

文章编号: 1674-5566(2014)04-0564-09

上海市河道底栖动物群落结构及其水质评价

陈萍萍¹, 张瑞雷¹, 赵风斌¹, 张 玮², 王丽卿¹

(1. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306; 2. 上海水生环境工程有限公司, 上海 200090)

摘 要: 2012年5月-2013年1月对上海市八区县共8条河道的底栖动物进行了调查, 并对河道的水质进行了生物评价。共鉴定出底栖动物44种, 隶属3门19科33属, 霍甫水丝蚓(*Limnodrilus hoffmeisteri*)和黄色羽摇蚊(*Chironomus flaviplumus*)为主要的优势种。上海市河道底栖动物的年均密度为382 ind/m², 霍甫水丝蚓对其贡献率最大, 其密度为214.1 ind/m², 占总密度的56.1%; 年均生物量为24.62 g/m², 铜锈环棱螺(*Bellamyia aeruginosa*)对其贡献率最大, 其年均生物量为21.17 g/m², 占总生物量的86.0%。各季度底栖动物密度夏季>冬季>春季>秋季, 生物量冬季>秋季>夏季>春季。各个区县河道密度最高的是闸北区徐家宅, 最低的是闵行区友谊河。生物量最高的是金山区勇敢河, 最低的是闸北区徐家宅。水质评价结果表明上海市河道水质处于轻污染到重污染状态, 其中, 上海市八区县8条河道中只有崇明县琵琶河处于轻污染, 青浦区中横港、宝山区毛家塘、闵行区友谊河处于中污染, 嘉定区瞿门河、奉贤区新陆港、金山区勇敢河、闸北区徐家宅处于重污染。与 Shannon-Wiener 多样性指数(H')、Margalef 丰富度指数(D)、Pielou 均匀度指数(J)等多样性指数相比, BI 生物指数和 Goodnight 修正指数(GBI)更适合评价上海河道的水质状况。

研究亮点: 目前对底栖动物的研究多集中在天然湖、库, 对城市中、小型河道的关注极少。本研究以上海8个区县的不同类型的河道为对象, 研究了底栖生物的时空动态, 并筛选出适宜的水质评价指标, 为上海市进一步研究和建设生态型河道提供了基础资料。

关键词: 上海; 河道; 底栖动物; 密度; 生物量; 水质评价

中图分类号: Q 958.1

文献标志码: A

大型底栖动物在水生态系统的物质循环和能量流动中具有非常重要的作用, 它既可以在泥水界面进行物质交换, 也能通过摄食藻类控制藻类数量, 又可以被鱼类、虾类等经济动物捕食^[1-3]。由于其生活场所比较固定, 对逆境的逃避相对迟缓, 并且各类底栖动物对水体环境变化的适应性、耐受性及敏感程度不同, 水环境质量的变化都可以从底栖动物的群落中得到响应^[4-5]。因此, 大型底栖动物被广泛应用于水环境质量的生物监测和评价^[6], 有报道显示, 现有的100多种水质生物学评价方法中, 底栖动物指标的运用占到2/3^[7]。

上海陆域水系主要以黄浦江为主干贯穿全市, 形成与若干支流交叉纵横的典型平原感潮河

网水系^[8]。浮游生物个体较小, 容易随波逐流, 而底栖动物个体相对较大且生活于水体底部, 受潮汐作用的影响较小, 能比较好地反映水体的质量。目前对于上海市苏州河^[9-13]等大型的河流以及淀山湖^[14-15]、崇明明珠湖^[16]底栖动物的研究比较多, 对于城市中小河道中底栖动物的研究相对较少。水网具有天然的相通性, 城市中小型河道水质的恶化对整个河网水系的水质产生负面影响^[17]。所以, 研究城市中小型河道, 对于上海市整体的生态修复具有重要意义。

本研究选取上海市八区县8条中小型河道, 于2012年5月至2013年1月按季度对河道的底栖动物进行了调查, 分析了河道底栖动物群落结构特征并对水质进行了评价, 研究结果拟为上海

收稿日期: 2014-03-20 修回日期: 2014-04-15

基金项目: 水务“十二五”河道生态治理技术指南研究及编制(沪水科2011-07)

作者简介: 陈萍萍(1987—), 女, 硕士研究生, 研究方向为水环境评价与生态修复。E-mail: chpp-1212@163.com

通信作者: 王丽卿, E-mail: lqwang@shou.edu.cn

市河道水质生物监测和生态修复提供参考资料。

1 材料与方法

1.1 采样点设置

2012年5月(春季)、7月和8月(夏季)、11月(秋季)、2013年1月(冬季)对上海市八区县的不相通的8条河道的底栖动物进行了5次调查,根据河道的基本特点及河网分布情况,每条河道设置3~4个采样断面,采样河道分布如图1,各河道的环境特征见表1。

