

文章编号:1004-8227(2011)05-0525-09

汉阳湖群底栖动物群落及其对环境质量的指示

姜莘红^{1,2}, 崔永德¹, 王海军¹, 王洪铸¹

(1. 中国科学院水生生物研究所, 湖北 武汉 430072; 2. 湖南省环境保护科学研究院, 湖南 长沙 410004)

摘要: 汉阳地区湖汉纵横、水系丰富, 是汉阳地区工业和生活废水的主要纳污水体, 水质多为劣 V 类。底栖动物已被广泛用于监测湖泊有机污染, 因此, 为探明汉阳地区湖泊群(三角湖、墨水湖、龙阳湖、月湖、后官湖)的污染状况和污染分布格局, 于 2002~2005 年全面调查了各湖泊的底栖动物群落, 并分析了其对环境的指示作用。除后官湖发现软体动物外, 其他各湖泊均以耐污的颤蚓科寡毛类(霍甫水丝蚓, 苏氏尾鳃蚓)和摇蚊科幼虫(长足摇蚊、红裸须摇蚊、羽摇蚊)占绝对优势。统计分析表明, 颤蚓类和摇蚊幼虫的密度与水体氮、磷、叶绿素含量呈显著正相关($p < 0.05$), 且颤蚓类密度对水体氮、磷水平的预测能力(R^2)优于摇蚊幼虫。K-优势曲线和多样性指数的污染评价结果显示, 墨水湖和龙阳湖属重污染, 月湖和三角湖属中度污染, 后官湖属轻度污染, 这与理化指标表征的营养状况基本吻合, 特别是在受苯酚化工废料污染的龙阳湖东片没有采集到底栖动物, 这是底栖动物能够监测污染物长期效应的例证。进一步应用颤蚓类密度的水平分布指示了各湖泊的沉积物污染分布, 结合湖体周边环境分析论证了这种指示作用的可信度。

关键词: 大型底栖动物; 群落结构; 环境分析; 水质生物评价; 颤蚓等值线; 污染格局

文献标识码: A

武汉市地处汉江和长江干流交汇点, 河流和湖泊的面积约占该市总面积的 1/4, 有“百湖之市”的美称。特别是汉阳地区湖汉纵横、水系丰富。长江、汉江在境内的江岸线分别长达 20 余 km, 主要湖泊有墨水湖、月湖、莲花湖、龙阳湖和三角湖等。调查结果显示, 近 50 a 来汉阳地区的小型湖泊严重破碎化, 面积锐减, 湖泊岛屿化, 水网已名存实亡。由于汉阳地区的大部分工业和生活污水未经处理直接排入湖泊, 营养负荷急剧增加, 湖泊生态系统极度退化, 富营养化异常严重, 水质多为劣 V 类, 综合服务功能严重受损。为改善水质, 重建健康城市景观水体生态, 国家科技部和武汉市政府于 2003 年启动了汉阳地区受污染城市水体修复的治理工作。

底栖动物已被广泛用于监测湖泊有机污染, 颤蚓科寡毛类和一些摇蚊幼虫常被作为水质有机物污染的指示生物^[1~4]。为此, 2002~2005 年, 对汉阳水系三角湖、墨水湖、龙阳湖、月湖、后官湖等 5 个湖泊的底栖动物群落进行了 2~4 次调查, 通过分析各

湖泊的底栖动物群落多样性和指示生物的分布格局, 以探明汉阳水系的污染状况, 进一步应用指示动物的空间格局来指示全湖的污染格局, 以为受污染水体的修复治理提供理论依据。

1 研究湖泊与方法

1.1 湖泊与采样

所研究湖泊群位于武汉市汉阳区, 属城郊小型浅水湖泊。近 30 a 来, 随着工农业和人口的迅速发展, 均受到不同程度的工业废水、生活污水和农业面源污染。各湖泊的环境参数见表 1。

于 2002 年 10 月、2003 年 4 月、2003 年 8 月对三角湖、墨水湖、龙阳湖、后官湖进行季节性调查, 其中三角湖全湖布设 3 个样点, 墨水湖布设 5 个样点, 龙阳湖布设 4 个样点, 后官湖布设 6 个点。随后为摸清全湖底栖动物群落的空间格局, 分别于 2003 年 12 月、2004 年 3 月、2005 年 4 月、5 月对月湖、龙阳

收稿日期: 2010-06-18; 修回日期: 2010-07-13

基金项目: 中科院创新方向性项目(KSCX2-SW-110)

作者简介: 姜莘红(1979~), 女, 湖南省邵阳人, 助理研究员, 博士, 主要从事大型底栖动物分类与生态学研究。

E-mail: jpinghong@163.com

* 通讯作者 E-mail: wanghz@ihb.ac.cn

表 1 2002~2003 年汉阳地区各湖泊的环境参数(平均值±SE)

Tab. 1 Environmental Parameters (mean±SE) of Lakes in Hanyang District (2002~2003)

湖泊	面积 A (km ²)	水深 Z _M (m)	透明度 Z _{SD} (cm)	叶绿素 Chla (μg/L)	总氮 TN (mg/L)	总磷 TP (mg/L)
三角湖	2.41	1.6±0.1	40.1±9.2	58.9±10.3	5.47±1.03	0.21±0.04
墨水湖	2.68	2.1±0.1	33.8±2.2	139.1±19.9	7.41±0.55	0.93±0.10
龙阳湖	1.80	1.6±0.1	32.6±3.6	111.0±14.0	8.34±0.02	0.95±0.18
后官湖	11.33	2.9±0.1	111.8±3.5	12.5±2.0	2.38±0.25	0.05±0.01
月湖	0.66	1.2±0.1	51.7±4.2		4.75±0.35	0.49±0.06

