

# 太湖不同湖区轮虫群落结构季节变化的比较研究

杨桂军<sup>1,2</sup>, 秦伯强<sup>1\*</sup>, 高光<sup>1</sup>, 朱广伟<sup>1</sup>, 汤祥明<sup>1,2</sup>, 王小冬<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:** 2006 年 7 月~2007 年 6 月对太湖不同湖区(河口区、梅梁湾、太湖湖心区和贡湖湾)轮虫的季节变化进行了比较研究. 整个研究期间, 河口区、梅梁湾、太湖湖心区和贡湖湾轮虫种类数分别为 23、15、14 和 21; 河口区轮虫的年平均密度最高, 为 475 个·L<sup>-1</sup>, 梅梁湾最低, 为 164 个·L<sup>-1</sup>, 太湖湖心区为 189 个·L<sup>-1</sup>, 贡湖湾为 338 个·L<sup>-1</sup>. 4 个湖区优势种不同, 河口区轮虫优势种为萼花臂尾轮虫(*B. calyciflorus*), 梅梁湾为角突臂尾轮虫(*B. angularis*), 太湖湖心区和贡湖湾优势种都是针簇多肢轮虫(*P. trigla*). 食物的不同以及大型浮游甲壳动物的抑制作用, 可能是太湖 4 个湖区轮虫群落结构不同的主要原因. 相关分析表明, 轮虫数量与枝角类数量、枝角类生物量和桡足类生物量极显著负相关; 轮虫数量与透明度显著正相关. 结果表明, 太湖 4 个不同湖区轮虫群落结构不同.

**关键词:** 太湖; 轮虫; 不同湖区; 季节变化

中图分类号: X52; X174 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2008)10-2963-07

## Comparative Study on Seasonal Variations of Community Structure of Rotifer in Different Lake Areas in Lake Taihu

YANG Gui-jun<sup>1,2</sup>, QIN Bo-qiang<sup>1</sup>, GAO Guang<sup>1</sup>, ZHU Guang-wei<sup>1</sup>, TANG Xiang-ming<sup>1,2</sup>, WANG Xiao-dong<sup>1,2</sup>

(1. Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** A comparative study on seasonal variations of rotifer in different lake areas, including the riverine zone, Meiliang Bay, the central open water area and Gonghu Bay in Lake Taihu, was conducted from Jul. 2006 to Jun. 2007. Twenty-three rotifer species were identified in the riverine zone, 15 in Meiliang Bay, 14 in the central open water area and 21 in Gonghu Bay. The annual average density of rotifer was 475 individuals·L<sup>-1</sup> in the riverine zone, 164 individuals·L<sup>-1</sup> in Meiliang Bay, 189 individuals·L<sup>-1</sup> in the central open water area and 338 individuals·L<sup>-1</sup> in Gonghu Bay. The dominant species were different in the four different Lake areas. In the riverine zone, *B. calyciflorus* was the dominant species. In Meiliang Bay, *B. angularis* was the dominant species. However, in Gonghu Bay and the central open water area, *P. trigla* was the dominant species. The foods and suppression by large crustaceans are both important factors in determining the structure of rotifer community among the four differential lake areas in Lake Taihu. There were significant negatively correlations between the abundance of rotifer and the abundance of cladoceran, the biomass of cladoceran and copepod. The number of rotifers was positively related to Secchi transparency. Results indicate that the structure of rotifer community differs from the four differential lake areas in lake Taihu.

**Key words:** Lake Taihu; rotifer; different lake areas; seasonal variation

轮虫是浮游动物群落的重要组成部分, 它不仅是许多鱼类<sup>[1,2]</sup>的重要食物, 而且还是水质的重要指示种群<sup>[3]</sup>. 轮虫种类和数量的分布与水体营养水平有很大关系<sup>[4,5]</sup>. 对武汉东湖的研究发现, 轮虫的种类随水体富营养化程度的加剧而减少, 轮虫数量和生物量随水体富营养化程度的加剧而增加<sup>[6,7]</sup>; 国外的一些研究也得到相似的结果<sup>[8,9]</sup>.