1.2 样品的采集与处理、鉴定

用开口面积为1/16 m²的改良彼得逊采泥器进行样品采集,采样及样品处理方法参考王丽卿等^[18]在漏湖采样时的方法。种类鉴定参考相关资料^[19-21]。

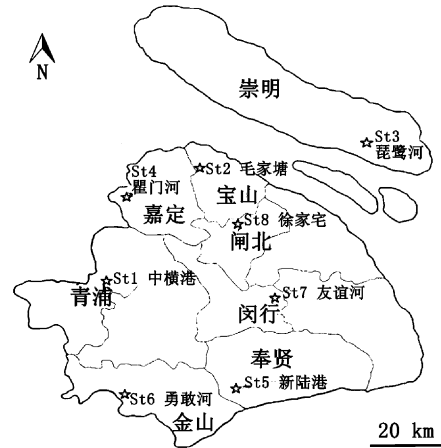


图1 上海市河道底栖动物采样点分布示意图

Fig. 1 Distribution of the sampling stations in Shanghai urban rivers

表1 上海市河道底栖动物采样点的环境特征

Tab. 1 The environmental feature of the sampling rivers in Shanghai

站位	河道名	区/县	底质状况	水生植物状况	周围环境情况
St1	中横港	青浦区	黑淤泥	水盾草、金鱼藻	居民区
St2	毛家塘	宝山区	淤泥	水鳖	居民区、农田
St3	琵琶河	崇明县	淤泥	菹草、眼子菜、狐尾藻、芦苇、茭白	农田
St4	新陆港	奉贤区	黑淤泥	浮萍	居民区、农田
St5	瞿门河	嘉定区	黑淤泥	无	居民区、农田、工厂
St6	勇敢河	金山区	淤泥	金鱼藻、黑藻、水鳖	居民区、农田
St7	友谊河	闵行区	泥沙	菹草、水盾草、苦草、慈菇、芦苇、黄菖蒲	居民区、农田
St8	徐家宅	闸北区	黑淤泥	无	工厂、商业区、居民区

1.3 数据处理

1.3.1 优势度的计算

$$Y = (n_i/N) \times f_i \quad (1)$$

式中: Y 表示优势度; n_i 为第 i 个分类单元的个体数; N 为样本中底栖动物的总个数; f_i 为第 i 种在各个采样点出现的频率。将 $Y \geq 0.02$ 的种类视为优势种。

1.3.2 生物多样性指数

Shannon-Wiener 多样性指数

$$H' = - \sum_{i=1}^S (n_i/N) \log_2 (n_i/N) \quad (2)$$

$$\text{Margalef 丰富度指数 } D = (S - 1) / \ln N \quad (3)$$

式中: S 为样品中底栖动物的总种类数。

$$\text{Pielou 均匀度指数 } J = H' / \log_2 S \quad (4)$$

1.3.3 生物指数

生物指数 (biotic index, BI)

$$BI = \sum_{i=1}^s t_i (n_i/N) \quad (5)$$

式中: t_i 为第 i 个分类单元 (科或属) 的耐污值。

1.3.4 Goodnight 修正指数

$$\text{Goodnight 修正指数 } GBI = (N - N_{oil}) / N \quad (6)$$

式中: N_{oil} 为样品中寡毛类个体总数。

文中底栖动物的耐污值参考王建国^[22]、王备新^[23]、段学花^[24]等相关资料。各指数及其评价标准参见相关文献^[25-28] (表2)。

表2 生物指数与水质评价标准

Tab. 2 Biological index and assessment standards of water quality

	重污染	中污染	轻污染	微污染	清洁
H'	0~1	1~2	2~3		>3
D	0~1	1~2	2~3	3.5~5	>5
J	0~0.3	0.3~0.5	0.5~0.8		>0.8
BI	8.8~10.0	7.71~8.8	6.61~7.7	5.5~6.6	0~5.5
GBI	0.2~0.4	0.4~0.6	0.6~0.8		0.8~1

2 结果与分析

2.1 底栖动物群落结构

上海市八区县 8 条河道采集的底栖动物,经鉴定共有 44 种,隶属于 3 门 19 科 33 属,种类名录及分布见表 3。其中环节动物 8 属 9 种,占总

种数的 20.4%,节肢动物 13 属 21 种,占总种数的 47.7%,软体动物 12 属 14 种,占总种数的 31.8%。所调查河道底栖动物的优势种为霍甫水丝蚓 (*Limnodrilus hoffmeisteri*) 和黄色羽摇蚊 (*Chironomus flaviplumus*),优势度分别为 0.38、0.05。

表 3 上海市河道底栖动物的种类组成及分布

Tab.3 Species composition and distribution of zoobenthos in Shanghai urban rivers

