

不同污染程度湖泊底栖动物群落结构及多样性比较*

熊金林¹ 梅兴国¹ 胡传林²

(1: 华中科技大学生命科学与技术学院, 武汉 430074; 2: 水利部、中国科学院水库渔业研究所, 武汉 430079)

提 要 首次对湖北梁子湖水系污染程度不同(中营养型、中富营养型、富营养型)的 4 个湖泊的底栖动物群落结构和物种多样性进行了周年研究, 结果表明, 底栖动物种类数、物种多样性与湖泊受污染程度呈负相关关系, 密度与污染程度大体上呈正相关. 还讨论了底栖动物环境指示种生态特性, 研究表明中国长足摇蚊的密度与水体营养水平呈正相关, 软体动物种类数与湖泊污染程度呈负相关. 通过对软体动物、寡毛类及摇蚊类密度和生物量在不同湖泊之间的差异的分析, 表明湖泊水体污染导致了底栖动物多样性明显降低.

关键词 底栖动物 污染程度 群落结构 物种多样性 多样性指数

分类号 Q958.15

淡水湖泊中底栖动物的主要类群包括软体动物、环节动物和水生昆虫等. 许多学者对湖泊底栖动物不同类群群落结构及演替已有较深入的研究^[1-4]. 由于底栖动物对环境变化反应敏感, 当水体受到污染时, 底栖动物群落结构及多样性将会发生改变, 因此, 其种类和群落特征作为环境评价指标在湖泊水质监测中得到广泛应用, 且相关报道较多^[5-8]. 对于污染程度不同的湖泊底栖动物群落结构及多样性差异的比较研究报道较少^[9,10]. 为此, 作者选取了地理位置、湖泊底质、底栖鱼类产量相近, 但污染程度不同的四个湖泊进行比较研究, 以期了解其底栖动物在种类及优势种组成、环境指示种分布、密度、生物量及物种多样性等方面的差异, 探讨水体的污染对底栖动物群落结构与多样性的影响规律.

四个湖泊地处湖北省鄂州市境内, 地跨 N30° 23' -30° 28', E114° 38' -114° 53'. 均属长江中游南岸的中小型浅水湖泊. 严家湖(200hm²)、武四湖(666hm²)、红莲湖(733hm²)与长港相连并由樊口大闸与长江相通, 主要接纳农田地表径流来水, 严家湖还接纳部分工业污水, 这四个湖泊属梁子湖水系, 武四湖、红莲湖是未受工业及生活污水污染的草藻型湖泊. 洋澜湖(167hm²)与长江直接相通, 从 20 世纪 80 年代起, 因城市生活污水和工业废水的大量排入, 加速了水体富营养化, 属城郊富营养藻型湖泊. 四个湖泊底泥均为灰色淤泥.

1 研究方法

1.1 采样站的设置

水样的采集根据湖泊的面积、形态、生态环境设置采样站(图 1), 洋澜湖、严家湖

* 湖北省教育厅重点科研项目(2001C01)资助. 2002-09-01 收稿; 2002-12-16 收修改稿. 熊金林, 男, 1963 年生, 副教授.

面积相对较小, 在不同污染源的两个湖区各设一个采样站; 武四湖、红莲湖湖区生态环境条件基本一致, 也设二个采样站, 各湖 I、II 站为水样采集点, I—IV 站为底栖动物采集点。

1.2 底栖动物的采集与样品处理

底栖动物采集于 2001 年 7 月、10 月及 2002 年 1 月、4 月下旬, 每季度采集一次, 分别代表夏、秋、冬、春季。底栖动物的定量采集用 $1/40\text{m}^2$ 改良型彼德生采泥器。每一采样站取二次泥样, 混合后泥样经孔径为 0.45mm 筛网洗涤干净后, 剩余物带回实验室完成样本清检、10%福尔马林固定、种类鉴定、计数、称重及换算成每平方米含量等工作。定性样本在采样点周围随机采集。

