

湖北四湖泊营养类型与轮虫群落的关系*

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)

摘要:对湖北梁子湖水系不同营养类型(中营养型、富营养型)4个湖泊中轮虫的群落结构和物种多样性进行了周年研究,分析比较了不同营养类型湖泊的轮虫种类组成、分布、优势种组成、密度、生物量和多样性指数。结果表明:轮虫的种类数、物种多样性与营养水平呈负相关关系,轮虫密度大体上随营养水平提高而增大,富营养化引起轮虫空间异质性降低,受污染湖泊与非污染湖泊轮虫种类数、寡污性种类数及分布差异尤为明显。用多样性指数评价湖泊营养状态与 *TLLc* 方法一致。

关键词:湖泊;轮虫群落;营养类型;多样性指数

中图分类号:Q958 **文献标识码:**A **文章编号:**0250-3263(2003)06-08-07

Relationship between the Trophication Classification and the Community Structure of Rotifers in Four Lakes

XIONG Jin-Lin^① MEI Xing-Guo^① HU Chuan-Lin^②

(^① College of Life Science and Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074;

^② Institute of Reservoir Fisheries, The Chinese Ministry of Water Resources and the Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430079, China)

Abstract: The community structure and biodiversity of rotifers were studied and compared over a period of one year in four lakes with different trophic state (mesotrophic and eutrophic). After analyzed the species composition, dominant species, abundance, biomass and diversity index of rotifers, it is found that the higher trophic status of lake, the smaller the number of species and biodiversity (measured as Margalef index, Shannon-Wiener index, K-dominant curves), and that rotifer density increased with the improvement of lake eutrophication. There were significant differences in number of oligosaprobity and rotifer species and their distribution between non-polluted and polluted lakes. There was a negative correlation among trophic status index, Margalef index and Shannon-Wiener index. The evaluation from comprehensive trophic level index is consistent with the results from biodiversity index.

Key words: Lake; Rotifers community; Trophic state; Biodiversity index

轮虫是湖泊中浮游动物的重要组成部分,许多学者研究了湖泊中轮虫的种类与数量变动^[1-3],报道表明湖泊轮虫的物种多样性与水体富营养化有关^[2,4,5]。由于轮虫对环境的敏感性,轮虫群落的生态特征可作为水质评价的依据^[6-9],但同一水系不同营养类型湖泊尤其是

污染湖泊与非污染湖泊轮虫群落特征差异的研

* 湖北省教育厅重点科研项目(2001C01);

第一作者介绍 熊金林,40岁,男,副教授,博士研究生;主要从事水生生态和生物技术工作;现工作单位:鄂州大学生物系,436000。

收稿日期:2002-12-30,修回日期:2003-09-05

究报道极少。为此,作者选取了地理位置、滤食性鱼类密度与放养种类比例相近,但营养状况或污染程度不同的4个湖泊作为研究对象,以期了解不同营养类型的湖泊中轮虫群落结构在种类及优势种组成、密度和生物量状况、物种多样性及环境指示种分布等方面的差异,同时对轮虫群落结构指标与湖泊水质的关系进行初步探讨,并与湖泊营养状态指数这种评价方法相比较,试图为湖泊富营养化治理、合理养殖、水环境评价提供基础资料和生物学依据。

4个湖泊($N30^{\circ}23' \sim 30^{\circ}28'$, $E114^{\circ}38' \sim 114^{\circ}53'$)地处湖北省鄂州市境内,均属长江中游南岸的中小型浅水湖泊。严家湖、武四湖、红莲湖(面积分别为200、666、733 hm^2)与长港相连并由樊口大坝与长江相通,主要接纳农田地表径流来水,严家湖还接纳部分工业污水,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(面积为167 hm^2)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。

1 研究方法

1.1 采样站的设置 根据湖泊的面积、形态、生态环境,洋澜湖、严家湖、武四湖、红莲湖各设4个采样站(图1)。其中I、II站为水样采集点,III~IV站为轮虫采集点。

1.2 轮虫的采集及计数方法 轮虫的采集于2001年7、10月及2002年1、4月的下旬,2001年9、12月及2002年3、6月的上旬各采集一次。轮虫定性标本用25号浮游生物网从水表至底层大范围捞取,带回实验室做活体观察。定量标本用2.5 L采样器采集,取表层(水下0.5 m)、底层(距底0.5 m)混合水样,加5%福尔马林固定,带回实验室静置沉淀,并浓缩成30 mL。吸取1 mL浓缩样品于1 mL计数框内,在 10×10 放大倍数下取三片全片计数,并取均值;轮虫生物量按体积法测定^[10],轮虫种类鉴定按Koste^[11]的分类系统。