种类	采样站点							
	St1	St2	St3	St4	St5	St6	St7	St8
环节动物								
霍甫水丝蚓 <i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
巨毛水丝蚓 <i>Limnodrilus grandisetosus</i>	+	+	+	+	+		+	
苏氏尾鳃蚓 <i>Branchiura sowerbyi</i>	+	+	+	+		+		+
鳃冠虫一种 <i>Laonome</i> sp.			+				+	
拟扁蛭属一种 <i>Hemiclepsis</i> sp.		+	+					
扁舌蛭 <i>Glossiphonia complanata</i>						+	+	
八目石蛭 <i>Erpobdella octoculata</i>						+		
疣吻沙蚕 <i>Tylorrhynchus heterochaetus</i>		+	+				+	
日本刺沙蚕 <i>Neanthes japonica</i>								+
节肢动物								
中国长足摇蚊 <i>Tanytus chinensis</i>	+	+	+	+	+	+	+	
台湾长跗摇蚊 <i>Tanytarsus formosanus</i>					+			+
三带环足摇蚊 <i>Cricotopus trifasciatus</i>			+	+				
红裸须摇蚊 <i>Prosilocerus akamusi</i>			+		+			
背摇蚊 <i>Chironomus dorsalis</i>			+			+		
黄色羽摇蚊 <i>Chironomus flaviplumus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
裸腹摇蚊 <i>Chironomus nudiventris</i>							+	
淡绿二叉摇蚊 <i>Dicotenclipes pelochloris</i>					+			
二叉摇蚊属一种 <i>Dicrotendipes</i> sp.		+					+	
德永雕翅摇蚊 <i>Glyptotendipes tokunagai</i>	+			+	+	+		
雕翅摇蚊一种 <i>Glyptotendipes</i> sp.						+		
多巴小摇蚊 <i>Microchironomus tabarui</i>	+		+					
浅川多足摇蚊 <i>Polypedilum asakawaense</i>			+					
云集多足摇蚊 <i>Polypedilum nubifer</i>						+		
梯形多足摇蚊 <i>Polypedilum scalaenum</i>		+	+					
九斑多足摇蚊 <i>Polypedilum masudai</i>								+
下线花甲 <i>Notodascillus sublineatus</i>			+					
豉甲属一种 <i>Dineutus</i> sp.			+					
锯齿新米虾指名亚种 <i>Neocaridina denticulate denticulata</i>	+		+		+			
日本旋卷螺赢蜚 <i>Curuphium volurutur</i>		+	+					
日本沼虾 <i>Macrobrachium nipponense</i>	+	+	+			+		
软体动物								
河湄公螺 <i>Mekongia rivularia</i>							+	
铜锈环棱螺 <i>Bellamya aeruginosa</i>	+	+	+	+	+	+	+	
梨形环棱螺 <i>Bellamya purificata</i>			+		+	+		
方形环棱螺 <i>Bellamya quadrata</i>	+		+					
光滑狭口螺 <i>Stenothyra glabra</i>	+					+	+	
椭圆萝卜螺 <i>Radix swinhoei</i>	+							
尖膀胱螺 <i>Physa acuta</i>			+					+
尖口圆扁螺 <i>Hippeutis cantori</i>						+		
淡水壳菜 <i>Limnoperna lacustris</i>			+					
圆顶珠蚌 <i>Unio douglasiae</i>			+					
楔形丽蚌 <i>Lamprotula bazini</i>			+					
背角无齿蚌 <i>Anodonta woodiana</i>			+		+	+		
闪蛩 <i>Corbicula nitens</i>			+					
河蛩 <i>Corbicula fluminea</i>							+	
总计	13	12	28	8	11	16	16	5

注: + 代表底栖动物在该河道出现。

各河道的底栖动物种类数在 5 ~ 28 种之间变动。崇明县琵琶河底栖动物的种类数最多为 28 种,闸北区徐家宅最少为 5 种,其余各区依次是金山区勇敢河 16 种、闵行区友谊河 16 种、青浦区中横港 13 种、宝山区毛家塘 12 种、奉贤区新陆港 11 种、嘉定区瞿门河 8 种。琵琶河寡毛类有 3 种、摇蚊有 8 种、甲壳动物有 3 种、软体动物有 9 种、水蛭 1 种、沙蚕 1 种;勇敢河寡毛类有 2 种、摇蚊有 8 种、甲壳动物有 1 种、软体动物有 5 种;友谊河寡毛类有 2 种、摇蚊有 6 种、软体动物有 4 种、水蛭 1 种、沙蚕 2 种;中横港寡毛类有 3 种、摇蚊有 4 种、甲壳动物有 2 种、软体动物有 4 种;毛家塘寡毛类有 3 种、摇蚊有 4 种、甲壳动物有 2 种、软体动物有 4 种;新陆港寡毛类有 2 种、摇蚊有 5 种、甲壳动物有 1 种、软体动物有 3 种;瞿门河寡毛类有 3 种、摇蚊有 4 种、软体动物有 1 种;徐家宅寡毛类有 2 种、摇蚊有 2 种、软体动物有 1 种。在所有种类中霍甫水丝蚓和黄色羽摇蚊在所有河道都出现,中国长足摇蚊 (*Tanytus chinensis*) 和铜锈环棱螺 (*Bellamyia aeruginosa*) 在 7 条河道中出现,巨毛水丝蚓 (*Limnodrilus grandisetosus* Nomura) 和苏氏尾鳃蚓 (*Branchiura sowerbyi*) 在 6 条河道中出现,另外有 9 种底栖动物只在琵琶河出现,有 3 种只在勇敢河出现,有 1 种只在中横港出现,有 2 种只在友谊河出现。鳃冠虫一种 (*Laonome* sp) 只夏季出现在琵琶河和友谊河中,鳃冠虫原为海洋性种类但是最近几年在淀山湖、澄湖、太湖、溇湖等湖泊中发现,可能是由海洋逐渐迁移扩散到淡水中来的^[18]。