湖、墨水湖、三角湖全湖密集布点采样,全面调查底栖动物群落的的空间分布,各湖泊采样点设置见图 1。

1.2 研究方法

底栖动物的定量采集用 1/16 和 1/40 m² 的彼

得生采泥器,泥样经 24 目/cm 的筛网筛洗后置于解剖盘中将动物检出,用 10% 福尔马林固定,然后进行种类鉴定、计数和称重。各项水化指标的测定方法按《湖泊生态调查观测与分析》^[5] 进行。

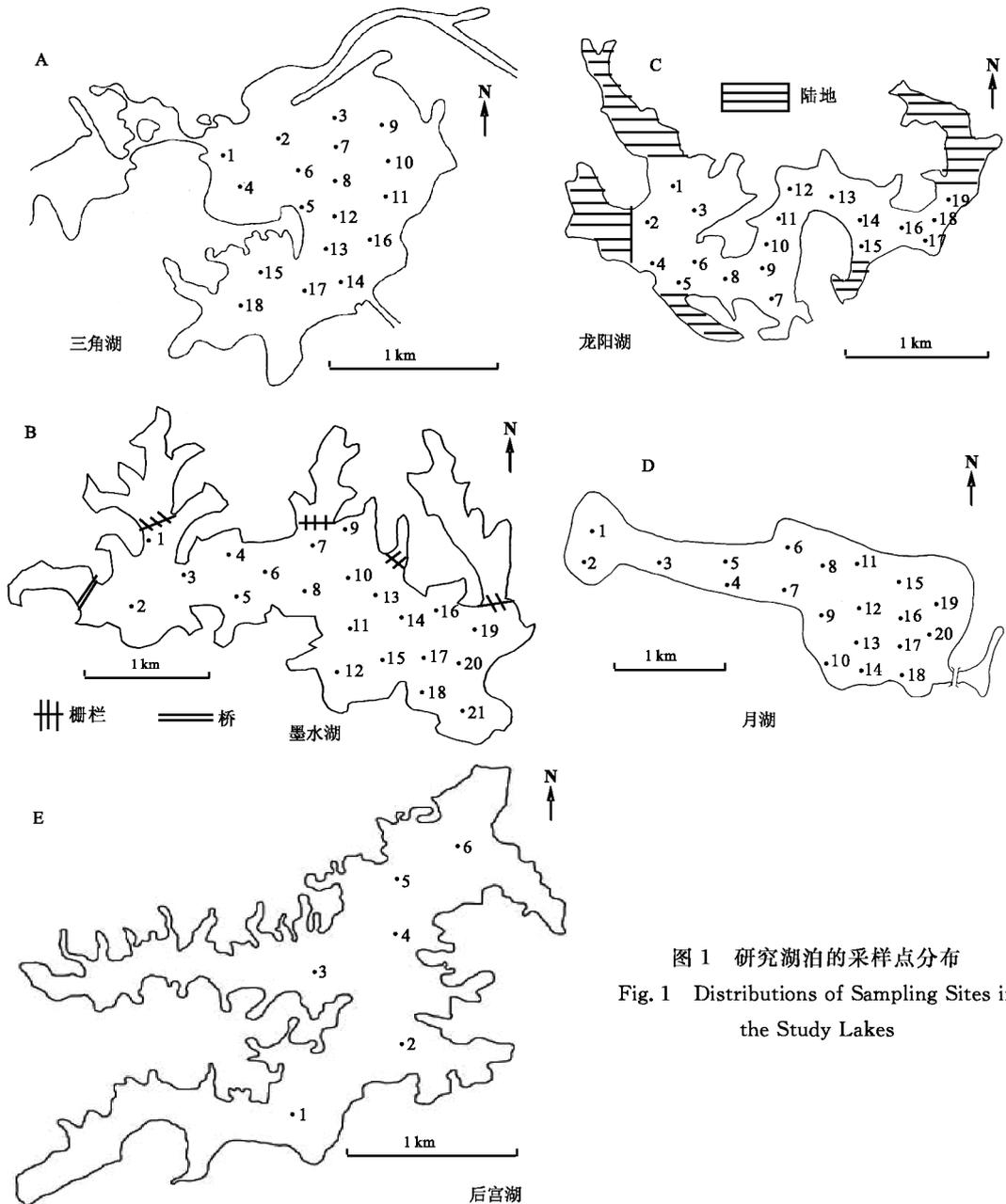


图 1 研究湖泊的采样点分布

Fig. 1 Distributions of Sampling Sites in the Study Lakes

底栖动物的生物多样性用 Shannon-Wiener 生物多样性指数 (H) 及 Margalef 多样性指数 (d) 表示:

$$H = - \sum (P_i) (\log_2 P_i)$$

$$d = (s - 1) / \ln N$$

式中: P_i 为物种 i 的个体数占总个体数的比例; s 为物种数; N 为总个体数。密度等值线的绘制采用插值法绘制^[6]。统计分析在 STATISTICA 6.0

上实现。

2 结果与讨论

2.1 群落结构

2.1.1 种类组成

2002~2005 年在所调查的 5 个湖泊中共采集到 23 种大型底栖动物, 隶属于 8 科 18 属, 各湖泊的种类组成列于表 2。三角湖总种类数计 16 种, 墨水

表 2 汉阳湖泊群底栖动物的种类组成(2002~2005)

Tab. 2 Species Composition in the Lakes of Hanyang District (2002~2005)