1.3 水化学分析

采集底栖动物样本时, 同时采集水化学分析的水样。各项理化指标的测定按水和废水标准检验法进行^[11], 叶绿素 a 含量采用丙酮萃取分光光度法测定。

1.4 底栖动物多样性指数计算及统计分析

采用以下两种公式计算, 其值均表明底栖动物多样性大小。

$$\text{Margalef 多样性指数 } d = (S-1) / \ln N$$

$$\text{Shannon-wiener 多样性指数 } H' = -\sum [(n_i/N) \ln (n_i/N)]$$

式中, S 为种类数, n_i 为 i 种的密度 (ind./m^2), N 为总密度 (ind./m^2)。底栖动物群落相似性采用夹角余弦函数计算^[1], 应用模糊聚类分析 (Fuzzy Cluster Analysis) 分析四个湖泊底栖动物物种的相似性。有关底栖动物种类、密度及生物量数据的统计采用双向分组资料的方差分析方法, 方差分析前有关密度的数据经过了对数处理。

1.5 湖泊污染程度确定

以湖泊营养类型来确定水质污染程度, 采用相关加权综合营养状态指数评价营养类型。

2 研究结果

2.1 湖泊营养类型定量评价结果

表 1 为 2001—2002 年周年四个湖泊主要理化指标的年均值, 叶绿素、浮游植物数量、

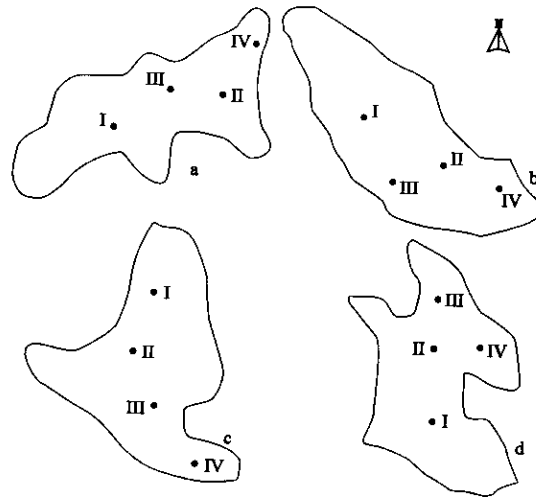


图 1 各湖采样站分布图 (a: 洋澜湖; b: 严家湖; c: 武四湖; d: 红莲湖)

Fig.1 Map of four lakes showing sampling stations

总磷、总氮在四个湖泊中存在明显差异。叶绿素 a 红莲湖稍大于武四湖外, 均为洋澜湖 > 严家湖 > 武四湖 > 红莲湖; 透明度呈相反的变化趋势。湖泊营养类型的确定依照相关加权营养状态指数法, 即对湖泊营养状态进行连续分级的方法。先将湖水叶绿素 a、总磷、总氮含量及透明度四个参数(m=4)转化为营养状态指数(TLI_j), 由于同一湖泊这几种营养状态指数有一定差别, 很难用单独的指数评价湖泊的营养类型。因此, 需再以叶绿素 a 为基准参数, 按照各参数与叶绿素 a 的相关程度 r_{ij} 给出各评价参数的权重分配 W_j, 用加权后的综合营养状态指数 TLIC 来评判每个湖泊的营养类型。计算公式为 TLIC = $\sum W_j TLI_j$, $W_j = r_{ij}^2 / \sum r_{ij}^2$ 。TLIC 与湖泊营养类型的对应关系参照蔡庆华提出的划分标准^[12], 评价结果见表 2。

表 1 各湖理化指数年平均值

Tab.1 Means for main physicochemical variables measured at different lakes

理化参数	洋 澜 湖	严 家 湖	武 四 湖	红 莲 湖
叶绿素 a (μg/L)	46.8	17.7	3.5	5.2
透明度 (m)	0.405	0.590	0.916	1.164
总 磷(mg/L)	0.2879	0.1111	0.0593	0.0138
总 氮(mg/L)	3.7155	4.7212	2.1925	1.3553
COD (mg/L)	11.783	8.288	9.087	7.137
浮游植物(×10 ⁴ ind/L)	324.31	145.78	37.19	16.00

表 2 各个湖泊营养类型评价结果

Tab.2 Assessment of trophic state in different lakes

湖 泊	TLI(Chla)	TLI(TP)	TLI(SD)	TLI(TN)	TLIC	营养分级
洋澜湖	66.77	74.14	68.72	76.76	71.06	富营养
严家湖	56.21	58.68	61.42	80.83	62.34	富营养
武四湖	38.61	48.47	52.47	67.83	49.57	中富营养
红莲湖	42.90	24.80	48.23	59.68	41.76	中营养