2.2 优势种的时空变化

上海市河道底栖动物群落各个季节优势种及优势度的分布见表 4。从表中可以看出,冬季的优势种最多为 4 种,春季的优势种是 3 种,夏季、秋季的优势种最少只有 2 种。各个区县的优势种及优势度见表 5,金山区勇敢河的优势种最多为 5 种,其余的 7 个区优势种都为 2 ~ 3 种。其中霍甫水丝蚓在这 8 个区中都为优势种。上海市河道底栖动物的优势种是以耐污能力比较强的种类为主,尤其是霍甫水丝蚓,在 4 个季度、8 条河道中均为优势种,并且优势度基本上大于其他种类的优势度之和,可以看出密度变化趋势与霍甫水丝蚓的变化趋势相关。

表 4 上海市河道底栖动物优势种及其优势度的季节分布

Tab. 4 Seasonal distribution of dominant zoobenthos species in Shanghai rivers

底栖动物优势种	春季	夏季	秋季	冬季
霍甫水丝蚓	0.19	0.50	0.32	0.46
苏氏尾鳃蚓				0.02
中国长足摇蚊				0.05
黄色羽摇蚊	0.06	0.13		
日本旋卷螺赢蜚	0.03			
铜锈环棱螺			0.02	0.02

表 5 各河道底栖动物优势种

Tab. 5 Dominant zoobenthos species of each river

底栖动物优势种	青浦	宝山	崇明	嘉定	奉贤	金山	闵行	闸北
霍甫水丝蚓	0.46	0.56	0.17	0.68	0.36	0.19	0.24	0.67
苏氏尾鳃蚓								0.08
扁舌蛭							0.02	
日本刺沙蚕							0.04	
中国长足摇蚊		0.02	0.04	0.03				
黄色羽摇蚊				0.06	0.20	0.18		0.06
德永雕翅摇蚊	0.02					0.18		
日本旋卷螺赢蜚			0.11					
铜锈环棱螺	0.02				0.04	0.04		

2.3 底栖动物密度和生物量的时空变化

2.3.1 底栖动物密度和生物量的季节变化

本研究底栖动物的年均密度为 382.0 ind/m²,寡毛类的密度为 234.1 ind/m²,占总密度的 61.3%,其中霍甫水丝蚓的密度为 214.1 ind/m²,占寡毛类总密度的 91.5%,摇蚊的密度为 94.2 ind/m²,占总密度的 24.7%,其中黄色羽摇蚊的密度是 56.2 ind/m²,占摇蚊密度的 60%。本研究底栖动物的年平均生物量为 24.62 g/m²,软体动物对其贡献率最大,年均生物量为 22.49 g/m²,占总生物量的 91.3%。根据分析结果显示,底栖动物密度的时间差异不显著 ($F = 0.999, P = 0.408$) 平均密度夏季最高 (541.0 ind/m²),冬季次之 (514.8 ind/m²),秋季最低 (157.6 ind/m²)。底栖动物生物量的时间差异不显著 ($F = 1.390, P = 0.266$),平均生物量冬季最高 (42.79 g/m²),秋季次之 (27.09 g/m²),春季最低 (4.57 g/m²)。各个季度底栖动物的密度和生物量详见表 6 和图 2。底栖动物的密度主要由寡毛类和摇蚊决定,由表 6 可知,寡毛类的密度冬季 (429.6 ind/m²) 最高、夏季 (350.1 ind/m²) 次之、春季 (82.3 ind/m²) 和秋季 (74.4 ind/m²) 较接近,摇蚊的密度夏季 (157.0 ind/m²) 最高、春季 (92.8 ind/m²)

次之、秋季(63.7 ind/m²)和冬季(63.4 ind/m²)基本一致。而底栖动物的生物量主要是由软体动物所决定,其生物量从春季到冬季逐渐增加。

寡毛类在每个季节都出现,且其种类数变化不大,季节间变化较大的是摇蚊和软体动物,这可能和它们的生长规律以及捕食者的变化相关。

表6 上海市河道底栖动物密度及生物量的季节性变化
Tab.6 Seasonal changes of zoobenthos density and biomass in Shanghai rivers

季节	寡毛类		摇蚊		甲壳动物		软体动物		水蛭和沙蚕	
	密度 /(ind/m ²)	生物量 /(g/m ²)	密度 /(ind/m ²)	生物量 /(g/m ²)	密度 /(ind/m ²)	生物量 /(g/m ²)	密度 /(ind/m ²)	生物量 /(g/m ²)	密度 /(ind/m ²)	生物量 /(g/m ²)
春季	82.3	0.19	92.8	0.44	111.3	1.25	12.5	2.65	15.5	0.04
夏季	350.1	0.33	157.0	3.63	9.8	0.65	12.5	19.25	11.6	0.16
秋季	74.4	0.06	63.7	0.12	1.7	0.12	10.3	26.86	0	0
冬季	429.6	0.85	63.4	0.11	2.0	0.16	16.8	41.68	3.0	0.01

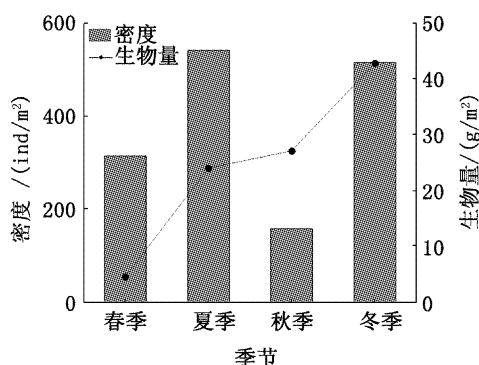


图2 上海市河道底栖动物平均密度及平均生物量的季节性变化

Fig.2 Seasonal changes of the average zoobenthos density and biomass in Shanghai rivers

