,获取的的泥样经 35 目(0.500 mm)筛网在水中进行筛洗,将截留于筛网上的混合样(包括石块等杂质和动物样)中的底栖动物检出并置于样瓶中,现场加入 4% 的福尔马林后,带回实验室进行鉴定和计数.鉴定依据相关文献^[9].

鱼类 逐季对所调查的河道进行鱼类资源现状调查.采样方法主要参考《内陆渔业自然资源调查手册》^[10],运用挂网、捞网和拖网等工具,采取定点下网和现场收集相结合的方法捕获鱼类,采集的水层包括表、中和底 3 层.鱼类的鉴定参照相关文献^[11-16].

2 结果与分析

2.1 种类组成

本次调查共鉴定浮游植物 268 种,浮游动物 157 种(原生动物中不含植鞭毛虫),大型底栖动物 21 种,高等植物 10 种,鱼类 13 种.在 4 条河道中各类群的分布状况有所不同,具体见表 1.其中曹杨环浜的浮游植物、浮游动物、底栖动物、高等植物和鱼类均最为丰富,分别为 158 种、88 种、17 种、7 种和 12 种.除高等植物和鱼类在 4 条河道间的种类组成数量分布差异较大外,其他生物类群的分布相近,但物种组成数量差异未达显著水平.

表 1 4 条河道中的生物组成
Tab.1 The biological composition of four rivers in Shanghai

	浮游植物	浮游动物	底栖动物	高等植物	鱼类	合计
朝阳河	147	78	8	2	7	242
午潮港	140	73	13	1	2	229
横港	139	67	12	5	1	224
曹杨环浜	158	88	17	7	12	282
合计	268	157	21	10	13	

浮游生物 浮游植物包括绿、裸、硅、蓝、黄、隐、甲和金藻 8 个类群,分别为 110,51,51,35,13,3,2 和 2 种,其中绿、裸、硅和蓝藻数量最多,分别占 41.04%,19.03%,19.03%和 13.06%,其他藻类仅占 7.46%.157 种浮游动物中,原生动物最丰富,隶属于 3 纲 56 属,其中纤毛虫包括 40 属 65 种,肉足纲 13 属 23 种,动鞭毛虫的种类较少,仅 3 属 6 种;轮虫 44 种,隶属于 10 科 21 属;枝角类 13 种,隶属于 6 科 8 属;桡足类 6 种,隶属于 4 科 4 属.此外,

大量甲壳动物无节幼体并未统计于本文中。

底栖动物 本次调查共检出底栖动物 21 种, 共计 4 个类群。其中软体动物 14 种, 占 66.67%, 隶属于环棱螺(*Bellamya*)、田螺(*Cipangopaludina*)、角螺(*Angulyagra*)、狭口螺(*Stenothyra*)、豆螺(*Bithynia*)、沼螺(*Parafossarulus*)、涵螺(*Alocinma*)、钉螺(*Oncomelania*)、膀胱螺(*Physa*)、圆扁螺(*Hippeutis*)和萝卜螺(*Radix*) 11 个属; 环节动物 3 种, 占总种类数的 14.29%, 分别为霍甫水丝蚓(*Limnodrilus hoffmeisteri*)、淡水单孔蚓(*Monopylephorus limosus*)和苏氏尾鳃蚓(*Branchiura sowerbyi*); 甲壳动物 2 种(占 9.52%), 包括广布种介形类克氏瘤丽星介(*Physocypria kraepelini*)及软甲类克氏螯虾(*Procambarus olarkii*), 两者对水环境的适应能力都十分强; 水生昆虫 2 种, 分别是水生昆虫为摇蚊(*Chironomus* sp.)和蜉蝣(*Ephenera* sp.)的幼虫。

鱼类 隶属于 7 科, 其中鲤科最多, 共 7 种, 占 53.8%, 它们分别为鲫鱼(*Carassius auratus*)、鲤鱼(*Cyprinus carpio*)、麦穗鱼(*Pseudorasbora parva*)、鲮(*Hemiculter leucisculus*)、中华鲮(*Rhodeus sinensis*)、鲢鱼(*Hypophthalmichthys molitrix*)和鳙鱼(*Aristichthys nobilis*); 其它 6 种鱼类为食蚊鱼(*Gambusia affinis*)、黄魮(*Hypseleotris swinhonis*)、圆尾斗鱼(*Macropodus chinensis*)、子陵吻鰕虎鱼(*Rhinogobius giurinus*)、乌鳢(*Ophicephalus argus*)和黄鳝(*Monopterus albus*)分属鲮科、塘鳢科、斗鱼科、鰕虎鱼科、鳢科和合鳃鱼科。