2.2 底栖动物群落结构的比较

2.2.1 组成及分布比较 四个湖泊共采集鉴定出底栖动物 39 种, 隶属 12 科 33 属, 其中软体动物 12 种、环节动物 11 种、水生昆虫 16 种。各湖底栖动物的种类组成及比例见表 3 和表 4。洋澜湖、严家湖、武四湖、红莲湖出现的种类依次为 14、21、25、31 种, 经双向分组资料的方差分析表明, 不同湖泊底栖动物种类数存在显著差异 (P<0.01), 严家湖与武四湖差异不显著 (P>0.05) 外, 其它湖泊间差异极显著 (P<0.01), 各站间种类数无显著差异 (P>0.05)。可见随着湖泊污染程度的加重, 底栖动物种类数明显下降, 种类构成趋于简单。洋澜湖由于受到城市生活污水和工业废水的污染, 水中总氮、总磷浓度严重超标, TLIC 值达到 71, 富营养化问题比较严重, 底栖动物种类数仅有 14 种, 且湖中软体动物几乎绝迹, 仅有寡毛类和摇蚊类分布。红莲湖 TLIC 值为 41.7, 其底栖动物的种类数 (31 种) 明显多于洋澜湖, 且软体动物及水生昆虫种类数占明显优势, 寡毛类在底栖动物中比例仅为 12.9%。洋澜湖、严家湖、武四湖水生昆虫全部为摇蚊类幼虫, 仅在红莲湖分布有 3 种其它双翅目幼虫。严家湖、武四湖除寡毛类外, 环节动物分别有 2 种、1 种其它类分布。调查中还发现,

环节动物种类的比率与水体污染程度呈正相关 ($r=0.907$, $P<0.01$), 软体动物种类数及比率与水体污染程度呈显著负相关 ($r=-0.940$ 及 $r=-0.992$, $P<0.01$), 底栖动物种类数与水体污染程度呈显著负相关 ($r=0.984$, $P<0.01$) .

2.2.2 密度和生物量比较 四个湖泊底栖动物的密度和现存量存在显著差异 ($P<0.01$), 武表 3 四个湖泊底栖动物的种类组成

Tab.3 Species of zoobenthos occurring in four lakes

种 类	洋澜湖	严家湖	武四湖	红莲湖
软体动物 Mollusca				
中国圆田螺 <i>Cipangopaludina chinensi</i>		+	+	+
中华圆田螺 <i>Cipangopaludina cathayensis</i>			+	+
铜锈环棱螺 <i>Bellamyia aeruginosa</i>		+	+	+
梨形环棱螺 <i>Bellamyia purificata</i>		+	+	+
长角涵螺 <i>Alocinma longicornis</i>		+	+	+
方格短沟蜷 <i>Semisulcospira cancellata</i>			+	+
大沼螺 <i>Parafossarulus eximius</i>			+	+
纹沼螺 <i>Parafossarulus striatulus</i>				+
赤豆螺 <i>Bithynia fuchsiana</i>			+	+
淡水壳菜 <i>Limnoperna lacustris</i>			+	+
矛蚌一种 <i>Lanceolaria</i> sp.				+
河蚬 <i>Corbicula fluminea</i>		+		+
环节动物 Annelida				
霍甫水丝蚓 <i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	+	+	+	+
克拉伯水丝蚓 <i>L.claparedianus</i>	+			+
巨毛水丝蚓 <i>L.grandisetosus</i>	+			
苏氏尾鳃蚓 <i>Branchiura sowerbyi</i>	+	+	+	+
正颤蚓 <i>Tubifex tubifex</i>	+	+	+	
中华河蚓 <i>Rhyacodrilus sinicus</i>	+	+	+	
淡水单孔蚓 <i>Monophephorus limosus</i>			+	+
仙女虫科一种 <i>Naididae</i> sp.	+			
透清毛腹虫 <i>Chaetogaster diaphanus</i>	+			
水蛭科一种 <i>Hirudinidae</i> sp.		+	+	+
舌蛭科一种 <i>Glossiphonidae</i> sp.		+		
水生昆虫 <i>Insecta</i>				
长足摇蚊 <i>Tangpus</i> sp.	+	+	+	+
中国长足摇蚊 <i>Tangpus chinensis</i>	+	+	+	+
前突摇蚊一种 <i>Procladius</i> sp.	+	+	+	+
直突摇蚊亚科一种 <i>Tanypodinae</i> sp.		+	+	+
羽摇蚊 <i>Chironomus plumosus</i>	+	+	+	+
摇蚊属一种 <i>Chironomus</i> sp.				+
大红德永摇蚊 <i>Tokunagayusurika akamusi</i>	+	+	+	+
<i>Prosiloceru</i> sp.		+		
小摇蚊 <i>Microchironomus</i> sp.		+	+	+