2.3.2 密度和生物量的水平分布格局

上海市河道各个采样点底栖动物密度的变化范围是108.5~1102.5 ind/m²,生物量的变化范围是2.50~86.50 g/m²。根据分析结果显示,

底栖动物密度的空间差异不显著($F = 1.992, P = 0.110$),各个河道的底栖动物的平均密度变化为徐家宅 > 勇敢河 > 琵琶河 > 瞿门河 > 新陆港 > 毛家塘 > 中横港 > 友谊河。但是,底栖动物的生物量存在明显的空间差异($F = 3.348, P = 0.012$),平均生物量的变化是勇敢河 > 中横港 > 新陆港 > 瞿门河 > 琵琶河 > 友谊河 > 毛家塘 > 徐家宅。年平均密度最高的是闸北区的徐家宅,贡献最大的是霍甫水丝蚓,其年均密度是743.0 ind/m²,可能是该河位于市区,周围有居民区、商业区、工厂等,污染比较严重,底质是黑淤泥,有臭味,本研究测得其溶氧很低,为4.8 mg/L,霍甫水丝蚓能够在低氧的环境下生长和繁殖,其他各河道的溶氧在5~7 mg/L。年均生物量最高的是金山区的勇敢河,贡献最大的是铜锈环棱螺,年均生物量是82.49 g/m²。各个站点及区域的密度和生物量变化见表7和图3。

表7 上海市河道底栖动物的密度及生物量的变化
Tab.7 Variation of zoobenthos density and biomass in Shanghai rivers

区县	寡毛类		摇蚊		甲壳动物		软体动物		水蛭和沙蚕	
	密度 /(ind/m ²)	生物量 /(g/m ²)	密度 /(ind/m ²)	生物量 /(g/m ²)	密度 /(ind/m ²)	生物量 /(g/m ²)	密度 /(ind/m ²)	生物量 /(g/m ²)	密度 /(ind/m ²)	生物量 /(g/m ²)
青浦	66.3	0.08	16.7	6.68	16.7	1.96	11.7	27.34	0	0
宝山	173.3	0.23	27.3	0.03	5.7	0.05	0.7	2.15	23.3	0.05
崇明	135.7	0.13	71.0	0.17	224.0	1.88	7.7	5.58	9.0	0.03
嘉定	208.3	0.19	84.0	0.13	0	0	5.3	21.32	0	0
奉贤	183.7	0.34	49.3	0.10	1.3	0.24	31.3	32.64	0	0
金山	162.5	0.15	263.0	1.02	2.0	0.03	40.5	85.11	24.5	0.19
闵行	61.0	0.06	24.5	0.02	0	0	4.5	6.51	18.5	0.22
闸北	882.0	1.67	218.0	0.45	0	0	2.5	0.24	0	0

2.4 上海市河道的水质评价

依据本研究获得的底栖动物群落结构特征,采用5种生物学指数来评价上海市八区8河道,

评价标准和结果见表8。Shannon-Wiener多样性指数(H')、Margalef丰富度指数(D)、Pielou均匀度指数(J)评价上海河道的水质结果一致,其结

果为:青浦区中横港、崇明县琵琶河、金山区勇敢河、闵行区友谊河都是轻污染,宝山区毛家塘、嘉定区瞿门河、奉贤区新陆港处于中污染,闸北区徐家宅处于重污染。*BI* 生物指数和 Goodnight 修正指数(*GBI*) 评价结果基本一致,只有崇明县琵琶河处于轻污染,青浦区中横港、宝山区毛家塘、闵行区友谊河处于中污染,嘉定区瞿门河、奉贤区新陆港、闸北区徐家宅处于重污染,两个指标差异最大的是金山区勇敢河,因为 *GBI* 主要是由寡毛类的密度决定,而勇敢河密度最大的是摇蚊,寡毛类的数量仅占总密度的 33%,可见在金山区勇敢河不适合用 *GBI* 指数。

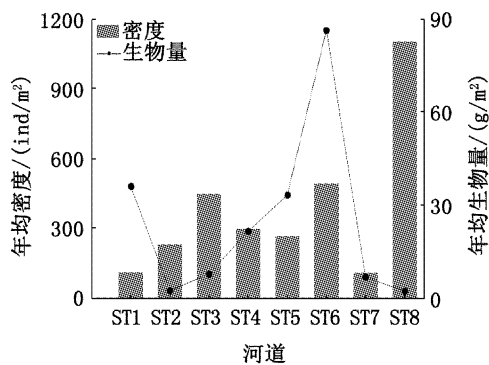


图3 上海市河道底栖动物密度及生物量的水平分布

Fig. 3 Horizontal difference of zoobenthos density and biomass in Shanghai rivers