太湖是我国五大淡水湖泊之一, 从 20 世纪 70 年代末、80 年代初开始, 富营养化日趋严重. 梁锡河位于太湖北部, 由于大量污染物从无锡市排入梁锡河, 继而进入太湖, 梁锡河已经成为太湖污染物的主要来源之一, 梁锡河河口区也成为太湖富营养水平最高的水域之一; 梅梁湾是太湖北部一个较大的湖湾, 富营养化水平较高, 每年的 5~11 月都出现大量

的蓝藻水华<sup>[10]</sup>; 太湖湖心区营养水平比梅梁湾要低, 处于中富营养水平; 贡湖湾是太湖东北部一个较大的湖湾, 一个由沉水植物控制的草型湖区<sup>[11]</sup>. 有关太湖轮虫的研究, 虽然一些学者进行过报道<sup>[12~14]</sup>, 但这些研究主要涉及轮虫的种类组成和生物监测, 并且在过去几年里太湖的水环境进一步恶化, 富营养化程度加剧, 轮虫的群落结构也会随之变化. 本实验通过对太湖河口区、梅梁湾、太湖湖心区以及贡湖湾轮虫的种类组成、数量分布进行了 1 a 的研究, 旨在了解太湖不同生态类型湖区轮虫的群落

收稿日期: 2007-10-29; 修订日期: 2008-03-17  
基金项目: 国家自然科学基金重点项目(40730529)  
作者简介: 杨桂军(1979~), 男, 博士研究生, 主要研究方向为淡水生物生态, E-mail: yanggj1979@163.com  
\* 通讯联系人, E-mail: qimbq@niglas.ac.cn

结构,以及轮虫对湖泊不同生态环境变化的响应.

## 1 材料与方法

### 1.1 采样站的设置

2006 年 7 月~2007 年 6 月,在河口区、梅梁湾、太湖湖心区以及贡湖湾共布设 4 个站位,进行轮虫和水体理化因子的现场调查.采样站位布设如图 1. 站位定点采用 Garmin 公司生产的 GPSL2 型全球卫星定位系统.

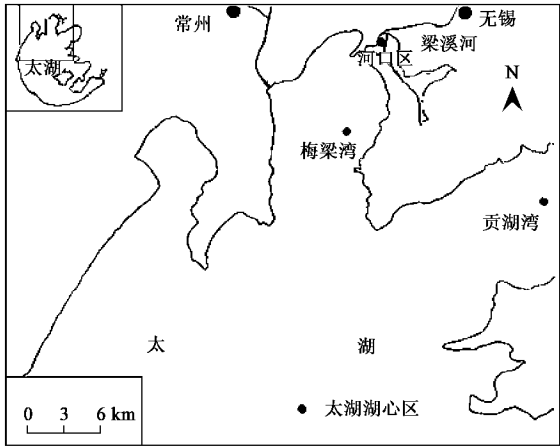


图 1 采样站位

Fig.1 Map of sampling stations

### 1.2 样品的采集与处理

样品每月采集 1 次,用长 2 m 的柱状采水器取 5 L 湖水,然后用 48  $\mu\text{m}$  滤网过滤,并将轮虫装入 50

mL 的方形塑料瓶中.共取 2 次,第 1 次作定性分析,保存活体.第 2 次作定量分析,立即加入 4% 的甲醛,并摇匀.每个站位采 3 个重复轮虫样.用柱状采水器采集湖水 500 mL,回实验室后按照文献[15]的方法分析水化指标(TN, TP)和测定叶绿素 a 浓度.

### 1.3 数量计数

轮虫根据文献[16,17]在显微镜下进行分类、计数.在种群密度很高时,用分小样的方法抽样计数.具体步骤是:把采得的样品 50 mL 充分摇匀后用宽口吸管吸取 5 mL,注入浮游动物计数框中,计数 3 片取其平均值,然后乘以稀释的倍数以获得单位体积中的数量.