1.3 水化学分析方法 采集轮虫样品时,同时

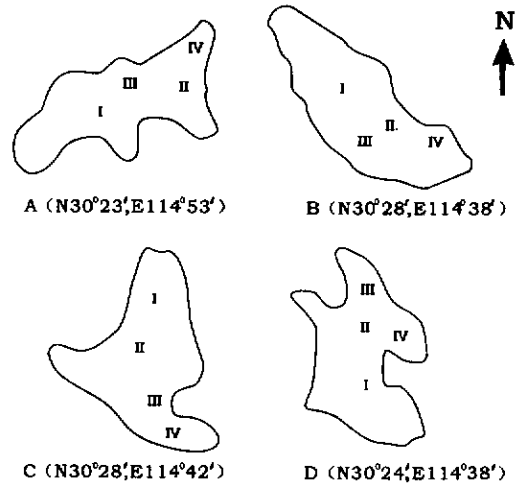


图1 各湖采样站分布图

A. 洋澜湖; B. 严家湖; C. 武四湖; D. 红莲湖

采集水化学分析的水样,各项理化指标的测定按标准检验法进行^[12],叶绿素a采用丙酮萃取分光光度法测定。

1.4 轮虫多样性指数的计算 轮虫多样性大小与水质污染程度用Margalef和Shannon-Wiener多样性指数表示,计算公式如下:

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

Shannon-Wiener 多样性指数

$$H = - \sum [(N_i / N) \cdot \ln(N_i / N)]$$

这里 S = 种类数; N_i = i 种的密度(ind./L); N = 总密度(ind./L)。

另采用 K 优势曲线方法比较4个湖泊轮虫多样性^[13]。

轮虫种类相似性计算:用Czekanowski系数 Sc 计算不同湖泊轮虫群落相似性^[14]。

1.5 湖泊营养类型确定方法 采用相关加权综合营养状态指数评价湖泊营养类型^[15]。

2 结果

2.1 湖泊营养类型定量评价结果 表1为2001~2002年周年4个湖泊主要理化指标的年均值,叶绿素a、浮游植物数量、总磷、总氮在4个湖泊中存在明显差异。除叶绿素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(Chla)、总磷(TP)、总氮(TN)含量及透明度(SD)4个参数($m=4$)转化为营养状态指数($TLI_j, j=1, 2 \cdots m$),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 浓度为基准参数,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^[16]提出的划分标准,评价结果见表2。

表1 各湖理化指标年平均值

理化参数	洋澜湖	严家湖	武四湖	红莲湖
叶绿素 a($\mu\text{g/L}$)	46.8	17.7	3.5	5.2
透明度(m)	0.41	0.59	0.92	1.16
总磷(mg/L)	0.29	0.11	0.06	0.01
总氮(mg/L)	3.72	4.72	2.19	1.36
COD(mg/L)	11.78	8.29	9.09	7.14
浮游植物($\times 10^4 \text{ ind./L}$)	324.31	145.78	37.19	16.00

表2 各湖营养类型评价结果

	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	中营养
红莲湖	42.90	24.80	48.23	59.68	41.76	中营养

TLI (Chla)、 TLI (TP)、 TLI (SD)、 TLI (TN)分别为用不同参数 Chla、TP、SD、TN 的营养状态指数公式计算出的指数值

2.2 轮虫种类组成及分布的比较 4个湖泊共观察到轮虫48种,隶属于16科、26属(表3)。洋澜湖、严家湖、武四湖、红莲湖出现的种数依次为18、21、35、36种。轮虫种类数与湖泊营养水平呈显著的负相关关系($r = -0.968, P < 0.01$)。双向分组资料的方差分析表明,不同湖泊轮虫种类数存在显著差异($P < 0.01$),但洋澜湖与严家湖、武四湖与红莲湖之间轮虫种类数不存在显著差异($P > 0.05$),同一湖泊各站间种类数无显著差异($P > 0.05$)。洋澜湖特