表8 上海市8条河道水体生物指数值及水质评价

Tab. 8 Biological index and assessment of water quality in 8 shanghai river

区县	河道	<i>H'</i>	<i>D</i>	<i>J</i>	<i>BI</i>	<i>GBI</i>
青浦	St1	2.04 轻	2.55 轻	0.55 轻	8.64 中	0.40 中
宝山	St2	1.61 中	2.02 中	0.45 中	8.83 中	0.25 中
崇明	St3	2.17 轻	4.42 微	0.45 中	6.44 微	0.70 轻
嘉定	St4	1.63 中	1.79 中	0.47 中	8.93 重	0.31 重
奉贤	St5	1.40 中	1.23 中	0.47 中	9.13 重	0.30 重
金山	St6	2.37 轻	2.42 轻	0.59 轻	8.87 重	0.67 轻
闵行	St7	2.27 轻	3.20 轻	0.57 轻	8.62 中	0.44 中
闸北	St8	1.31 重	0.57 重	0.56 轻	9.17 重	0.20 重

注:表中微代表清洁~微污染,轻代表轻污染,中代表中污染,重代表重污染。

3 讨论

3.1 上海河道底栖动物群落结构的组成与时空变化特征

上海市河道的底栖动物的群落结构主要由寡毛类和摇蚊幼虫组成,密度主要由这两类决

定,生物量主要由密度很低但单个重量很大的软体动物决定,这一特征与富营养化的一些湖泊、水库等水体^[29-31],以及苏州河^[9-11]的研究结果一致;与典型的山区和丘陵等野外河流中的底栖动物相比其多样性明显低^[32-34],另外上海市河道中出现了节肢动物如螺赢蜚属,多毛类环节动物如鳃冠虫、沙蚕等,这是由于上海市地处长江入海口,一些海洋物种扩散造成的。

本次研究上海市的河道底栖动物种类共有44种,种类数明显高于其他研究者对上海市其他河道底栖动物的研究^[9-12,35],主要是由于本研究共鉴定出16种摇蚊幼虫,其他研究中大多将摇蚊幼虫作为一个分类单元没有进一步的分类。同时本次研究上海市河道的底栖动物群落是以耐污染的寡毛类和摇蚊幼虫为主的,这主要是由于这8条河道的底质经过多年的淤积以淤泥为主,生境较单一,所以底栖动物的种类较少。部分河道分布有水生植物,可为底栖动物提供合适的生长、繁殖的条件,也能为其提供避难的场所,所以在一定程度上影响底栖动物的种类组成和丰度^[36]。崇明县的琵琶河中分布有沉水植物、挺水植物,而且河道周围没有居民区商业区等,污染源相对较少,所以崇明县的底栖动物种类最多。但是,由于琵琶河有一部分河道经过开挖,底栖动物的生境遭到破坏未恢复,所以采集到的数量较少、个体较小,因此密度和生物量都不是最大。年均密度最高的是闸北区的徐家宅,主要是在冬季采集到的霍甫水丝蚓的密度最高,徐家宅位于市区,周围有工厂、居民区、商业区,污染比较严重,冬季降雨比较少对污染物的稀释程度比较小,所以污染较严重使得栖息地的生产力较大,这与李艳^[37]在调查太湖霍甫水丝蚓的时空格局的结果相一致。生物量最高的是金山区的勇敢河,其河道内有沉水植物、漂浮植物,有研究显示底栖动物的密度和生物量与水生植物呈显著正相关关系,而沉水植物生境中物种丰富度也最高^[38]。

底栖动物生活于水体底部,其生物分布和丰度主要受温度、底质特征、水生植物的影响^[39]。春季水体的温度逐渐升高,底栖动物的活动能力也逐步增强,数量相应就增多,但是由于采集的种类主要是寡毛类、摇蚊等个体较小的种类,虽然也采集到种类较多的软体动物,但是数量较少

而且个体也较小,所以春季的密度较高而生物量最低。夏季水温是一年中最高的季节,夏季水中溶氧较低,而且污染严重,种类都是以耐污性比较高的种类为主。寡毛类能在低氧、甚至短期缺氧的环境中生存,因此,在夏季进行大量繁殖,加上摇蚊也可以在夏季大量繁殖,所以夏季的密度最高。螺类的繁殖时间为每年的3-10月,夏季为其繁殖的高峰期,但是夏季鱼类也会大量捕食螺类,导致螺类数量下降,而此时螺类的个体都相对较小,所以夏季的生物量并不高^[18,40]。秋季底栖动物的种类数少,特别是摇蚊的种类和数量在秋季明显减少,秋季密度最低可能是由于经过夏季的羽化,数量有所减少以及捕食压力^[41]。随着冬季温度的降低,鱼类的捕食也会逐渐减少,同时螺类的生长和繁殖,使得冬季螺类的数量增多,同时个体增大,相应的冬季的生物量也就最高^[40]。寡毛类在每个季节都出现,且它的种类数变化不大。

3.2 底栖动物的水质评价

底栖动物生活在水体底部,水环境质量的变化都可以从底栖动物的群落中得到响应。在生物评价方面,既不像浮游生物那样随波逐流,也不会像鱼类那样有很强的游动能力,以逃避不适应的环境;它的种类多样性比鱼类高,物种观察和鉴定比浮游生物更直接、更容易^[42]。