高等植物 河道中的 10 种高等植物分属 3 种植被类型, 其中沉水植物 4 种, 分别为金鱼藻(*Ceratophyllum demersum*)、黑藻(*Hydrilla verticillata*)、伊乐藻(*Elodea nuttalli*)和马来眼子菜(*Potamogeton malaianus*); 挺水植物 4 种, 分别为梭鱼草(*Pontederia cordata*)、菖蒲(*Acorus calamus*)、香菇草(*Hydrocotyle vulgaris*)和喜旱莲子草(*Alternanthera philoxeroides*); 浮叶植物 2 种, 为浮萍(*Lemna minor*)和睡莲(*Nymphaea tetragona*)。水生植物主要分布于曹杨环浜和横港; 而以水泥石砌为驳岸、石块为底、水体较深的朝阳河, 缺少大型水生植物, 仅有少量的浮萍及马来眼子菜; 此外, 污染较为严重的午潮港几乎无水生植物生长, 仅部分区段见黑藻, 且数量极少。

2.2 优势种

浮游植物 浮游植物的优势种群较多, 其中包括蓝藻门的棒条藻(*Rhabdoderma* sp.)、颤藻(*Oscillatoria* sp.)、小席藻(*Phorimidium tenuis*), 绿藻门的纤维藻(*Dactylococcopsis* sp.)、小球藻(*Chlorellavulgaris* sp.)、多芒藻(*Golenkinia radiata*)、卵囊藻(*Oocystis* sp.)、衣藻(*Chlamydomonas* sp.)和鼓藻(*Cosmarium* sp.), 硅藻门的扭曲小环藻(*Cyclotella comta*)和星形冠盘藻(*Stephanodiscus astraes*), 黄藻门的黄丝藻(*Tribonema* sp.), 隐藻门的尖尾蓝隐藻(*Chroomonas acuta*)、卵形隐藻(*Ocroptomonas ovata*)和啃蚀隐藻(*Cryptomonas erosa*), 甲藻门的二角多甲藻(*Peridinium bipes*)等。随着季节的变化, 4 条河道的优势种存在明显不同。其中扭曲小环藻和小球藻为全年优势种; 纤维藻属和球藻属在气温高时占优势, 而气温低时, 球藻属和硅藻占优势。此外, 在 4 条河道中, 水质较好的曹杨环浜其优势种群不明显, 而水质较差的朝阳河和午潮港其优势种较多且较明显, 多为耐污性强的蓝、绿、硅和隐藻。

浮游动物 原生动物均以纤毛类最为丰富, 但以鞭毛类中耐污性强的波豆虫(*Bodo* sp.)为常见优势种, 曹杨环浜优势度不明显; 而午潮港、横港和朝阳河除数量最为突出的波

豆虫外,还包括纤毛类中的大蓝环虫(*Cyrtolophosis major*)和僧帽斜管虫(*Chilodonella cucullulus*)等耐污性强的优势种。轮虫的优势种主要为转轮虫(*Rotaria rotatoria*)、长足轮虫(*R. neptunia*)、萼花臂尾轮虫(*Brachionus calyciflorus*)、螺形龟甲轮虫(*Keratella cochlearis*)、前节晶囊轮虫(*Asplachna priodonta*)、长肢多肢轮虫(*Polyarthra dolichoptera*)和跃进三肢轮虫(*Filinia passa*);大型浮游动物中枝角类优势种为大型溞(*Daphanosoma magna*)和发头裸腹溞(*Moina irrasa*),两者主要在夏季大量暴发,而桡足类以广布中剑水蚤(*Microcyclops leuckarti*)数量最多,为广布性兼性种类,全年都有出现。