### 1.4 生物量的计算方法

每一种轮虫测量至少 30 个个体,按照文献[18]算出体积,然后按轮虫密度  $1\text{ mg}\cdot\text{mm}^{-3}$  进行换算.文中的生物量均为湿重.

### 1.5 统计分析

对 4 个湖区的轮虫数量和生物量与生物和非生物环境因子进行相关分析.除了温度以外所有的数据都进行对数转换以满足统计的要求.相关分析使用 SPSS12.0 软件进行处理.

## 2 结果与分析

### 2.1 太湖 4 个不同生态类型湖区的营养状况

太湖 4 个湖区,水体理化参数(TN、TP、Chl-a)表明,水体营养水平河口区最高,太湖湖心区最低(见表 1).其中水温、透明度、叶绿素 a 的周年变化如图 2.

表 1 太湖 4 个不同湖区理化参数平均值和范围(2006 年 7 月~2007 年 6 月)

Table 1 Means and ranges of physicochemical parameters in Lake Taihu from Jul. 2006 to Jun. 2007

| 理化参数                                   | 河口区                 | 梅梁湾                | 太湖湖心区              | 贡湖湾                |
|----------------------------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 深度/m                                   | 2.1(1.4~3.1)        | 2.4(2.0~2.8)       | 2.5(2.2~2.8)       | 1.8(1.6~2.1)       |
| 水温/ $^{\circ}\text{C}$                 | 19.2(5.6~31.0)      | 18.5(5.2~22.9)     | 18.0(5.0~29.9)     | 18.6(5.1~29.6)     |
| 透明度/m                                  | 0.3(0.1~0.6)        | 0.3(0.2~0.5)       | 0.3(0.2~0.4)       | 0.4(0.2~0.8)       |
| 总氮/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$      | 7.607(3.055~18.731) | 4.568(2.165~6.460) | 3.122(1.296~6.941) | 2.996(1.576~4.716) |
| 总磷/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$      | 0.262(0.123~0.717)  | 0.165(0.078~0.324) | 0.098(0.069~0.143) | 0.108(0.036~0.323) |
| 叶绿素 a/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ | 35.84(12.79~139.93) | 17.78(3.97~144.23) | 9.06(6.94~40.68)   | 13.02(10.86~75.08) |

### 2.2 轮虫种类组成

整个调查期间,河口区、梅梁湾、太湖湖心区和贡湖湾轮虫种类数分别为 23、15、14 和 21 种.4 个湖区有 11 个共同种.4 个湖区轮虫种类主要有:萼花臂尾轮虫(*Brachionus calyciflorus*);角突臂尾轮虫(*B. angularis*);曲腿龟甲轮虫(*Keratella valga*);长三肢轮虫(*Filinia longiseta*);针簇多肢轮虫(*Polyarthra*

*trigla*);卜氏晶囊轮虫(*Asplanchna brightwelli*)(表 2).

### 2.3 轮虫密度和生物量的季节变化

太湖 4 个湖区轮虫年平均密度差异较大,河口区轮虫的年平均密度最高,为 476 个 $\cdot\text{L}^{-1}$ ,梅梁湾最低,为 164 个 $\cdot\text{L}^{-1}$ ,太湖湖心区为 189 个 $\cdot\text{L}^{-1}$ ,贡湖湾为 338 个 $\cdot\text{L}^{-1}$ [如图 3(a)].太湖 4 个湖区轮虫的季节分布差异明显.其中,梅梁湾和太湖湖心区轮虫