续表 3

雕翅摇蚊 <i>Glyptotendipes gripekoveni kieffer</i>				+	+
异腹鳃摇蚊 <i>Einfeldia</i> sp.				+	+
摇蚊亚科一种 <i>Chironominae</i> sp.			+	+	+
摇蚊蛹 <i>Pupa of chironomidae</i>				+	
库蚊 <i>Culicoides</i> sp.					+
幽蚊 <i>Chaoborus</i> sp.					+
双翅目一种 <i>Diptera</i> sp.					+

表 4 四个湖泊各类底栖动物种类数及比率

Tab.4 Number and percentage of taxa of zoobenthos in four lakes

类 群	洋 澜 湖		严 家 湖		武 四 湖		红 莲 湖	
	种类数	比率(%)	种类数	比率(%)	种类数	比率(%)	种类数	比率(%)
软体动物			5	23.81	9	36.00	12	38.71
寡毛类	8	57.14	4	19.05	5	20.00	4	12.91
摇蚊类	6	42.86	10	47.62	10	40.00	11	35.48
其它类			2	9.52	1	4.0	4	12.90
合计	14	100	21	100	25	100	31	100

四湖与红莲湖底栖动物密度相差不显著外 ($P>0.05$), 其它湖泊间差异极显著, 软体动物、寡毛类密度在武四湖与红莲湖之间的差异不显著外 ($P>0.05$), 其它湖泊间密度及生物量差异极显著 ($P<0.01$), 摇蚊类生物量在武四湖与红莲湖之间相差不显著之外 ($P>0.05$), 其它湖泊间摇蚊类密度与生物量相差极显著 ($P<0.01$); 各站间底栖动物密度及生物量差异不显著 ($P>0.05$). 严家湖密度最高为 2407 ind./m^2 , 红莲湖密度最低, 仅有 408 ind./m^2 , 两者相差约 6 倍. 但生物量之间的差异并不明显, 洋澜湖软体动物已绝迹, 尽管底栖动物密度较大 (1815 ind./m^2), 但生物量很小, 仅有 5.89 g/m^2 . 武四湖、红莲湖中软体动物几乎包含了全部生物量, 严家湖摇蚊类密度占底栖动物绝对比例 (95.5%), 但生物量所占比例不大 (仅为 12.1%), 可见洋澜湖、严家湖底栖动物密度由寡毛类和摇蚊类数量控制, 武四湖、红莲湖生物量由软体动物决定^[9,10]. 从表 5 还可见, 污染较严重的洋澜湖、严家湖寡毛类和摇蚊类密度与武四湖和红莲湖相差很大, 洋澜湖与武四湖、红莲湖分别相差近 8 倍、10 倍; 严

表 5 四个湖泊底栖动物年均密度 $D(\text{ind./m}^2)$ 与生物量 $B(\text{g/m}^2)$ Tab.5 Annual average density ($D: \text{ind./m}^2$) and biomass ($B: \text{g/m}^2$) of zoobenthos in four lakes

类 群	洋 澜 湖		严 家 湖		武 四 湖		红 莲 湖	
	$D(\text{ind./m}^2)$	$B(\text{g/m}^2)$	$D(\text{ind./m}^2)$	$B(\text{g/m}^2)$	$D(\text{ind./m}^2)$	$B(\text{g/m}^2)$	$D(\text{ind./m}^2)$	$B(\text{g/m}^2)$
软体动物			33	91.63	225	255.35	203	116.00
寡毛类	545	2.19	68	0.84	43	0.31	45	1.30
摇蚊类	1270	3.70	2298	12.78	190	0.41	145	0.24
其它类			8	0.09	3	0.03	15	0.05
合计	1815	5.89	2407	105.34	461	256.10	408	117.59

家湖与武四湖、红莲湖分别相差近 10 倍、13 倍。底栖动物密度 Z_d 与水体污染程度关系为: $Z_d = -$

$2343.6 + 64.37TLIc$, $r = 0.842$, $P < 0.05$.