底栖动物 以软体动物梨形环棱螺(*Bellamya purificata*)和铜锈环棱螺(*B. aeruginosa*)、环节动物霍甫水丝蚓和苏氏尾鳃蚓、甲壳动物克氏瘤丽星介及水生昆虫摇蚊幼虫分布最为广泛。其中大型底栖动物梨形环棱螺和铜锈环棱螺及环节动物霍甫水丝蚓数量最多,这三者为调查河道中的优势种。因曹杨环浜、午潮港和横港为淤泥底质,适于软体动物栖息,所以软体动物种类较为丰富,但优势种不突出;此外曹杨环浜中环节动物数量也十分丰富,优势种也不明显;午潮港的环节动物数量仅次于曹杨环浜,并以霍甫水丝蚓为绝对优势种。

鱼类 通过全年的调查发现,鱼类组成无明显的季节差异。13种鱼中,仅小型耐污鱼种食蚊鱼分布最广泛,出现于全部4条河道;鲫鱼也出现在除横港外其他3条河道中;而中华鲮、鲢鱼、黄鲂、圆尾斗鱼和子陵吻鰕虎鱼仅出现在曹杨环浜。除曹杨环浜中各种鱼类分布比较均一,无明显优势种外,其他3条河道均以食蚊鱼为优势种,其中横港仅发现食蚊鱼一种鱼,而朝阳河中鲫鱼和鲈的数量也相当可观,仅次于食蚊鱼。食蚊鱼在所调查的4条河道中均有分布,且数目巨大,目前已成为上海市河道中的优势鱼种。食蚊鱼作为外来物种,迄今尚未见到对上海市河道水生态系统影响方面的研究报导,但从有限资料^[17]看,食蚊鱼的大量繁殖会导致其他本地鱼种的减少,因此河道中食蚊鱼大量存在这一现象应引起关注。

高等植物 主要以沉水植物马来眼子菜和金鱼藻、挺水植物梭鱼草和喜旱莲子草,及浮叶植物睡莲为优势种。其中马来眼子菜主要出现在曹杨环浜,其生长极为繁茂,常有黑藻和金鱼藻伴生;朝阳河偶见马来眼子菜,但数量不多,零星分布于近岸带。金鱼藻主要出现于曹杨环浜花溪路枫桥路交叉口段,伴生种类有伊乐藻、黑藻和睡莲等,但数量有限。梭鱼草和喜旱莲子草于夏秋季生长旺盛,呈片状分布于横港近岸带,其中梭鱼草于横港的富水路水泉路交叉口段最为丰富,伴生有菖蒲、浮萍等;喜旱莲子草常有金鱼藻和黑藻等伴生,有时还与睡莲一起大量存在。睡莲多为其他群落的伴生种,在河道中的分布面积相对较小,仅曹杨环浜的部分河段呈优势种。

2.3 食物链结构分析

食物链的复杂程度可一定程度上反映河道生态系统的稳定性状况^[18]。图1是依据自然河道中生物组成状况构建的一个食物链示意图。

4条河道中的食物链结构都趋于简单化,且能量输出方式也较为单一,均未通过底栖动物途径输出,因而大量底栖动物死亡后通过微生物的分解,能量依然存留在水体中;横港几乎不存在鱼类,能量输出仅靠挺水植物收割一种方式;午潮港和朝阳河中水生植物匮乏,极少量的分布对河道的生态系统几乎无任何作用,其中午潮港无肉食性鱼类存在,因而完全无能量输出,如果遇外界环境变化,极易引起水体中的藻类大量繁殖,形成水华暴发;而朝阳河也仅以垂钓一种方式进行能量输出,营养物质的输入远远大于输出,所以易导致水体富营养化加剧。总之,较为单一的食物链结构不利于生态系统的稳定,易受外界环境的干扰。