种类	三角湖	墨水湖	龙阳湖	后官湖	月湖
环节动物门 Annelida					
寡毛纲 Oligochaeta					
仙女虫科 Naididae					
指鳃尾盘虫 <i>Dero digitata</i>	+	+			+
仙女虫属一种 <i>Nais</i> sp.					+
颤蚓科 Tubificidae					
湖沼管水蚓 <i>Aulodrilus limnobius</i>	+				
多毛管水蚓 <i>A. pluriseta</i>	+	+	+	+	+
有栉管水蚓 <i>A. pectinatus</i>	+	+			
皮氏管水蚓 <i>A. pigueti</i>	+	+			
苏氏尾鳃蚓 <i>Branchiura sowerbyi</i>	+	+	+	+	+
坦氏泥蚓 <i>Ilyodrilus templetoni</i>	+	+	+	+	
霍甫水丝蚓 <i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	+	+	+	+	+
巨毛水丝蚓 <i>L. grandisetosus</i>	+	+	+		+
正颤蚓 <i>Tubifex tubifex</i>					+
蛭纲 Hirudinea					
舌蛭科 Glossiphonidae	+	+	+		+
软体动物门 Mollusca					
腹足纲 Gastropoda					
田螺科 Viviparidae					
环棱螺 <i>Bellamya</i> sp.				+	
节肢动物门 Arthropoda					
昆虫纲 Insecta					
摇蚊科 Chironomidae					
羽摇蚊 <i>Chironomus plumosus</i>	+	+	+		+
异腹鳃摇蚊 <i>Einfeldia</i> sp.				+	
雕翅摇蚊 <i>Glyptotendipes</i> sp.	+	+			+
前突摇蚊 <i>Procladius</i> sp.	+			+	+
红裸须摇蚊 <i>Prosilocerus akamusi</i>	+	+	+	+	+
长足摇蚊 <i>Tanytus</i> sp.	+	+	+		+
螺科 Ceratopogonidae	+		+	+	+
水虻科 Stratiomyiidae				+	
甲壳纲 Crustacea					
日本沼虾 <i>Macrobrachium nipponense</i>				+	
线虫动物门 Nematoda	+	+			+
合计	16	14	11	11	15

湖 14 种, 龙阳湖 11 种, 后官湖 11 种, 月湖 15 种。除后官湖发现 1 种软体动物外, 其他湖泊均以寡毛

类和摇蚊幼虫的种类数占绝对优势(表 3)。这些种类多数耐有机污染, 为富营养化湖泊的常见种。

表 3 各湖泊底栖动物种类数及其比率

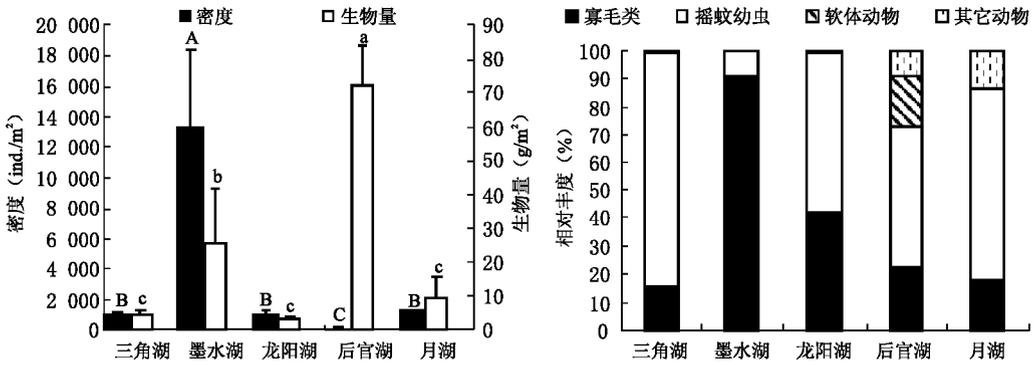
Tab. 3 Number and Ratio of Species in the Lakes

	三角湖		墨水湖		龙阳湖		后官湖		月湖	
	SN	%	SN	%	SN	%	SN	%	SN	%
寡毛类	8	50	8	57.1	6	54.5	4	36.4	7	46.7
摇蚊幼虫	5	31.3	4	28.6	3	27.3	3	27.3	5	33.3
软体动物	0	0	0	0	0	0	1	9.1	0	0
其他动物	3	18.7	2	14.3	2	18.2	3	27.2	3	20

注:SN 为种类数(Species Number)

2.1.2 现存量及优势种

如图 2 所示,墨水湖的底栖动物密度最高,高达



注:同类参数比较中字母不同表示差异显著($p < 0.05$)

图 2 各湖泊底栖动物密度(ind./m²)、生物量(g/m²)比较及各类群的相对丰度(%)

Fig. 2 Comparison of Density (ind./m²) and Biomass (g/m²) Among the Study Lakes and Relative Abundances of Different Groups (%)

若以相对密度或生物量 $\geq 10\%$ 为标准,汉阳湖群的优势种有苏氏尾鳃蚓、霍甫水丝蚓、长足摇蚊、红裸须摇蚊、雕翅摇蚊、羽摇蚊和环棱螺。各湖泊优势种的组成及相对丰度见图 3。长足摇蚊是除后官湖以外的其它湖泊的共同优势种,墨水湖以霍甫水丝蚓占绝对优势,三角湖以长足摇蚊

占绝对优势,而在后官湖,环棱螺占生物量的最大优势。这些优势种类在富营养化湖泊中大量出现,如在污染严重,总氮(TN)、总磷(TP)含量较高的水果湖区,滋生大量霍甫水丝蚓(Limnodrilus hoffmeisteri)^[7]。Brinkhurst 等认为在一些受有机废水排放影响的区域,如生活污水口,颤蚓(主要为