有种仅2种:花荚臂尾轮虫(*Brachionus capsuliflorus*)、多突囊足轮虫(*Asplanchnopus multiceps*),而武四湖、红莲湖特有种分别为7种、9种,占该湖种类数的20%、25%。4个湖泊均出现的轮虫种类13种,各湖特有种之和为18种。从种类季节分布来看,冬季出现种类最少,夏季出现种类最多,春秋季节种类次之,这在4个湖泊表现一致。但随着湖泊富营养化程度的加重,轮虫种类数、寡污型种类数及特有种明显减少,空间异质性显著下降,在污染湖泊与非污染湖泊之间这种差异更为明显。以洋澜湖作为参照,与严家湖、武四湖、红莲湖做轮虫群落相似性比较,其 Czekanowski 系数分别为76.92%、56.60%、51.85%,说明同一区域(水系)湖泊间营养类型越相近,轮虫群落相似性越大。

2.3 轮虫密度及生物量的比较 洋澜湖、严家湖、武四湖、红莲湖轮虫平均密度依次为5 250、3 628、1 538、1 811 ind./L,平均生物量分别为0.419、0.306、0.640、0.232 mg/L。4个湖泊轮虫的密度存在显著差异($P < 0.01$),但武四湖与红莲湖轮虫的密度不存在显著差异($P > 0.05$)。结果表明,轮虫的平均密度与湖泊的营养水平存在密切关系($r = 0.946, P < 0.01$),即随着湖泊富营养化程度的提高,轮虫的数量随之增加,但轮虫生物量与营养水平相关性不明显。不同营养类型的湖泊,轮虫数量出现的高