2.2.3 群落结构相似性比较 为探讨四个湖泊底栖动物群落结构相似情况, 采用夹角余弦函数计算各湖泊间群落结构相似性指数。可见武四湖、红莲湖底栖动物具较相似的群落结构 ($S = 0.83$), 污染较重的洋澜湖与武

四湖、红莲湖的相似性指数分别为 0.48、0.43, 说明洋澜湖与武四湖、红莲湖底栖动物群落结构存在较大差异 (图 2)。可见, 湖泊营养类型越相近, 底栖动物群落结构越相似。

2.3 优势种的比较

根据每个物种出现率、分布密度及生物量比率确定各湖优势种 (表 6), 可见在污染程度不同的湖泊底栖动物优势种群各不相同。洋澜湖以中国长足摇蚊、霍甫水丝蚓、克拉伯水丝蚓、苏氏尾鳃蚓为优势种, 其中中国长足摇蚊占底栖动物总数量的 60.5%。严家湖中大红德永摇蚊和中国长足摇蚊占绝对优势 (85.7%), 所占比率分别为 48.1% 和 37.6%, 软体动物仅有铜锈环棱螺分布密度较大。因此调查表明洋澜湖、严家湖底栖动物耐污染的优势种类相当稳定, 优势种的个体数量很大。而在武四湖和红莲湖水体中主要以要求水质较好, 污染较轻的软体动物如中国圆田螺、铜锈环棱螺、梨形环棱螺、方格短沟蜷、长角涵螺为优势种群, 分别占底栖动物总数的 46.6% 和 40.0%。寡毛类中仅有苏氏尾鳃蚓在武四湖、红莲湖分布密度较大, 比率分别为 4.3% 和 9.8%。摇蚊类在武四湖、红莲湖水体中的优势种群分别为中国长足摇蚊、异腹鳃摇蚊, 依次占底栖动物总数的 19.3% 和 9.3%。调查中还发现, 各个湖泊的中国长足摇蚊密度 (TC) 与水体污染程度呈明显正相关。

$$TC = -1815.6 + 41.63TLIc \quad (r = 0.9734, P < 0.01)$$

2.4 多样性的比较

表 7 列举了四个不同污染程度湖泊在不同季节底栖动物的 Shannon-Wiener 指数值、Margalef 指数值, 可以看出, 各湖泊底栖动物多样性指数值随污染程度的加重而呈下降趋势, Shannon-Wiener 多样性指数与综合营养状态指数 TLIc 相关关系为:

$$H' = 4.2097 - 0.0450TLIc \quad (r = 0.9342, P < 0.01)$$

Margalef 指数值与 TLIc 之间相关关系为:

$$d = 4.3363 - 0.0497TLIc \quad (r = 0.9975, P < 0.01)$$

可见底栖动物 Margalef 指数值与湖泊污染程度间有高度一致性, 污染较严重的洋澜湖和严家湖底栖动物年均 Shannon-Wiener 指数值与 Margalef 指数值明显低于红莲湖和武四湖, 这主要由于洋澜湖、严家湖受到生活污水与工业废水的污染, 使底栖动物物种数量明显减少, 而适应富营养水体的某些种类在湖泊占极优势地位, 从而导致物种多样性的下降。

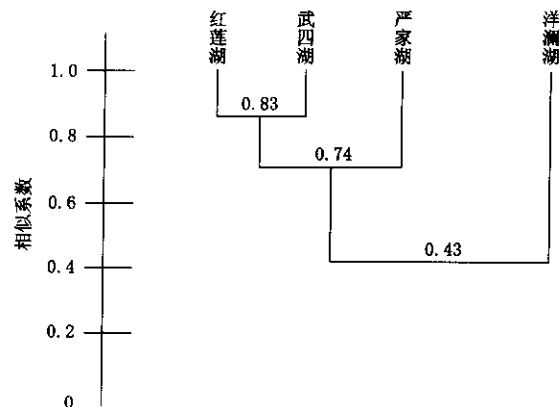


图 2 各湖底栖动物群落结构相似性聚类分析

Fig.2 Fuzzy cluster dendrogram of similarity of zoobenthos structure in four lakes

表 6 四个湖泊底栖动物优势种的密度 D (ind./m²) 与生物量 B (g/m²)Tab.6 Annual average density(D :ind./m²)and biomass(B :g/m²)of dominant species in four lakes