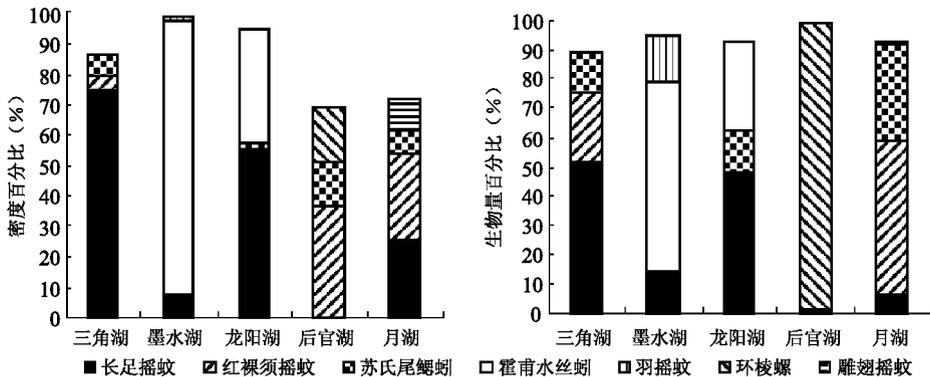


图 3 各湖泊底栖动物优势种的相对丰度(%)

Fig. 3 Relative Abundances (%) of Dominant Species in the Lakes

霍甫水丝蚓和正颤蚓)趋向于占绝对优势,是一种很好的有机污染(富营养)指示生物^[4]。羽摇蚊、红裸须摇蚊和长足摇蚊,亦是富营养水体的特征生物^[2,3,8],因此,从优势种组成来看,除后官湖以外,其他湖泊均达到了富营养水平。

2.2 环境分析

表4给出了底栖动物现存量与环境因子的相关系数和概率水平,由表可见,底栖动物总密度、颤蚓类、摇蚊幼虫及其优势种的密度或生物量与水体TN、TP、叶绿素含量均呈极显著正相关($p < 0.01$),且密度的相关性优于生物量。进一步根据相关系数和散点图筛选最佳参数组合进行线性回归拟合,图4显示了由底栖动物各优势类群密度预测氮、磷含量的线性回归模型,由图可见,颤蚓类对水体氮、磷水平的预测能力(R^2)优于摇蚊幼虫。

表4 底栖动物现存量与环境因子的相关系数(r)和概率水平(p)($n=48$)

Tab.4 Correlation and Probability Levels Between Macroinvertebrate Standing Crops and Environmental Factors ($n=48$)

	lgChla		lgTN		lgTP	
	r	p	r	p	r	p
lgD _T	0.70	0.000	0.83	0.000	0.85	0.000
lgB _T	-0.16	0.338	-0.14	0.356	-0.26	0.071
lgD _{Tub}	0.64	0	0.77	0	0.85	0
lgB _{Tub}	0.53	0	0.60	0	0.71	0
lgD _C	0.49	0.001	0.81	0	0.48	0.001
lgB _C	0.48	0.002	0.65	0	0.43	0.002
lgD _{BS}	-0.18	0.275	0.33	0.023	0.29	0.046
lgB _{BS}	-0.04	0.810	0.22	0.133	0.26	0.076
lgD _{LH}	0.68	0	0.71	0	0.89	0
lgB _{LH}	0.56	0	0.57	0	0.70	0
lgD _{Ta}	0.70	0	0.69	0	0.59	0
lgB _{Ta}	0.61	0	0.62	0	0.48	0
lgD _{CP}	0.48	0	0.58	0	0.59	0
lgB _{CP}	0.30	0.057	0.43	0.002	0.46	0
lgD _{GI}	0.38	0.015	0.46	0.001	0.43	0.003
lgB _{GI}	0.27	0.092	0.30	0.040	0.22	0.141

注:D,密度;B,生物量;T,底栖动物总和;Tub,颤蚓类;C,摇蚊幼虫;BS,苏氏尾鳃蚓;LH,霍甫水丝蚓;Ta,长足摇蚊;CP,羽摇蚊;PA,红裸须摇蚊;GI,雕翅摇蚊。黑体表示显著相关($p < 0.05$)

已有研究表明,水体富营养化程度越高,营养盐对底栖动物的影响越显著^[9],且在污染型湖泊中,颤蚓类与水体或底质中的氮、磷浓度呈正相关^[8,10,11],

但受磷的影响更大^[12,13],本研究亦得到相似的结果。龚志军等在研究东湖大型底栖动物的空间分布及其与富营养化的关系时发现,颤蚓类(主要是霍甫水丝蚓)在总磷水平较高、严重富营养化的湖区往往大量生长繁殖,而在营养水平相对适中的湖区则较少分布^[7]。本研究亦发现在超富营养的墨水湖中霍甫水丝蚓密度最高,且占绝对优势,而在营养水平相对较低的后官湖中,颤蚓数量较少(图3)。由此可见,颤蚓类数量的多寡能够在一定程度上反映水体的营养水平。

摇蚊幼虫通常与底质中的有机质表现出较为显著的相关性^[14,15],在富含有机质的软泥底质中往往滋生大量摇蚊幼虫,以羽摇蚊和长足摇蚊为主要优势种,是高有机含量水体的特征生物,但其耐污力较霍甫水丝蚓弱,在污染严重的排污口附近区域往往没有发现摇蚊幼虫的分布^[7],本研究亦发现在超富营养的墨水湖中,摇蚊幼虫的分布受到限制。