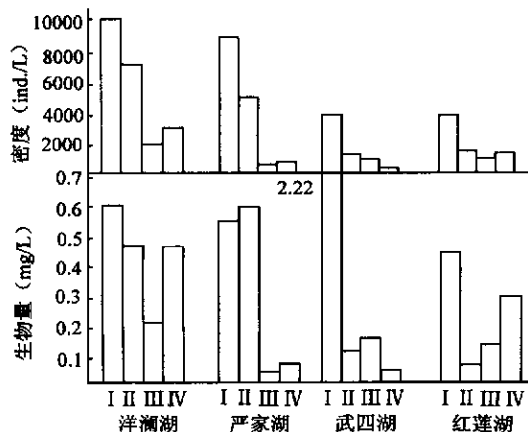


图2 各湖轮虫平均密度和生物量的季节变化

I. 夏季; II. 秋季; III. 冬季; IV. 春季

“2.22”表示武四湖夏季轮虫生物量

峰均在夏季,其它季节的变动每个湖泊各不相同,富营养型的洋澜湖、严家湖轮虫数量变动较剧烈,而处于中营养型的红莲湖,轮虫数量变动相对平缓(图2)。

表3 四个湖泊轮虫的种类组成及污染等级

种 类	污染等级	洋澜湖	严家湖	武四湖	红莲湖
臂尾轮科 Brachionidae					
角突臂尾轮虫 <i>Brachionus angularis</i>	β	++++	+++	++	+++
萼花臂尾轮虫 <i>B. calyciflorus</i>	$\beta - \alpha$	+++	++	++	+
花菱臂尾轮虫 <i>B. capsuliflorus</i>		++			
矩形臂尾轮虫 <i>B. leydigi</i>	β				+
壶状臂尾轮虫 <i>B. urcens</i>	$\beta - \alpha$	+++	++	+	
剪形臂尾轮虫 <i>B. forficula</i>	β		+	+	+
镰状臂尾轮虫 <i>B. falcatus</i>	β			+	
裂足臂尾轮虫 <i>B. diversicornis</i>		++	++	++	+
十指平甲轮虫 <i>Platyas militaris</i>					+
裂痕龟纹轮虫 <i>Anuraeopsis fissa</i>	O	++ (12.96%)	+++ (11.42%)	+++	++
螺形龟甲轮虫 <i>Keratella cochlearis</i>	$\beta - O$	++	+++	+++	++++ (16.57%)
曲腿龟甲轮虫 <i>K. ualga</i>	O - β			++	++
矩形龟甲轮虫 <i>K. quadrata</i>	O - β		+		+++
狭甲轮科 Colurellidae					
钝角狭甲轮虫 <i>Colurella obtuse</i>	O				+
尖尾鞍甲轮虫 <i>Lepadella cuminata</i>	O			+	+
棘管轮科 Mytilinidae					
三角棘管轮虫 <i>Mytilina trigona</i>					+
腔轮科 Lecanidae					
弯角腔轮虫 <i>Lecane curvicornis</i>				++	
旋轮科 Philodinidae					
钝齿单趾轮虫 <i>Monostyla renata</i>				+	++
晶囊轮科 Asplanchnidae					
前节晶囊轮虫 <i>Asplanchna priodonta</i>	O - β	+++	+++	++++ (15.73%)	+++
多突囊足轮虫 <i>Asplanchnopus multicep</i>	O	+			
前翼轮科 Proalidae					
蚤上前翼轮虫 <i>Proales daphnicola</i>	β	+++ (21.65%)	+		
柔轮科 Lindiidae					
细长肢轮虫 <i>Monommata ongiseta</i>	O			+	
椎轮科 Notommatidae					
椎轮虫 <i>Notommata</i> sp.	O	++	++	++++	++++ (5.07%)
小巨头轮虫 <i>Cephalodella exigna</i>	O			+	
凸背巨头轮虫 <i>C. gibba</i>	β			++	
巨头轮虫 <i>Cephalodella</i> sp.				++	
腹尾轮科 Gastropodidae					
腹足腹尾轮虫 <i>Gastropus hyptopus</i>	O				+
舞跃无柄轮虫 <i>Ascomorpha saltans</i>	O			+	+
异尾轮科 Trichocercidae					
罗氏异尾轮虫 <i>Trichocerca rousseleti</i>	O	++	++ (7.86%)	+++	+++
对棘异尾轮虫 <i>T. stylata</i>	O			++++ (4.39%)	+
田奈异尾轮虫 <i>T. dixon-nuttalli</i>	O			+	
韦氏异尾轮虫 <i>T. weberi</i>					+
特异异尾轮虫 <i>T. insignis</i>				+	++
圆筒异尾轮虫 <i>T. cylindrica</i>	O			+	+
刺盖异尾轮虫 <i>T. capucina</i>	O				+

续表 3

种 类	污染等级	洋澜湖	严家湖	武四湖	红莲湖
纵长异尾轮虫 <i>T. elongata</i>	O				+
细长异尾轮虫 <i>T. gracilis</i>		++	++	+	++
暗小异尾轮虫 <i>T. pusilla</i>	O	++ (23.21%)	++ (18.81%)	+++	+++
疣毛轮科 Synchaetidae					
真翅多肢轮虫 <i>Polyarthra euryptera</i>	O	+	+++	+++ (5.12%)	+++
针簇多肢轮虫 <i>P. trigla</i>	β -O	++++ (12.96%)	++++ (29.41%)	+++ (34.94%)	+++ (21.12%)
截头皱甲轮虫 <i>Ploesoma truncatum</i>	O		+	+	
梳状疣毛轮虫 <i>Synchaeta pectinata</i>	O	+		+	++
镜轮科 Testudinellidae					
沟痕泡轮虫 <i>Pompholyx sulcata</i>	β				+
六腕轮科 Hexarthridae					
奇异六腕轮虫 <i>Hexarthra mira</i>			+	+	++ (13.46%)
三肢轮科 Filiniidae					
迈氏三肢轮虫 <i>Filinia maior</i>	β	+++ (10.07%)	++ (14.01%)	++ (8.78%)	+++
聚花轮科 Conochilidae					
独角聚花轮虫 <i>Collochilus unicornis</i>	O		+	+++	+++ (4.35%)
团状聚花轮虫 <i>C. hippocrepis</i>	O			+	+
叉角拟聚花轮虫 <i>Conochiloides ossuarius</i>	O		+	+	++
轮虫总数 48		18	21	35	36

O 为寡污型; O- β 为寡污至 β 中污型; β -O 为 β 中污至寡污型; β 为 β 中污型; β - α 为 β - α 中污型。+、++、+++、++++ 分别表示种类出现的季节次数(12~1月、3~4月、6~7月、9~10月分别代表冬、春、夏、秋季), 括号内数字代表每个湖泊前 5 位优势种占轮虫总数年均比例