Shannon-Wiener 多样性指数(H')、Margalef 丰富度指数(D)主要是受研究地区的底栖动物种类数影响,它们只能反映底栖动物的群落结构,不能反映群落的组成,当耐污种数量增多或代替敏感种时, H' 的数值也会增大, H' 的大小还决定了 Pielou 均匀度指数(J)的大小^[43-44]。上海地区底栖动物是以耐污性比较强的种类为主,寡毛类其耐污值均为 8.5~9.4,摇蚊的耐污值大部分也是 8 以上,软体动物处于 4~6 之间也属于中耐污种类。多样性指数没有考虑其耐污值,因此,多样性指数不适合评价上海河道的水质,这与陈小华^[35]的结论一致。Goodnight 修正指数(GBI)主要根据寡毛类丰度来计算,所以在寡毛类密度占优势的情况下比较适用,但本研究中金山区的勇敢河,寡毛类密度仅占其总密度的 33%,导致其结果与 BI 指数不一致,所以在金山区不适合用 GBI 指数。 BI 生物指数既考虑了物种的丰度,又考虑到不同物种的耐污性不同,有较强的适应

性,而且应用也比较广泛。本研究中 GBI 指数、 BI 生物指数评价结果基本一致。因此可以选用 BI 生物指数和 GBI 指数综合评价上海河道的水环境质量。

参考文献:

- [1] KORNLIÓW R, GULATI R, OZIMEK T. Food preference of freshwater invertebrates: comparing fresh and decomposed angiosperm and filamentous alga [J]. *Freshwater Biology*, 1995, 33(2): 205-212.
- [2] JAMES M R, HAWES I, WEATHERHEAD M. Effects of settled sediments on grazer-periphyton-macrophyte interactions in the littoral zone of a large oligotrophic lake [J]. *Freshwater Biology*, 2000, 44(2): 311-326.
- [3] 陈立斌, 赵文, 殷守仁, 等. 官厅水库底栖动物的群落结构及其时空格局[J]. *大连海洋大学学报*, 2012, 27(1): 44-52.
- [4] 蔡文倩, 孟伟, 刘录三, 等. 春季渤海湾大型底栖动物群落结构特征研究[J]. *环境科学学报*, 2013, 33(5): 1458-1466.
- [5] 霍堂斌, 刘曼红, 姜作发, 等. 松花江干流大型底栖动物群落结构与水质生物评价[J]. *应用生态学报*, 2012, 23(1): 247-254.
- [6] 张崇良, 胶州湾潮滩湿地大型底栖动物群落生态学研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012: 1-2.
- [7] 刘玉, VERMAAT J E, RUYTER E D, 等. ISO-BMWP 底栖动物监测法在中国河流有机污染评价中的修正及应用[J]. *中山大学学报: 自然科学版*, 2004, 43(4): 102-105.
- [8] 阮仁良. 上海市水环境研究[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 10-11.
- [9] 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.
- [10] 刘国才, 赖伟, 殷浩文, 等. 上海苏州河大型底栖动物的研究[J]. *中国环境科学*, 2001, 21(2): 112-114.
- [11] 熊昉青, 由文辉. 苏州河大型底栖动物群落结构初步研究[J]. *上海环境科学*, 2001, 20(5): 218-220.
- [12] 戴雅奇, 熊昉青, 由文辉, 等. 苏州河底栖动物群落恢复过程动态研究[J]. *农村生态环境*, 2005, 21(3): 21-24.
- [13] 程曦, 李小平, 陈小华, 等. 苏州河水质和底栖动物群落 1996~2006 年的时空变化[J]. *生态学报*, 2009, 29(6): 3278-3287.
- [14] 张世海, 张瑞雷, 王丽卿, 等. 上海市淀山湖底栖动物群落结构及水质评价[J]. *四川动物*, 2010, 29(3): 452-458.
- [15] 徐霖林, 马长安, 田伟, 等. 淀山湖沉水植物恢复重建对底栖动物的影响[J]. *复旦学报: 自然科学版*, 2011, 50(3): 260-267.
- [16] 胡忠军, 刘其根, 陈立婧, 等. 上海崇明明珠湖摇蚊幼虫群落结构特征及其对水质的指示作用[J]. *应用生态学报*,