在用线性回归方程拟合颤蚓类、摇蚊幼虫的密度与营养含量的关系时发现,与颤蚓相比,摇蚊幼虫对水体氮、磷水平的预测力(R^2)低于颤蚓类(图4),究其原因在于:一方面摇蚊幼虫密度因其自身的生命活动(部分个体羽化迁移退出水体)而呈明显的季节变动^[16],因此,其数量分布难以客观反映水体的营养水平。另一方面,如上所述,摇蚊幼虫对富营养化的耐受性较颤蚓类差,亦即对氮磷增加的敏感性较颤蚓更大,因此,其分布与水体营养的关系较为复杂,或是简单线性,亦或是单峰分布,如:长足摇蚊与水体营养的关系呈现出一定的单峰分布^[7],即在严重富营养化或营养水平相对较低的环境中,其分布均受到限制。因此,在拟合摇蚊幼虫分布与水体营养的关系时,既要考虑季节因素,亦需要依据二者的散点图分布情况,考虑按富营养化程度分区段进行线性拟合。

2.3 污染评价

汉阳湖群的底栖动物主要以耐污的颤蚓科寡毛类(如霍甫水丝蚓,苏氏尾鳃蚓)和摇蚊科幼虫(如长足摇蚊、红裸须摇蚊、羽摇蚊)占绝对优势,除后官湖出现少量环棱螺外,其它各湖泊中不耐污的软体动物等其它动物缺失,这种单一的群落结构是湖泊富营养化的表征。值得注意的是,在龙阳湖东片,邱家大湾附近没有采集到任何大型底栖动物,这与该湖曾经受到苯酚污染有关。为全面分析各湖泊污染程度,我们采用K-优势曲线及多种生物指数对汉阳湖群进行了综合评估。

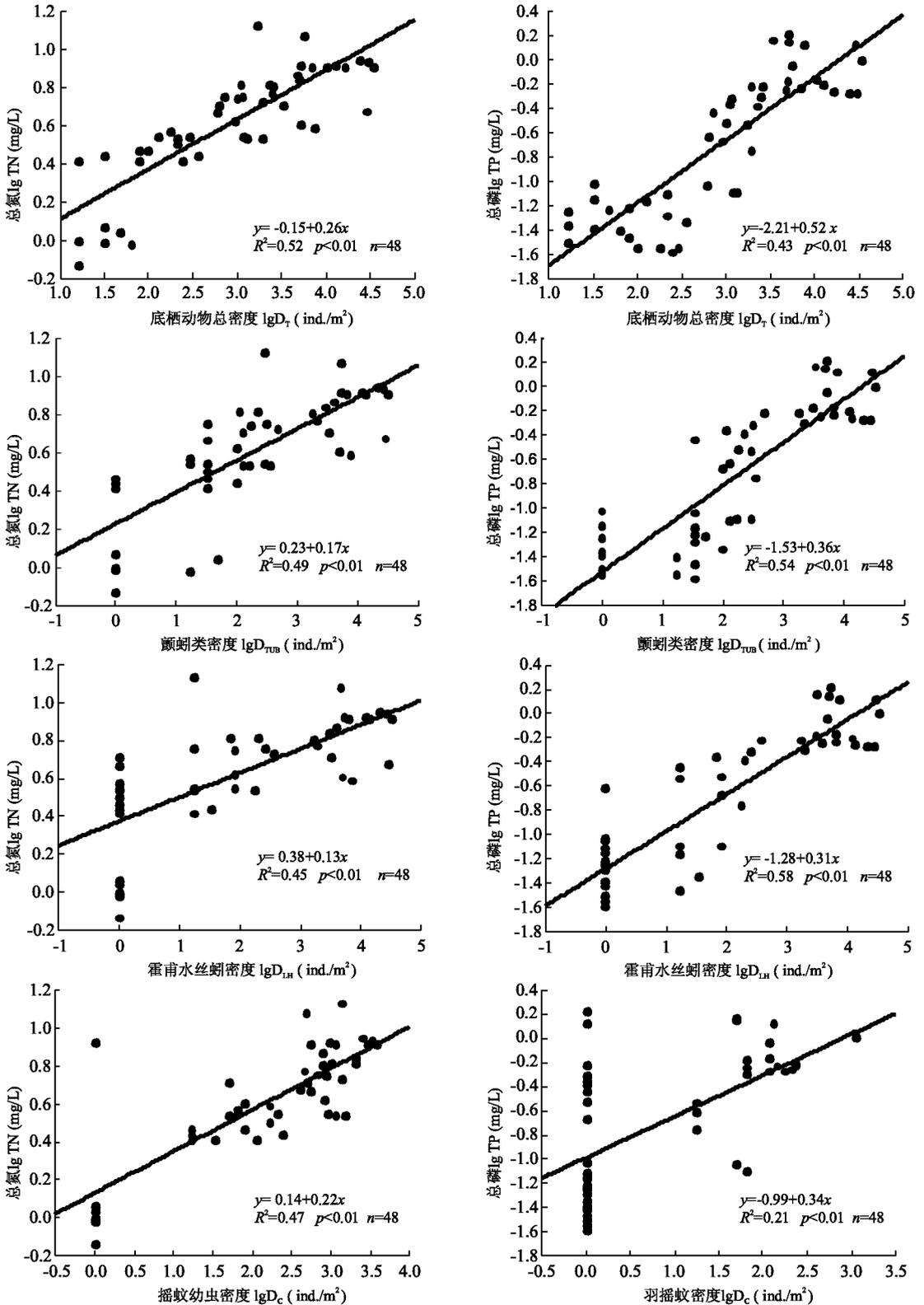


图 4 底栖动物现存量与环境因子的关系

Fig. 4 Relationships Between Macrobenthic Standing Crops and Environmental Parameters