2.4 优势种及 K 优势曲线的比较 表 3 列举了每个湖泊轮虫前 5 位优势种及占轮虫总数年均比例。洋澜湖蚤上前翼轮虫 (*Proales daphnicola*) 在冬春季占明显优势, 平均占冬春季轮虫总数的 78.10%, 其它优势种均在夏秋季出现; 严家湖轮虫优势种几乎全在夏秋季出现, 仅有角突臂尾轮虫 (*Brachionus angularis*)、真翅多肢轮虫 (*Polyarthra euryptera*) 分别在冬、春季出现高峰, 占冬、春季轮虫总数的 50.9%、84.1%; 武四湖针簇多肢轮虫 (*P. trigla*) 常年处于优势, 年均占轮虫总数的 34.94%, 前节晶囊轮虫 (*Asplanchna priodonta*) 在夏季出现高峰, 同洋澜湖、严家湖一样迈氏三肢轮虫 (*Filinia maior*) 在夏秋季密度达到高峰; 红莲湖针簇多肢轮虫、奇异六腕轮虫 (*Hexarthra mira*) 在夏季优势明显, 其它季节螺形龟甲轮虫 (*Keratella cochlearis*) 一直处于优势地位, 其数量占轮虫总数的 30% 左右。由此可见, 轮虫优势种组成及季节演替在不同营养类型湖泊中是不尽相同

的, 仅有针簇多肢轮虫在各湖泊中均作为优势种存在, 洋澜湖和严家湖在夏秋两季优势种组成及比例大致相同。洋澜湖、严家湖、武四湖、红莲湖排在前 5 位轮虫优势种数量占总量之比分别为 80.9%、81.5%、68.9%、60.6%, 表明富营养型湖泊轮虫优势度明显高于中营养型湖泊。用 K 优势曲线能将轮虫群落的优势模式直观表现出来并用来评价其多样性^[13], 图 3 给出了 4 个湖泊轮虫的 K 优势曲线图, 可见红莲湖轮虫的 K 优势曲线明显低于其它湖泊, 其轮虫物种多样性明显高于其它湖泊。

2.5 轮虫多样性指数的比较 表 4 列举了 4 个湖泊在不同季节轮虫的 Shannon-Wiener 和 Margalef 指数, 4 个湖泊轮虫多样性指数均在冬季跌入低谷, 季节间变异各不相同, 与轮虫种类数十分相似, 轮虫多样性指数红莲湖 > 武四湖 > 严家湖 > 洋澜湖。红莲湖明显高于洋澜湖和严家湖。结果表明, 轮虫多样性指数与湖泊富营养化程度之间存在显著的负相关。

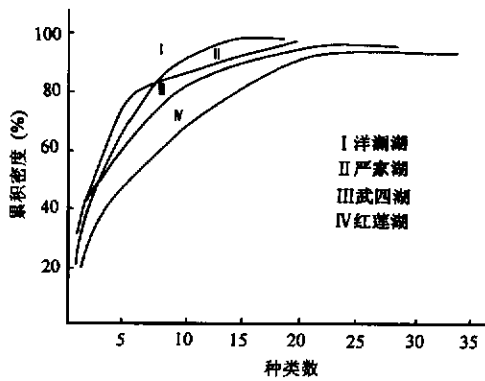
图3 各个湖泊轮虫的 K 优势曲线

表4 不同湖泊轮虫的多样性指数

湖泊		夏季	秋季	冬季	春季	年均值
洋澜湖	H'	1.721 4	1.944 2	0.896 1	0.914 5	1.369 1
	d	1.198 4	1.250 1	0.789 3	1.267 0	1.126 2
严家湖	H'	1.818 1	1.743 2	1.273 4	0.603 0	1.359 4
	d	1.653 0	1.289 8	0.876 6	1.155 3	1.243 7
武四湖	H'	2.030 4	1.737 5	1.808 8	2.031 0	1.901 9
	d	2.653 3	1.924 5	1.493 2	2.655 0	2.181 5
红莲湖	H'	2.014 4	2.258 4	1.520 3	1.869 6	1.915 7
	d	2.794 8	2.476 8	1.399 8	2.362 2	2.258 4

Shannon-Wiener 多样性指数与综合营养状态指数 $TLIc$ 的简单相关关系为:

$$H' = 2.8950 - 0.0224 TLIc \quad (r = -0.9313, P < 0.01);$$

Margalef 指数值与 $TLIc$ 之间的简单相关关系为:

$$d = 4.1859 - 0.0442 TLIc \quad (r = -0.9609, P < 0.01)。$$

3 讨论

本文分析比较了不同营养类型湖泊轮虫群落结构和物种多样性。研究结果表明,红莲湖和武四湖轮虫种类数、寡污性种类、多样性指数均大于洋澜湖和严家湖。说明轮虫群落的改变与富营养化或污染程度相关^[5,17],轮虫一般以水体中的藻类、碎屑和细菌为主要食物,在富营养型的洋澜湖、严家湖中蓝藻和绿藻是浮游植物优势群落,蓝绿藻密度比依次为 81.17%、65.47%,生物量比分别为 79.56%、62.17%,然而蓝藻和绿藻类作为食物而言对轮虫不利;同