- 2009,20(4): 929-936.
- [17] 于森,张宪英.城市郊区河道污染问题成因及治理模式探讨[J].上海环境科学,2009,28(3): 130-133.
- [18] 王丽卿,吴亮,张瑞雷,等.溥湖底栖动物群落的时空变化及水质生物学评价[J].生态学杂志,2012,31(8): 1990-1996.
- [19] 赵文.水生生物学[M].北京:中国农业出版社,2005,262-405.
- [20] 唐红渠.中国摇蚊科幼虫生物系统学研究[D].天津:南开大学,2006:133-545.
- [21] 刘月英,张文珍,王跃先,等.中国经济动物志,淡水软体动物[M].北京:科学出版社.1979:15-125.
- [22] 王建国,黄恢柏,杨明旭,等.庐山地区底栖大型无脊椎动物耐污值与水质生物学评价[J].应用与环境生物学报.2003,9(3): 79-284.
- [23] 王备新,杨莲芳.我国东部底栖无脊椎动物主要分类单元耐污值[J].生态学报,2004,24(12): 2768-2775.
- [24] 段学花,王兆印,徐梦珍.底栖动物与河流生态评价[M].北京:清华大学出版社.2010:49-53.
- [25] SHANNON C E, WEAVER W W. The mathematical theory of communication [M]. Urban, IL: University of Illinois, 1949,296.
- [26] MARGALEF D R. Information theory in Ecology. Society [J], General Systems, 1958, (3): 36-71.
- [27] HILSENHOFF W L. Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index[J]. Journal of the North American Benthological Society, 1988, 7(1): 65-68.
- [28] 徐祖信.河流污染治理规划理论与实践[M].北京:中国环境科学出版社,2003,103-104.
- [29] 姜莘红,崔永德,王海军,等.汉阳湖群底栖动物群落及其对环境质量的指示[J].长江流域资源与环境,2011,20(5):525-533.
- [30] 蔡永久,姜加虎,张路,等.长江中下游湖泊大型底栖动物群落结构及多样性[J].湖泊科学,2010,22(6): 811-819.
- [31] 熊金林,梅兴国,胡传林,等.不同污染程度湖泊底栖动物群落结构及多样性比较[J].湖泊科学,2003,15(2):160-168.
- [32] 渠晓东,曹明,邵美玲,等.雅砻江(锦屏段)及其主要支流的大型底栖动物[J].应用生态学报,2007,18(1):158-162.
- [33] 蒋万祥,贾兴焕,周淑婵,等.香溪河大型底栖动物群落结构季节动态[J].应用生态学报,2009,20(4):923-928.
- [34] 徐梦珍,王兆印,潘保柱,等.雅鲁藏布江流域底栖动物多样性及生态评价[J].生态学报,2012,32(8):2351-2360.
- [35] 陈小华,杨青,赵振,等.基于大型底栖无脊椎动物群落的上海市河道水质生物学评价[J].动物学杂志,2013,48(2):220-231.
- [36] ROOKE B. Macroinvertebrates associated with macrophytes and plastic imitations in the Eramosa River, Ontario, Canada [J]. Archiv für Hydrobiologie, 1986, 106(3): 307-325.
- [37] 李艳,蔡永久,秦伯强,等.太湖霍甫水丝(*Limnodrilus hoffmeisteri* Claparède)的时空格局[J].湖泊科学,2012,2(3):450-459.
- [38] 何雪宝,刘学勤,崔永德,等.贝加尔湖沿岸带不同生境底栖动物群落研究[J].水生生物学报,2011,35(3):516-522.
- [39] MARK A W, JAMES M R. Distribution of macroinvertebrates in relation to physical and biological variables in the littoral zone of nine New Zealand lakes [J]. Hydrobiologia, 2001, 462(1/3): 115-129.
- [40] 陈立婧,彭自然,孙家平,等.安徽南漪湖大型底栖动物群落结构[J].动物学杂志,2008,43(1): 63-68.
- [41] 苏华武,江晶,温芳妮,等.湖北清江流域叹气沟河底栖动物群落结构与水质生物学评价[J].湖泊科学,2008,20(4): 520-528.
- [42] 刘曼红,马成学,左彦东,等.镜泊湖大型底栖动物群落调查[J].水生态学杂志,2009,30(4): 1-7.
- [43] 祀桑,林美心,黎康汉.用大型底栖动物对珠江广州河段进行污染评价[J].环境科学学报,1982,2(3): 181-189.
- [44] 刘维民,冯照军.京杭大运河徐州段水质底栖动物多样性及BPI评价[J].河南科学,2008,26(9): 1062-1065.

The zoobenthos community structure and bio-assessment of water quality in Shanghai urban rivers

CHEN Ping-ping¹, ZHANG Rui-lei¹, ZHAO Feng-bin¹, ZHANG Wei², WANG Li-qing¹

(1. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Shanghai Aquatic Environment Engineering Company, limited, Shanghai 200090, China)

Abstract: From May 2012 to January 2013, zoobenthos community in 8 urban rivers of 8 districts in Shanghai was investigated. Water quality of the river was assessed based on the structure of zoobenthos community. A total of 43 zoobenthos species belonging to 3 phyla, 19 families and 33 genera were identified, among which *Limnodrilus hoffmeisteri* and *Chironomus flaviplumus* were dominant. The annual density of zoobenthos averaged 382 ind/m² and *Limnodrilus hoffmeisteri* contributed the most (56.1%) of the gross. The annual biomass of zoobenthos averaged 24.62 g/m² and *Bellamyia aeruginosa* contributed the most (86.0%) of the gross. The zoobenthos had the highest density in summer, followed by winter, autumn and spring. The highest biomass was in winter, followed by autumn, summer and spring. The highest density was in Xujiashai River of Zhabei District, and the lowest density was in Youyi River of Minhang District. The highest biomass was in Yonggan River of Jinshan District, and the lowest biomass was in Xujiashai River of Zhabei District. The evaluation by biological index indicated that the water quality of Shanghai urban rivers was of slight to serious pollution. In 8 urban rivers of 8 districts in Shanghai, only Pilu River of Chongming District was in slight pollution, Youyi River of Minhang District, Zhonghenggang River of Qingpu District, Maojiatang River of Baoshan District were in moderate pollution. Xinlulang River of Fengxian District, Yonggan River of Jinshan District, Qumen River of Jading District, Xujiashai River of Zhabei District were in serious pollution. Biotic Index (*BI*) and Goodnight Biotic Index (*GBI*) were much more suitable for the evaluation of river water quality in Shanghai urban rivers compared with Shannon-Wiener diversity index, Margalef species richness index, and Pielou index.

Key words: Shanghai; urban rivers; zoobenthos; density; biomass; water quality assessment