2.3.1 K-优势曲线

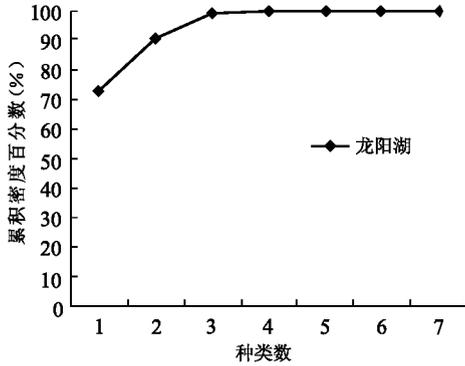
物种多样性可以用 K-优势曲线来评估^[17,18],这个方法综合物种多样性的两个方面,即物种丰富性

与均匀性,直观地体现出群落的优势模式。从 K-优势曲线图可以看出:如果某一曲线上所有的点都位于另一曲线之下,那么该曲线所代表的群落的物种

多样性就比另一曲线所代表的要高,因为该群落具更多的物种且物种个体分布更均匀。

(1) 受酚污染的水体——龙阳湖

由图 5 可见,龙阳湖 2 种优势种类的个体数总和就占到动物总数量的 90%,表明动物物种个体分布极不均匀,物种多样性较低,这种物种多样性的锐



减显然与苯酚化工废料的污染密切相关。据报道,苯酚等有机有毒污染物,被水体悬浮物吸附并最终沉积到沉积物中,对水生生态,特别是底栖生物有重要影响,因此,在沉积物有机污染物生态风险评价的技术方法中,很多都是以生物有效性或生物毒性为依托,成为生态风险评价的一个研究要点^[19,20]。

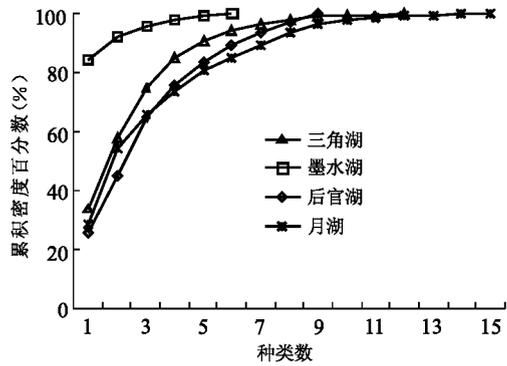


图 5 各湖泊底栖动物群落 K-优势曲线

Fig. 5 K-dominant Curves of Macroinvertebrates in the Study Lakes

(2) 其他水体

同样从图 5 中明显可以看出墨水湖的物种多样性最低,其次是三角湖,后官湖和月湖的 K-优势曲线存在交叉重叠,物种多样性相近。

由于物种多样性在中-富营养水体中随营养程度增加而降低,根据 K-优势曲线认为墨水湖富营养程度最高,其次是三角湖。月湖和后官湖的物种多样性较相近,我们进一步采用生物多样性指数来评估其污染程度。

2.3.2 生物多样性指数

本研究应用湖泊中常用的 2 种生物多样性指数 Shannon-Wiener 指数、Margalef 指数及相应的参考标准对汉阳湖群的污染程度进行了评价。根据黄玉瑶等^[21]提出的底栖动物 Shannon-Wiener 指数(H)水质评价分级标准,从图 6 可看出:墨水湖、龙阳湖

的污染最为严重,属重污染,其次是月湖和三角湖,属中度污染,后官湖的污染程度最轻,属轻度污染。用 Margalef 指数^[22]评估得到类似的结果。

这一评价结果与水体理化指标表征的营养状态基本吻合(表 1),进一步论证了底栖动物水质生物评价的可信度较高。在受酚类物质污染的龙阳湖局部区域未采集到任何大型底栖动物,表明底栖动物群落可用于监测水体环境污染的长期效应。

2.4 底栖动物指示的沉积物污染格局

为了解污染在全湖的分布,进一步应用底栖动物的空间分布来指示各湖泊沉积物的污染格局。由于颤蚓类与水体营养关系最为密切(表 4),许多研究亦表明颤蚓是有机污染的指示生物,可综合指示底质的营养状况^[4,11,23~25],并发展了若干指标体系^[26~28],如 Wright 指数,即是直接采用颤蚓数量来指示富营养化程度。因此,本文根据 2003~2005 年在月湖和三角湖密集采样的结果(样点数 $n=20$),采用差值法绘制了月湖、三角湖颤蚓密度水平分布的等值线,从而应用颤蚓的空间分布来指示全湖的污染格局。如图 7、图 8 所示,月湖西部和南部的梅子山附近颤蚓密度低于 100 ind./m²,污染较轻,东北部颤蚓密度高达 1 000~2 000 ind./m²,有机污染较重,其它区域颤蚓密度为 100~1 000 ind./m²,属中度污染。三角湖的东北部颤蚓密度低于 100 ind./m²,污染较轻,西北部和南岸颤蚓密度高达 1 000~3 000 ind./m²,有机污染较重,其它区域