时,轮虫是小型物种,具有较短的世代交替周期,对环境敏感的轮虫种类难以生存。洋澜湖、严家湖是受到城市生活污水和工业废水污染的湖泊,寡污性种类仅分别有 6 种、8 种分布,而武四湖、红莲湖中分布有 17、18 种。因此,随着湖泊富营养化程度提高,轮虫种类结构趋于简单化、多样性指数下降^[2]。

多样性指数 H' 、 d 值定量反映轮虫群落结构中数量、种类组成变化的信息及水体污染程度,多用来评价水环境质量^[1,6~8],按 Shannon-Wiener 多样性指数值分析,洋澜湖、严家湖污染状况处于中污型,其营养类型属富营养型;红莲湖、武四湖污染状况属轻污型,均为中营养型湖泊,这与用营养状态指数法评价的结果一致。

一些研究表明鱼类捕食对浮游动物群落结构有显著影响,枝角类个体较大,易被鱼类捕食^[18],轮虫由于个体小,受鱼类直接影响不大^[19]。因水体富营养化及枝角类的演替是影响轮虫变化的主要生态因子^[2,20],即水体富营养化程度大小、枝角类的多寡影响轮虫的消长。本次调查发现各湖枝角类数量很少(2~16 ind./L),因此 4 个湖泊的枝角类对轮虫群落结构变化的影响不大,水体富营养化则是影响轮虫群落结构及多样性的主要因子。

参 考 文 献

- [1] 黄祥飞,胡春英,伍焯田.武昌东湖的轮虫.水生生物学报,1985,9(2):129~142.
- [2] 刘建康.东湖生态学研究(二).北京:科学出版社,1995. 207~234.
- [3] 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,1995.120~135.
- [4] 谢平,诸葛燕,戴莽.水体富营养化对浮游生物群落多样性的影响.水生生物学报,1996,20(增刊):30~37.
- [5] Alois H. The analysis of planktonic rotifer populations. *Hydrobiologia*, 1987, **147**:163~180.
- [6] 宗志祥,许崇任,任久长等.洋河水库轮虫群落用于水质评价的研究.环境科学学报,1993,13(1):101~106.
- [7] Vladimir S. Rotifers as indicators of water quality. *Hydrobiologia*, 1983, **100**:169~201.
- [8] Aare M. Rotifers as indicators of lake types in Estonia. *Hydrobiologia*, 1983, **104**:357~361.

- [9] 饶小珍,许友勤,陈寅山.福州内河的轮虫与水质污染评价.福州师范大学学报,2000,16(1):71~75.
- [10] 章宗涉,黄祥飞.淡水浮游生物研究方法.北京:科学出版社,1991.
- [11] Koste W. Rotatoria, Vol 2. Berlin: Borntraeger, 1978.
- [12] 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.
- [13] Platt H M, Shaw K M, Lambshead P J D. Nematode species abundance patterns and their use in the detection of environment perturbation. *Hydrobiologia*, 1984, 118: 59~66.
- [14] 伊腾嘉昭.动物生态学研究方法.北京:科学出版社,1986.516~520.
- [15] 金相灿,刘鸿亮.中国湖泊富营养化.北京:中国环境科学出版社,1990.127~135.
- [16] 刘建康.东湖生态学研究(二).北京:科学出版社,1995.440~458.
- [17] Walz N, Elster H J, Mezger M. The development of the rotifer community structure in Lake Constance during its eutrophication. *Arch Hydrobiol*, 1987, 74 (suppl.): 452~487.
- [18] Hall J G, Threlkeld S T, Burns C W. The size-efficiency hypothesis and the size structure of zooplankton communities. *Annu Rev Ecol Syst*, 1976, 7: 177~208.
- [19] Stenson J A E. Fish impact on rotifer community structure. *Hydrobiologia*, 1982, 87: 57~64.
- [20] Gilbert J J, Stemberger R S. Control of keratella population by interference competition from Daphnia. *Limnol Oceanogr*, 1984, 30: 180~188.