河道生态系统中的自然食物链主要包括 5 个环节,即浮游生物(包括浮游植物和浮游动物)、底栖动物、高等植物、鱼类(植食性、滤食性和肉食性鱼类)和微生物,结合 4 条河道的生物组成特征分析后发现,曹杨环浜的浮游植物、浮游动物、底栖动物、鱼类和高等植物的种类均最为丰富,且浮游植物和鱼类的组成较均一,无明显优势种,植被密度高,因此,曹杨环浜的生物大类群组成相对较合理.但各类群内的物种多样性有所欠缺,如:植被以沉水植物为主,尽管避免了挺水植物对水体光照的影响,但也丧失了吸引两栖类、爬行类和鸟类等脊椎动物的机会;曹杨环浜中大型底栖软体动物较为单一,以螺类为优势类群,缺少蚌类;尽管鱼类组成较为丰富,但缺少较大型的植食性和肉食性物种;能量的输出方式以人工打捞沉水植物为主,垂钓鱼类为辅,因此需要人工的良好维护和管理.横港在 4 条河道中是仅有的一条缓坡、阶梯复合驳岸的河道,两岸种植了大量的挺水植物,自然条件较其他河道优越,但从生物组成上看,横港除外来小型鱼类食蚊鱼外,无其他脊椎动物存在,其中的浮游动物种类也低于其他河道(见表 1),此外,横港的底质相似于曹杨环浜,为泥质,但未见双壳类软体动物存在.而午潮港和朝阳河的高等植物分别仅 1 和 2 种,且量极少,几乎对河道生态系统无大的贡献,又几乎无经济型底栖动物和鱼类,因此水体中缺乏有效的能量输出途径,但两河的浮游植物又均以蓝、绿藻等为优势种,过量营养物质在条件适宜时最易导致藻类的大量繁殖.

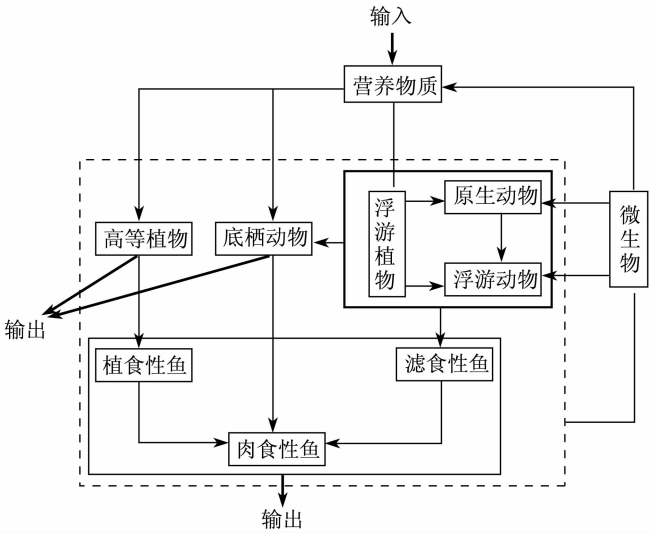


图 1 自然河道中食物链示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the food-chain in the natural rivers

3 讨 论

3.1 食物链中浮游生物的组成特征

浮游生物指能在水域中营自由漂流生活的生物,其包括浮游植物和浮游动物两个类群,它们在水体生态系统中的物质转化和能量流动等方面发挥着极其重要作用^[19-21].由于浮游生物个体小、结构简单、生活世代短等特点,能够灵敏反映水体环境变化,因此其群落结构与功能的变化可以直接或间接地反映水质的状况及其发展趋势^[22].研究结果显示,曹杨环浜中浮游生物最为丰富,其中原生动物无明显优势种;而其他 3 条河道中浮游植物都具有优势种,其中水质较差的朝阳河和午潮港中优势种明显,多为耐污性强的蓝、绿、硅和隐藻,3 条

河道中原生动物的优势种均为波豆虫、大蓝环虫和僧帽斜管虫等耐污性物种.上述结果暗示4条河道中曹杨环浜水环境相对较好,这与本实验室此前有关报导^[23]相符.此外,该结果也从对食物链结构的分析中得到了印证,4条河道中横港、午潮港和朝阳河的食物链结构与曹杨环浜相比,出现不同程度的简化.其中午潮港最为严重,因无能量输出,营养物质大量积累在水体及沉积物中,极易造成藻类大量繁殖,为防止水体富营养化加剧,需通过清淤和水循环等物理方法对午潮港进行整治和维护.此外,植食性浮游动物可通过捕食和营养再生对浮游植物造成直接或间接影响^[24].资料显示,浮游动物的捕食作用能够控制可食性自养生物的生物量^[25].因此,在藻类大量繁殖的水体中,通过改变捕食者(鱼类)的种类组成或直接投放大型植食性浮游动物(如枝角类)也不失是个好办法.