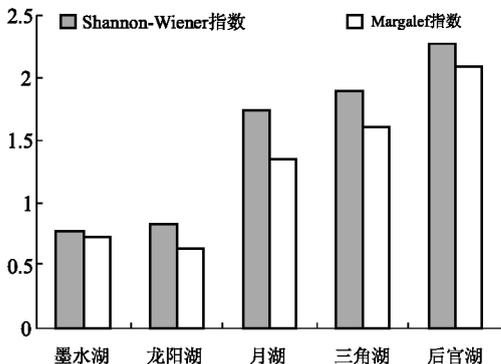


图 6 各湖泊生物多样性指数

Fig. 6 Bio-diversity Index of the Study Lakes

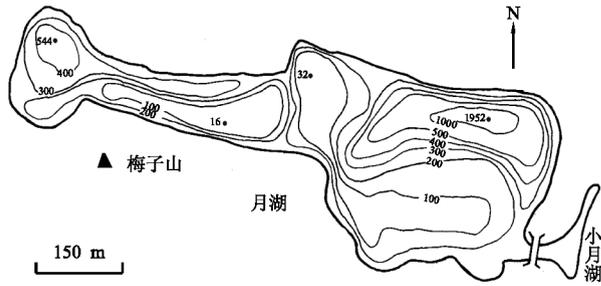


图7 月湖颤蚓密度水平等值线

Fig. 7 Horizontal Isograms of Tubificid Densities in Lake Yuehu

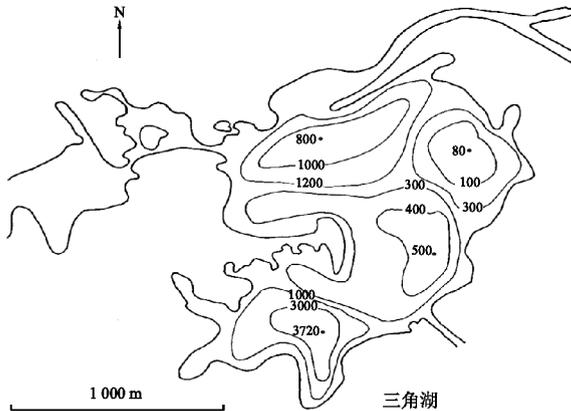


图8 三角湖颤蚓密度水平等值线

Fig. 8 Horizontal Isograms of Tubificid Densities in Lake Sanjiaohu

颤蚓密度为 $100 \sim 1\,000 \text{ ind./m}^2$, 属中度污染。月湖、三角湖的这种污染格局与湖体周边环境密切相关, 据调查, 在月湖的东北岸是靠近居民生活区, 以生活废水污染为主, 西南部的梅子山附近地理位置相对偏远, 人口稀疏, 污染较轻。三角湖的西北岸以农业面源污染为主, 并有一定量的生活污水排入湖体, 湖体南岸靠近新江汉大学和三角湖度假村, 人类活动干扰频繁, 生活垃圾和养殖废水的排入导致局部污染严重。而龙阳湖和墨水湖全湖颤蚓密度高达 $1\,000 \text{ ind./m}^2$ 以上, 部分区域颤蚓密度高达 $5\,000 \sim 10\,000 \text{ ind./m}^2$, 全湖污染严重。这2个湖泊位于武汉市汉阳工业区腹地, 主要受工业和生活废水污染, 其中墨水湖周边有动物园、农田和鱼池, 西北方向有一排污口, 局部水域变黑腥臭。后官湖由于地处城郊, 主要功能是渔业, 以养殖面源污染为主, 工业和生活废水污染相对较轻, 全湖颤蚓密度低于 100 ind./m^2 , 属于轻度污染。由此可见, 应用颤蚓类数量分布格局指示的污染格局基本符合实际情况。

3 结论

汉阳地区湖泊群的底栖动物群落结构单一, 以少数几种耐污种类占绝对优势, 摇蚊幼虫对富营养化的耐受性较颤蚓类弱, 在严重富营养化的墨水湖中, 摇蚊幼虫的分布受高有机含量导致的厌氧环境的限制。颤蚓类、摇蚊幼虫的密度在一定程度上可以反映水体的营养水平, 颤蚓类对湖泊营养水平的预测能力优于摇蚊幼虫。K-优势曲线和多样性指数的污染评价结果与理化指标表征的水体营养状况基本吻合, 在受酚污染的龙阳湖东片, 没有采集到任何大型底栖动物, 这是底栖动物监测环境污染长期效应的例证, 特别是颤蚓类常被用于监测有机污染, 本文应用颤蚓类密度的水平分布指示了各湖泊沉积物污染分布, 结合湖体周边环境分析论证了这种指示作用的可信度较高。

参考文献:

- [1] 刘建康. 高级水生生物学[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 258.
- [2] IWAKUMA T, YASUNO M. Fate of the univohine chironomid, Tokunagayusurika akamusi at emergence in lake Kasumigaura, Japan[J]. Arch Hydrobiol, 1983, 99: 37~59.
- [3] GYORGY D. An attempt to trace eutrophication in a shallow lake using chironomids[J]. Hydrobiologia, 1983, 103: 169~175.
- [4] BRINKHURST R O. The benthos of lakes[M]. London: The Macmillan Press Ltd., 1974: 1~190.
- [5] 黄祥飞, 陈伟民, 梁启铭. 湖泊生态调查观测与分析[M]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [6] WETZEL R G, LIKENS G E. Limnological analyses[M]. Philadelphia, London, Toronto: Press of W. B. Saunders Company, 1979: 1~14.
- [7] 龚志军. 长江中下游浅水湖泊大型底栖动物的生态学研究[D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 2002.
- [8] 龚志军, 谢平, 唐汇娟, 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.
- [9] 谢志才. 围圈养鱼对底栖动物生物多样性的影响[J]. 水生生物学报, 1996, 20(增刊): 90~95.
- [10] 陈其羽, 梁彦龄, 吴天惠. 底栖动物[M]//刘健康(主编). 东湖生态学研究(一). 北京: 科学出版社, 1990: 129~152.
- [11] 姜萃红, 梁小民, 陈芳, 等. 月湖底栖动物的空间格局及其对水草可恢复区的指示[J]. 长江流域资源与环境, 2006, 15(4): 502~505.
- [12] 吕光俊, 熊邦喜, 刘敏, 等. 不同营养类型水库大型底栖动物的群落结构特征及其水质评价[J]. 生态学报, 2009, 29(10): 5339~5349.
- [13] 熊金林, 梅兴国, 胡传林. 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.