种 类	洋 澜 湖		严 家 湖		武 四 湖		红 莲 湖	
	D	B	D	B	D	B	D	B
中国圆田螺					15	35.11	13	5.25
铜锈环棱螺			25	58.38	85	174.68	30	63.05
犁形环棱螺					35	35.88	8	9.55
赤 豆 螺							50	6.28
方格短沟蜷					35	3.87	25	4.93
霍甫水丝蚓	140	0.62						
苏氏尾鳃蚓	128	0.57	43	0.68	20	0.16	40	1.29
克拉伯水丝蚓	198	0.87						
中国长足摇蚊	1098	3.29	903	1.95	89	0.15		
大红德永摇蚊			1155	10.11				
异腹鳃摇蚊							38	0.03
合 计	1564	5.35	2126	71.12	279	249.85	204	90.38

表 7 不同湖泊底栖动物的多样性指数

Tab.7 Diversity index of zoobenthos in four lakes

湖 泊		夏 季	秋 季	冬 季	春 季	年 均 值
洋澜湖	H'	1.443	0.4140	1.375	1.641	1.218
	d	0.656	0.906	0.769	0.894	0.806
严家湖	H'	0.668	1.439	0.478	1.755	1.085
	d	1.237	1.439	0.947	1.412	1.259
武四湖	H'	1.738	2.314	1.969	2.166	2.047
	d	1.720	2.161	1.764	1.589	1.808
红莲湖	H'	2.286	2.585	2.471	2.164	2.376
	d	2.322	2.474	2.370	2.039	2.301

3 讨论

3.1 环境指示种与水体污染的关系

Patton 将与特殊的环境条件密切相关的生物定义为环境指示种 (environmental indicators)。这些指示种能接受环境污染持续的影响和具有对污染的效应非常敏感的特性, 故用于评估和测定环境变化^[13]。湖泊中摇蚊科部分种的幼虫如大红德永摇蚊、羽摇蚊和寡毛类少数种如 霍甫水丝蚓被广泛用来作为水体污染的指示生物^[5,7,9]。龚志军等研究得出东湖不同湖区霍甫水丝蚓的密度分布与水体营养水平呈明显正向相关趋势的结论与本研究结果相符。IwaRuma 等在研究日本一个富营养湖泊 Kasumigaura 时发现, 大红德永摇蚊在湖中被大量发现。本调查中严家湖受工业废水污染, 属富营养型湖泊, 其大红德永摇蚊年平均密度为 1155 ind./m², 在冬季密度高达 4200 ind./m²。因此可将大红德永摇蚊作为工业废水引起水质变化的指示生物。有关中国长足摇蚊与水体富营养化的关系, 仅有龚志军作过研究报道^[9,10], 并指出中国长足摇蚊在超富营养的湖区表现出最高的密度 4992 ind./m², 呈单峰分布, 其它湖区密度很低 1.3-26.7 ind./m², 作者调查的四个湖泊中中国长足摇蚊与水体富营养化程度呈正相关趋势。综上所述, 判断或评估一个湖泊水体的

摇蚊与水体富营养化程度呈正相关趋势。综上所述, 判断或评估一个湖泊水体的污染程度, 既要判别有无环境指示种的存在, 还要确定环境指示种的分布密度。

3.2 软件动物的种类丰富度与湖泊水体污染评价

从种类数、组成分布、多样性指数来看, 随着水体污染程度的加重, 底栖动物群落结构的丰富性明显降低, 这在软体动物中表现最为明显。红莲湖、武四湖水质未受到污水污染, 且湖中有沉水植物分布, 周丛生物覆盖在水生植物上, 这对软体动物栖息、摄食、生长、繁殖非常重要^[15,16], 因此软体动物种类密度及生物量明显多于洋澜湖和严家湖。因此, 底栖动物多样性降低是由于水质污染造成的富营养化和水生植物群落消亡而引起的^[14,17]。构成四个湖泊底栖动物群落结构差异主要是软体动物的种类分布及耐污种数量不同。调查中发现软体动物种类数、分布密度与湖泊的污染程度呈反向趋势。因此, 软件动物的种类丰富度可作为评价湖泊水体污染的重要指标。

3.3 多样性指数可用来反映底栖动物群落结构、组成及功能等方面的内在信息, 同时还可监测环境变化对底栖动物的影响及水环境质量^[1,8,9]