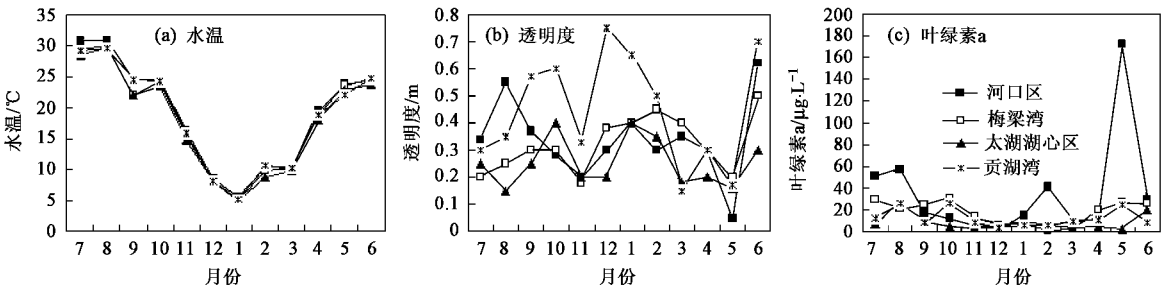


图 2 2006 年 7 月 ~ 2007 年 6 月太湖 4 个不同湖区水温、透明度、叶绿素 a 的周年变化  
Fig.2 Annual variation of water temperature, Secchi transparency and Chla in Lake Taihu from Jul. 2006 to Jun. 2007

表 2 太湖不同湖区轮虫种类列表(2006 年 7 月 ~ 2007 年 6 月)

Table 2 List of rotifer species in Lake Taihu from Jul. 2006 to Jun. 2007

| 轮虫种类                                 | 河口区 | 梅梁湾 | 太湖湖心区 | 贡湖湾 |
|--------------------------------------|-----|-----|-------|-----|
| 尾突臂尾轮虫 <i>Brachionus caudatus</i>    | +   |     | +     | +   |
| 方形臂尾轮虫 <i>B. quadridentatus</i>      | +   |     |       |     |
| 角突臂尾轮虫 <i>B. angularis</i>           | +   | +   | +     | +   |
| 萼花臂尾轮虫 <i>B. Calyciflorus</i>        | +   | +   | +     | +   |
| 裂足臂尾轮虫 <i>B. diversicornis</i>       | +   |     |       | +   |
| 剪形臂尾轮虫 <i>B. farficula</i>           | +   |     | +     | +   |
| 镰形臂尾轮虫 <i>B. falcatus</i>            | +   |     |       | +   |
| 蒲达臂尾轮虫 <i>B. budapestiensis</i>      | +   | +   | +     | +   |
| 壶状臂尾轮虫 <i>B. urceus</i>              | +   | +   |       | +   |
| 卜氏晶囊轮虫 <i>Asplanchna brightwelli</i> | +   | +   | +     | +   |
| 螺旋龟甲轮虫 <i>Keratella cochlearis</i>   | +   | +   | +     | +   |
| 矩形龟甲轮虫 <i>K. quadrata</i>            | +   | +   | +     | +   |
| 曲腿龟甲轮虫 <i>K. valga</i>               | +   | +   | +     | +   |
| 长三肢轮虫 <i>Filinia longiseta</i>       | +   | +   | +     | +   |
| 梳状疣毛轮虫 <i>Synchaeta pectinata</i>    | +   | +   |       | +   |
| 细异尾轮虫 <i>Trichocerca gracilis</i>    | +   | +   |       | +   |
| 针簇多肢轮虫 <i>Polyarthra trigla</i>      | +   | +   | +     | +   |
| 囊形单趾轮虫 <i>Monostyla bulla</i>        | +   |     | +     |     |
| 义角聚花轮虫 <i>Conochilus dossuarius</i>  | +   | +   | +     | +   |
| 大肚须足轮虫 <i>Euehlalns dilatata</i>     | +   | +   | +     | +   |
| 奇异六腕轮虫 <i>Hexarthra mira</i>         | +   | +   |       |     |
| 真足哈林轮虫 <i>Harringia cupoda</i>       | +   |     |       | +   |
| 没尾无柄轮虫 <i>Ascomorpha ecaudis</i>     | +   |     |       | +   |
| 郝氏皱甲轮虫 <i>Ploesoma hudsoni</i>       |     |     |       | +   |