3.2 食物链中底栖动物的组成特征

底栖动物是水生态系统中最重要定居动物代表类群之一,影响着水生态系统中的物质分解和能量循环,如在水底能加速碎屑的分解,并能调节沉积物-水体之间的物质交换,促进水体自净等^[26].本研究4条河道中大型底栖动物组成以螺类和颤蚓为主,其中的优势种包括梨形环棱螺和铜锈环棱螺及霍甫水丝蚓,与此前有关上海市苏州河的报导^[27]相似.在优势种底栖动物中,霍甫水丝蚓是一种很好的有机污染指示生物^[28],其密度与水体营养水平呈正相关^[29],霍甫水丝蚓是午潮港的绝对优势种,因此暗示在4条河道中午潮港的富营养程度最为严重.此外,曹杨环浜中底栖环节动物数量巨大,究其原因,可能是由于前期治理过程中在构建水生动物种群时曾投入大量的水蚯蚓等造成的^[30].

从河道食物链角度看,大型底栖动物以螺类为主,缺少双壳类软体动物.实际上,淡水双壳类软体动物可滤食水体中的游泳藻类等悬浮物质,改善水体的光照条件,进而可能为水体中植被等的恢复创造条件,并逐步恢复良性生态系统^[31,32].吴庆龙等^[33]发现,背角无齿蚌(*Anodonta woodiana*)滤水速率快,对营养物质的同化效率高,且易存活,因而利用它们对富营养化水体中的藻类进行调控会有较好的效果.目前,澳大利亚悉尼市^[34]及我国的西湖^[35]已试用蚌类来改善河道和湖泊的水质.因此,我们建议筛选一些适应性强的本土双壳类,在底质较适于软体动物生存的曹杨环浜和横港可采用直接投放的方式,对水体较深且以石块为底的朝阳河采用挂养的方式,而对水体较深且以淤泥为底的午潮港采用两者相结合的方式增加,以改变底栖动物的结构.

3.3 食物链中高等植物的组成特征

水生高等植物在水体中具有吸收净化营养盐、促淤防蚀、净化水质、抑制藻类生长、为水生动物提供特殊生态栖息环境等作用^[36].从食物链角度看,不同生活型的水生大型植物可以与浮游藻类竞争光照、及N和P等营养物质,从而对浮游植物产生明显的抑制作用^[37].沉水植物与底栖动物螺类间形成互惠关系,前者为螺类提供附着基质和栖息场所,并有助于逃避捕食,而后者为前者清除植物体表面覆盖的附着物质,水草本身又是水生动物的食源,可进一步增加水体食物链的长度和复杂性^[36].但从调查结果显示,4条河普遍存在生物量及覆盖率低、植物配比不合适等问题,如午潮港和朝阳河中水生高等植物不仅种类少,而且几乎无生物量和覆盖率可言;而曹杨环浜以沉水植物马来眼子菜为主,横港以挺水植物梭鱼草和喜旱莲子草为优势种,两河道的植物配比不合理.挺水植物和浮叶植物过多易促进泥沙的沉积,此外浮叶植物会减少水与大气的接触面,使水中溶解氧减少,而沉水植物光合放氧能增加水体溶解氧^[36].因此在生态修复中应因河道而异,其中午潮港和朝阳河需增加植被覆

盖率和生物量;此外 4 条河道需发展以沉水植物为主的合理的植物配比。

3.4 食物链中鱼类的组成特征

Webster^[38]指出活生物量大且转换速率低(寿命长)的生态系统惯性一般较大,而快速转换的生物量(短命生物体)则与生态系统的弹性有关。本次调查的河道中,鱼类组成中 53.85% 为非经济性小型鱼类,其中又以食蚊鱼为绝对优势种,捕获率达 100%。而这些非经济性小型鱼类在生态学上属典型“R”生存策略者,即:体型较小、生命周期较短、繁殖速度快^[39]。小型鱼类中的食蚊鱼、麦穗鱼、黄鲂和鰕虎鱼等可能通过吞噬其他鱼类的受精卵或捕食幼鱼来获取食物,因此这些鱼类的快速繁殖会导致其他鱼类减少甚至消失^[17, 39],使食物链缩短。尽管在曹杨环浜和朝阳河偶儿能够捕获乌鳢和鲤鱼等鱼类,但个体往往相对较小,主要是因人工放养而来^[30],由于目前对垂钓管理力度不够,这些鱼类数量往往不稳定,在放养之初其数量激增,但不久后便难于捕获。从鱼类组成及食物链结构角度讲,目前 4 条河道中鱼类的组成状况不利于构建河道中稳定食物链。因此,建议在河道中投放中大型的肉食性和植食性本土鱼类,以改善河道中鱼类的组成,其中水体较深的朝阳河和午潮港还可以考虑引进营不同水层生活的鱼类,而曹杨环浜和横港可引进适于浅水栖息的鱼类;此外,加强对周边居民的生态保护宣传工作及垂钓管理工作也十分必要。