本次调查发现, 污染较严重的洋澜湖及严家湖摇蚊类、寡毛类密度及生物量相对较大, 往往是某一种或少数种类占绝对优势, 底栖动物群落结构趋于简单, 其多样性指数相对较小, 而仅接纳农田地表径流来水的红莲湖、武四湖底栖动物种类较多, 群落中不同物种分布较均匀。其多样性指数相对较高。本文采用的综合营养状态指数法是湖泊水体营养评价的主要方法, 利用该方法确定了四个湖泊水体的营养状态属性或营养水平, 研究表明: 多样性指数与湖泊营养水平之间呈现显著的负相关关系, 尤其是 Margalef 指数值与湖泊污染程度间呈现高度一致性。这表明利用多样性指数既可反映湖泊水体底栖动物群落结构特点, 又可监测水体环境质量的优劣。

参 考 文 献

- 1 谢志才等. 长江中游湖泊底栖动物多样性的研究. 水生生物学报, 1996, 20 (增刊): 103—113
- 2 梁彦龄, 刘伙泉. 草型湖泊资源、环境与渔业生态学管理 (一). 北京: 科学出版社, 1995: 178—203
- 3 陈其羽, 吴天惠. 底栖动物. 见: 刘健康编. 东湖生态学研究 (一). 北京: 科学出版社, 1990: 129-151
- 4 Gasellato S, Caneva F. Composition and distribution of bottom oligochaete fauna of a north Italian eutrophic lake. *Hydrobiologia*, 1994, 278: 87-92
- 5 Iwakuma T, Yasuno M. Fate of the univoltine Chironomid, *Tokunagayusurika akamusi* at emergence in Lake Kasumigaura, Japan. *Arch Hydrobiol*, 1983, 99: 37-59
- 6 Goran Milbrink. An improved environmental index based on the relative abundance of oligochaete species. *Hydrobiologia*, 1983, 102: 89-97
- 7 Gyorgy Devai, et al. An attempt to trace eutrophication in a shallow lake using chironomids. *Hydrobiologia*, 1983, 103: 169-175
- 8 任淑智. 京津及邻近地区底栖动物群落特征与水质等级. 生态学报, 1991, 11 (3): 262-268.
- 9 龚志军等. 水体富营养化对大型底栖动物群落结构及多样性的影响. 水生生物学报, 2001, 25 (3): 210—216
- 10 Gong Zhijun, et al. Impact of eutrophication on biodiversity of the macrozoobenthos community in a Chinese shallow lake. *J Freshwater Ecology*, 2001, 16 (2): 171—178

- 11 美国公共卫生协会等编著, 水和废水标准检验法, 北京: 中国建工出版社, 1985
- 12 刘健康编. 东湖生态学研究(二). 北京: 科学出版社, 1995
- 13 Patton D R. Is the use of "management indicator species" feasible? *Western Journal of Applied Forestrg*, 1987, 2: 33-34
- 14 谢平等. 淡水生态系统中生物多样性面临的威胁. *科学对社会的影响*, 1995, 4: 15-24
- 15 Gong Zhijun, et al. Macrozoobenthos in 2 shallow, mesotrophic Chinese lakes with contrasting sources of primary production. *J N Am Benthol Soc*, 2000, 19(4): 709-724
- 16 Scheffer M. *Ecology of shallow lakes*. London: Chapman and Hall, 1998
- 17 McLachlan A J. The effect of macrophytes on the variety and abundance of benthic fauna in a newly created lake in the tropics (Lake kariba). *Arch Hydrobiol*, 1969, 66: 212-231

Comparative Study on the Community Structure and Biodiversity of Zoobenthos in Lakes of Different Pollution States

XIONG Jinlin¹, MEI Xinguo¹ & HU Chuanlin²

(1: College of Life Science and Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, P. R. China;

2: Institute of Reservoir Fisheries, Chinese Ministry of Water Resources and Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430079, P. R. China)

Abstract

Four lakes with different pollution state (mesotrophic, meso-eutrophic and eutrophic) were studied and compared over a period of one year for the community structure and biodiversity of zoobenthos. Considerable differences in zoobenthos species composition, dominant species, abundance, biomass and diversity index were observed. The results showed the higher pollution state of lake, the smaller species number, biodiversity based on Margalef index and Shannon-Wiener index. Inversely, zoobenthos density increased with the aggravation of lake pollution on the whole. Ecological characteristics of environmental indicators were also discussed. The density of the oligochaete *Tanytus chinensis* was positively correlated with the state of lake pollution. A negative correlation was apparent between the number of species, density and the pollution level. These results indicated that a clear decrease in biodiversity should be attributed to water pollution.

Keywords: Zoobenthos; pollution state; community structure; species diversity; biodiversity index