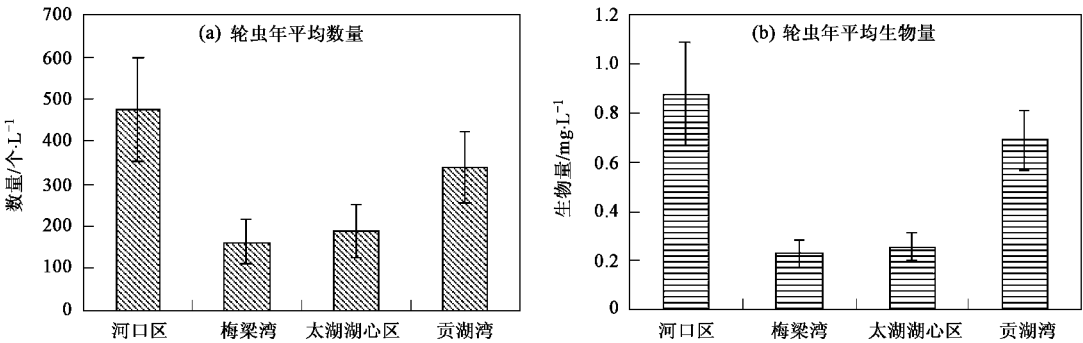


图 3 2006 年 7 月 ~ 2007 年 6 月太湖 4 个不同湖区轮虫年平均数量和生物量  
Fig.3 Annual average number and biomass of rotifer in Lake Taihu from Jul. 2006 to Jun. 2007

的季节变化相似,都是冬季数量最高(590 个·L<sup>-1</sup>和 651 个·L<sup>-1</sup>),秋季最低(5 个·L<sup>-1</sup>和 19 个·L<sup>-1</sup>),其最高密度都出现在冬季的 1 月份,数量分别为1612 个·L<sup>-1</sup>和1 693 个·L<sup>-1</sup>[如图4(c),4(e)].与梅梁湾和太湖湖心区不同,河口区和贡湖湾轮虫的季节变化相似,都是冬季数量最高,分别为 778 个·L<sup>-1</sup>和 703 个·L<sup>-1</sup>,春季最低,分别为 146 个·L<sup>-1</sup>和 157 个·L<sup>-1</sup>,其最高密度都出现在冬季的 2 月份,数量分别为1 490 个·L<sup>-1</sup>和1 016 个·L<sup>-1</sup>[如图4(a), 4(g)].

4 个湖区轮虫年平均生物量不同.轮虫的年平均生物量最高出现在河口区,其值为 0.880 mg·L<sup>-1</sup>,

最低出现在梅梁湾为 0.231 mg·L<sup>-1</sup>,贡湖湾为 0.688 mg·L<sup>-1</sup>,太湖湖心区为 0.255 mg·L<sup>-1</sup>[如图 3(b)].4 个湖区轮虫生物量的季节变化情况如图 4.其中,梅梁湾和太湖湖心区轮虫生物量的季节变化相似,都是冬季生物量最高(0.842 mg·L<sup>-1</sup>和 0.918 mg·L<sup>-1</sup>),其最高生物量都出现在冬季的 1 月份,生物量分别为 2.432 mg·L<sup>-1</sup>和 2.540 mg·L<sup>-1</sup>[如图 4(d), 4(f)].河口区冬季生物量最高为 1.223 mg·L<sup>-1</sup>,春季生物量最低(0.531 mg·L<sup>-1</sup>)[如图 4(b)];贡湖湾秋季生物量最高为 0.996 mg·L<sup>-1</sup>,夏季生物量最低为 0.458 mg·L<sup>-1</sup>[如图 4(h)].