[参 考 文 献]

- [1] 上海市水务局,上海市海洋局. 上海中心城区河道经多年治理已基本消除黑臭现象[EB/OL]. (2008-11-18) [2009-03-10]. http://www.shanghaiwater.gov.cn/web/tnews_show.jsp?fileId=10035629. SHANGHAI WATER AUTHORITY, SHANGHAI MUNICIPAL OCEAN BUREAU. After years of treatment for the river of shanghai downtown, the phenomenon of black-odor has nearly been eliminated [EB/OL]. (2008-11-18) [2009-03-10]. http://www.shanghaiwater.gov.cn/web/tnews_show.jsp?fileId=10035629.
- [2] 上海市环境保护局. 上海市 2006 年 - 2008 年环境保护和建设三年行动计划[EB/OL]. (2006-01-01) [2009-02-03]. <http://www.envir.gov.cn/info/2006/1/112278.htm>. SHANGHAI ENVIRONMETNAL PROTECTION BUREAU. Three years action plan for Shanghai 2006-2008 environmental protection and construction [EB/OL]. (2006-01-01) [2009-02-03]. <http://www.envir.gov.cn/info/2006/1/112278.htm>.
- [3] 毛开云,禹娜,姜雪芹,等. 冬季上海市城区河道中原生动物群落结构特征[J]. 四川动物, 2009, 28(4): 537-541. MAO K Y, YU N, JIANG X Q, et al. The characteristics of protozoan community structure in the urban rivers of Shanghai in winter [J]. SICHUAN JOURNAL OF ZOOLOGY, 2009, 28(4): 537-541.
- [4] 章宗涉,黄祥飞. 淡水浮游生物研究方法[M]. 北京: 科学出版社, 1991: 1-4141. ZHANG Z S, HUANG X F. Method for the Study of Freshwater Plankton [M]. Beijing: Science Press, 1991: 1-4141.
- [5] 沈韞芬,章宗涉,龚循矩,等. 微生物监测新技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990: 1-524. SHEN Y F, ZHANG Z S, GONG X J, et al. Modern biomonitoring techniques freshwater protozoa[M]. Beijing: China Architecture Industry Press, 1990: 1-524.
- [6] 周凤霞. 淡水微型生物图谱[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 1-367. ZHOU F X, CHEN J H. Atlas of Mini Biology in Freshwater [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005: 1-367.
- [7] 蒋燮治,堵南山. 中国动物志·节肢动物门·甲壳纲·淡水枝角类[M]. 北京: 科学出版社, 1979: 1-297. JIANG X Z, DU N S. Fauna Sinica, Arthropoda, Crustacea, Freshwater Cladocera [M]. Beijing: Science Press, 1979: 1-297.
- [8] 中国科学院动物研究所甲壳动物研究组. 中国动物志·节肢动物门·甲壳纲·淡水桡足类[M]. 北京: 科学出版