- [14] KIMIO H, TAKAYUKI H, NOBUTADA N. Population dynamics of *Propsilocerus akamusi* and *Chironomus plumosus* (Diptera: Chironomidae) in Lake Suwa in relation to changes in the lake's environment[J]. *Hydrobiologia*, 2003, 506—509: 381~388.
- [15] KIMIO H, KAZUYA Y, NORIHIKO Y, et al. Progress of eutrophication and changes of chironomid fauna in Lake Yamana-kako, Japan[J]. *Limnology*, 2004, 5: 47~53.
- [16] 郭先武. 武汉南湖三种摇蚊幼虫生物学特性及其种群变动的研究[J]. *湖泊科学*, 1995, 7(3): 250~255.
- [17] PLATT H M, SHAW K M, LAMBSHEAD P J D. Nematode species abundance patterns and their use in the detection of environment perturbations[J]. *Hydrobiologia*, 1984, 118: 59~66.
- [18] WU J H, LIANG Y L. A comparative study of benthic nematodes in two Chinese lakes with contrasting sources of primary production[J]. *Hydrobiologia*, 1999, 411: 31~37.
- [19] 许静, 任明忠, 杜国勇, 等. 北江表层沉积物中多环芳烃的分布与风险评价[J]. *环境科学*, 2009, 30(11): 3 269~3 275.
- [20] 刘爱霞, 郎印海, 薛荔栋, 等. 沉积物中有机污染物生态风险分析方法研究[J]. *海洋湖沼通报*, 2009(3): 17~23.
- [21] 黄玉瑶, 腾德兴, 赵忠宪. 应用大型无脊椎动物群落结构特征及其多样性指数监测蓟运河污染[J]. *动物学集刊*, 1982, 2(2): 133~144.
- [22] MALGALEF D R. Information theory in ecology[J]. *Gen Syst*, 1957, 3: 36~71.
- [23] JAMES A, LILIAN E. Biological indicators of water quality[M]. New York: John Wiley & Sons, 1979: 1~45.
- [24] WETZEL R G. *Limnology* [M]. 2nd edition. Philadelphia: Saunders College Publishing, 1983: 615~666.
- [25] BRINKHURST R O. Pollution biology—the North American experience [M] // BRINKHURST R O, COOK D G (eds.). *Aquatic oligochaete biology*. New York: Plenum Press, 1980: 471~475.
- [26] WRIGHT S. Limnological survey of western Lake Erie[R]. U. S. fish and wildlife service special research report; Fisheries. 1955, 139: 341.
- [27] GOODNIGHT C J, WHITLEY L S. Oligochaetes as indicators of pollution [C]//Proceedings 15th annual Industrial waste conference. Purdue University, Lafayette, Indiana, 1960: 139~142.
- [28] KING D L, BALL R C. A quantitative biological measure of stream pollution[J]. *Water Pollution Control Fed*, 1964, 36: 650.

MACROBENTHOS COMMUNITIES AND BIO-ASSESSMENT OF LAKES IN HANYANG DISTRICT

JIANG Ping-hong^{1, 2}, CUI Yong-de¹, WANG Hai-jun¹, WANG Hong-zhu¹

(1. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China;

2. Hunan Research Academy of Environmental Sciences, Changsha 410004, China)

Abstract: There are plenty of small lakes distributed in Hanyang District, and these lakes are almost belonging to type V of water quality due to the inputting of industrial and domestic waste water. Macrobenthos has been widely used to monitor the organic pollution. To detect the extent and distribution of pollution in these lakes (Sanjiao Lake, Moshui Lake, Longyang Lake, Yue Lake, Houguan Lake), this study made investigations of macrobenthos community and researches on their indication to lake environment during 2002~2005. Besides of Houguan Lake with one species of mollusca, the other lakes were only inhabited by pollutant-tolerant species, i. e. tubificids (e. g. *Limnodrilus hoffmeisteri*, *Branchiura sowerbyi*) and chironomids (*Tanytus sp*, *Propsilocerus akamusi*, *Chironomus plumosus*). Statistical analyses revealed that densities of tubificids and chironomids were significantly positively correlated with total nitrogen, phosphorus and Chla ($p < 0.05$). The correlation coefficients (R^2) of regression between tubificid densities and nutrients (TN, TP) were higher than that of chironomids, which indicated that the tubificid densities were more reliable for predicting trophic level than chironomid. The result of water quality bio-assessment was almost consistent with the physical-chemical evaluation, i. e. Moshui Lake and Longyang Lake were severely polluted, Yue Lake and Sanjiao Lake were moderately polluted and Houguan Lake was slightly polluted. Not any macrobenthos was collected in the eastern phenol-polluted area of Longyang Lake, which validated the monitoring role of macrobenthos in the long-term effect of pollution. Furthermore, this study utilized the spatial pattern of tubificid to indicate the pollution pattern of these lakes. On the basis of environmental analyses, this study validated the reliable role of tubificid in monitoring organic pollution.

Key words: macrobenthos; community structure; environmental analysis; water quality bio-assessment; tubificid isograms; pollution pattern