- 社, 1979: 1-450.
- Institute of Zoology in Research Group of Carcinology. Fauna Sinica, Arthropoda, Crustacea Freshwater Copepoda [M]. Beijing: Science Press, 1979: 1-450.
- [9] 陈义. 中国动物图谱·环节动物[M]. 北京: 科学出版社, 1959: 1-78.
- CHEN Y. Chinese Animal's Atlas- Tache Animal. Beijing: China Science Press, 1959: 1-78.
- [10] 张觉民, 何志辉. 内陆水域渔业自然资源调查手册[M]. 北京: 中国农业出版社, 1991: 242-298.
- ZHANG J M, HE Z H. Handbook of Fishes and Natural Resources Investigation in Inland Waters[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1991: 242-298.
- [11] 伍献文, 曹文宣, 易伯鲁. 中国鲤科鱼类志(上卷) [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1964: 1-228.
- WU X W, CAO W X, YI B L. The Fish of Cyprinidae in China, Part I [M]. Shanghai: Shanghai Science & Technology Publishing House, 1964: 1-228.
- [12] 伍献文, 曹文宣, 易伯鲁. 中国鲤科鱼类志(下卷) [M]. 上海: 上海人民出版社, 1977: 229-598.
- WU X W, CAO W X, YI B L. The Fish of Cyprinidae in China, Part II [M]. Shanghai: Shanghai Science & Technology Publishing House, 1977: 229-598.
- [13] 伍献文, 杨干荣, 乐佩琦. 中国经济动物志·淡水鱼类[M]. 北京: 科学出版社, 1963: 1-159.
- WU X W, YANG G R, LE P Q. Economic Fauna of China, Freshwater Fishes[M]. Beijing: Science Press, 1963: 1-159.
- [14] 乐佩琦. 中国动物志·硬骨鱼纲鲤形目(下卷) [M]. 北京: 科学出版社, 2000: 1-661.
- YUE P Q. Fauna Sinica · Osteichthyes · Cypriniformes III [M]. Beijing: Sciences Press, 2000: 1-661.
- [15] 陈宜瑜. 中国动物志·硬骨鱼纲鲤形目(中卷) [M]. 北京: 科学出版社, 1998: 1-531.
- CHEN Y Y. Fauna Sinica · Osteichthyes · Cypriniformes II [M]. Beijing: Sciences Press, 1998: 1-531.
- [16] 中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海水产研究所. 上海鱼类志[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1990: 1-402.
- EAST CHINA SEA FISHERIES RESEARCH INSTITUTE, CHINESE ACADEMY OF FISHERIES AND SHANGHAI FISHERIES RESEARCH INSTITUTE. Fishes of Shanghai[M]. Shanghai Scientific & Technical Publishers, 1990: 1-402.
- [17] DUDGEON D, CORLETT R T. Hills and Streams: An Ecology of Hong Kong [M]. Hong Kong: Hong Kong University Press, 1994: 1-244.
- [18] 肖作为, 唐建民. 水域生态系统稳定性的几点讨论[J]. 水产科技, 2006(4): 1-4.
- XIAO Z W, TANG J M. Discussion on the stability of water ecosystems[J]. Fisheries Science & Technology, 2006(4): 1-4.
- [19] 郭沛涌, 沈焕庭, 刘阿成, 等. 长江河口浮游动物的种类组成、群落结构及多样性[J]. 生态学报, 2003, 23(5): 892-900.
- GUO P Y, SHEN H T, LIU A C, et al. The species composition, community structure and diversity of zooplankton in Changjiang estuary[J]. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(5): 892-900.
- [20] 林秋奇, 胡韧, 段舜山, 等. 广东省大中型供水水库营养现状及浮游生物响应[J]. 生态学报, 2003, 23(6): 1101-1108.
- LIN Q Q, HU R, DUAN S S, et al. Reservoir trophic states and the response of plankton in Guangdong Province [J]. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(6): 1101-1108.
- [21] 许木启, 曹宏, 贾沁贤, 等. 青藏高原柴达木盆地东海盐湖浮游生物群落多样性特征的初步研究[J]. 生物多样性, 2002, 10(1) 38-43.
- XU M Q, CAO H, JIA Q X, et al. Preliminary study of plankton community diversity of the Gahai Salt Lake in the Qaidam Basin of the Qinghai-Tibet Plateau[J]. Chinese Biodiversity, 2002, 10(1) 38-43.
- [22] 吴利, 余育和, 张堂林, 等. 牛山湖浮游生物群落 DNA 指纹结构与理化因子的关系[J]. 湖泊科学, 2008, 20(2): 235-241.
- WU L, YU Y H, ZHANG T L, et al. Relationship between DNA fingerprinting structure of plankton community

- and physicochemical factors in Lake Niushan[J]. Journal of Lake Sciences, 2008, 20(2): 235-241.
- [23] 刘超, 禹娜, 陈立侨, 等. 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), 2007, 46(6): 913-919.
- LIU C, YU N, CHEN L Q, et al. Zooplankton communities and bio-assessment of five rivers in the outskirts unit of Southwest Shanghai[J]. Journal of Fudan University (Natural Science), 2007, 46(6): 913-919.
- [24] 高月香, 张永春, 张毅敏. 生物操纵法在太湖流域面源污染强化净化前置库中的应用[J/OL]. 环境污染与防治(网络版), 2007(1): 1-6.
- GAO Y X, ZHANG Y C, ZHANG Y M. Application of biomanipulation in the strengthened purified pre-dam for the non-point pollution control in Lake Tai basin [J/OL]. Environmental Pollution & Control, 2007(1): 1-6.
- [25] YASUNO M, TAKAMURA N, HANAZATO T. Nutrient enrichment experiment using small microcosm [G] // Wetlands and Ecotones: Studies on Land-Water Interactions. New Delhi: National Institute of Ecology and National Scientific Publications, 1993: 181-193.
- [26] 陈家宽. 上海九段沙湿地自然保护区科学考察集[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 151-169.
- CHEN J K. Overview of Shanghai Jiuduansha Wetland Nature Reserve [M]. Beijing: Science Press, 2003: 151-169.
- [27] 刘宝兴, 由文辉. 苏州河大型底栖动物群落结构变化[J]. 生态与农村环境学报, 2006, 22(3): 23-28.
- LIU B X, YOU W H. Changes in community structure of macrobenthos in Suzhou Creek, Shanghai, China[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2006, 22(3): 23-28.
- [28] BRINKBURST R O, COOK D G. Aquatic earthworms (Annelida: Oligochaeta) [M] // Pollution Ecology of Freshwater Invertebrates. New York: Academic Press, 1974: 143-156.
- [29] 龚志军, 谢平, 唐汇涓, 等. 水体富营养化对大型底栖动物群落结构及多样性的影响[J]. 水生生物学报, 2001, 25(3): 210-216.
- GONG Z J, XIE P, TANG H J, et al. The influence of eutrophication upon community structure and biodiversity of macrozoobenthos[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2001, 25(3): 210-216.
- [30] 方涛, 王春树, 陈洪达, 等. 上海曹杨环浜污染水体的生态修复[J]. 中国给水排水, 2005, 21(10): 1-4.
- FANG T, WANG C S, CHEN H D, et al. Ecological restoration of polluted Caoyang River water in Shanghai [J]. China Water & Wastewater, 2005, 21(10): 1-4.
- [31] REEDERS H H, DE VAATE B A. Zebra mussels (*Dreissena polymorpha*): A new perspective for water quality management[J]. Hydrobiologia, 1990, 200/201: 437-450.
- [32] 孙刚, 盛连喜. 湖泊富营养化治理的生态工程[J]. 应用生态学报, 2001, 12(4): 590-592.
- SUN G, SHEN L X. Ecological engineering for eutrophication control in lake [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2001, 12(4): 590-592.
- [33] 吴庆龙, 陈宇炜, 刘正文. 背角无齿蚌对浮游藻类的滤食选择性与滤水率研究[J]. 应用生态学报, 2005, 16(12): 2423-2427.
- WU Q L, CHEN Y W, LIU Z W. Filtering capacity of *Anodonta woodiana* and its feeding selectivity on phytoplankton[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(12): 2423-2427.
- [34] 新华网. 澳大利亚悉尼试用贝类改善河道和湖泊水质[EB/OL]. (2005-03-02)[2009-01-03]. http://news.xinhuanet.com/world/2005-03/02/content_2639964.htm.
- Xinhua News Agency. Mollusca was used as a trial to improve the water quality of rivers and lakes in Sydney (Australia) [EB/OL]. (2005-03-02)[2009-01-03]. http://news.xinhuanet.com/world/2005-03/02/content_2639964.htm.
- [35] YU Z, YAN L, WU J. Studies on the changes of West Lake's zoobenthic communities after Qiantang river water was pumped into it[J]. Journal of Zhejiang University Science, 2002, 3(1): 118-124.
- [36] 王兴民, 许秋瑾, 邢晓丽, 等. 水生高等植物对湖泊生态系统的影响[J]. 山东科学, 2007, 20(2): 29-32.
- WANG X M, XU Q J, XING X L, et al. Effects of macrophyte on the lake ecosystem [J]. Shandong Science, 2007, 20(2): 29-32.