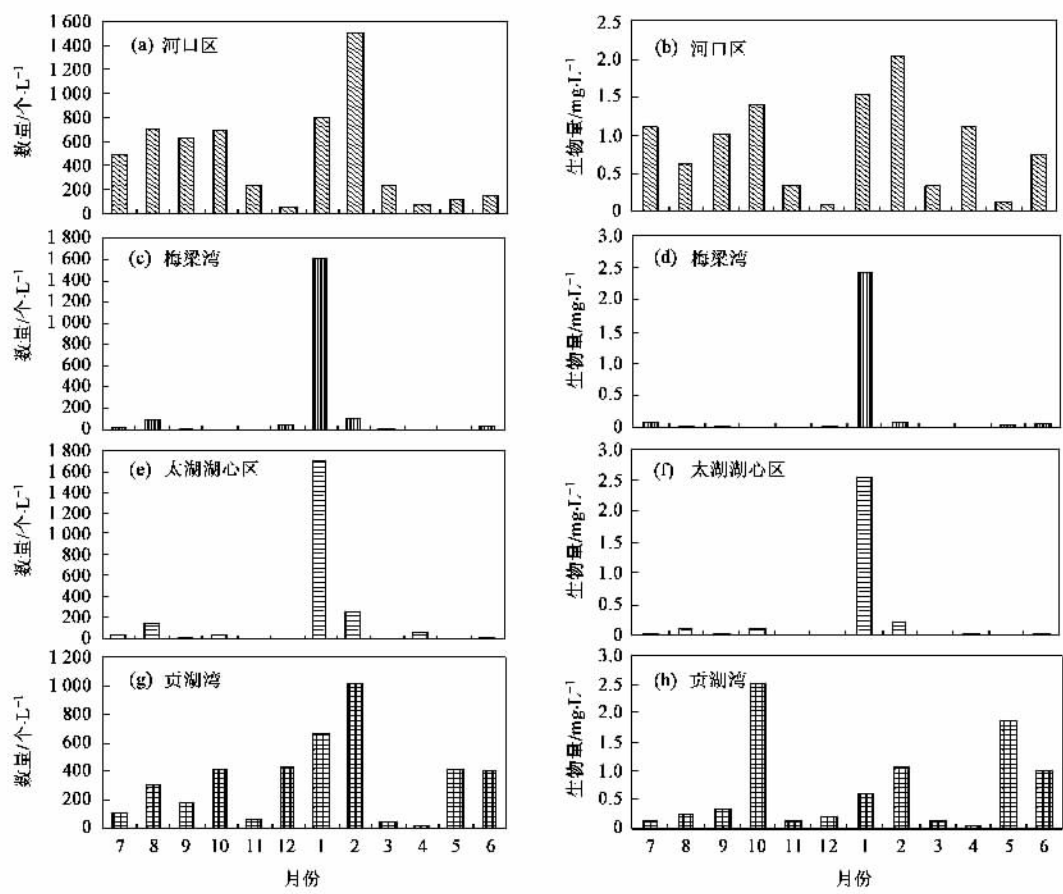


图 4 2006 年 7 月~2007 年 6 月太湖 4 个不同湖区轮虫数量、生物量的季节变化

Fig.4 Seasonal variation of number and biomass of rotifer in Lake Taihu from Jul. 2006 to Jun. 2007

2.4 轮虫优势种

4 个湖区中,河口区轮虫优势种为萼花臂尾轮虫(98 个·L<sup>-1</sup>)和针簇多肢轮虫(97 个·L<sup>-1</sup>),其占总轮虫数量的比例分别为 21%和 20%[图 5(a)].而在梅梁湾,轮虫优势种为角突臂尾轮虫(47 个·L<sup>-1</sup>)和萼花臂尾轮虫(45 个·L<sup>-1</sup>),其所占总轮虫数量的比例分别为 29%和 27%[图 5(c)].在河口区,萼花臂尾轮虫最高密度(341 个·L<sup>-1</sup>)出现在 1 月份[图 6

(a)],在梅梁湾其优势种角突臂尾轮虫最高密度(465 个·L<sup>-1</sup>)也出现在 1 月份[图 6(b)].

在太湖湖心区和贡湖湾,轮虫优势种都是针簇多肢轮虫(79 个·L<sup>-1</sup>和 99 个·L<sup>-1</sup>)和萼花臂尾轮虫(53 个·L<sup>-1</sup>和 49 个·L<sup>-1</sup>),其中在太湖湖心区优势种总轮虫数量的百分比例分别为 42%和 28%[图 5(b)];在贡湖湾,优势种总轮虫数量的百分比例分别为 29%和 15%[图 5(d)].在太湖湖心区其优势种针

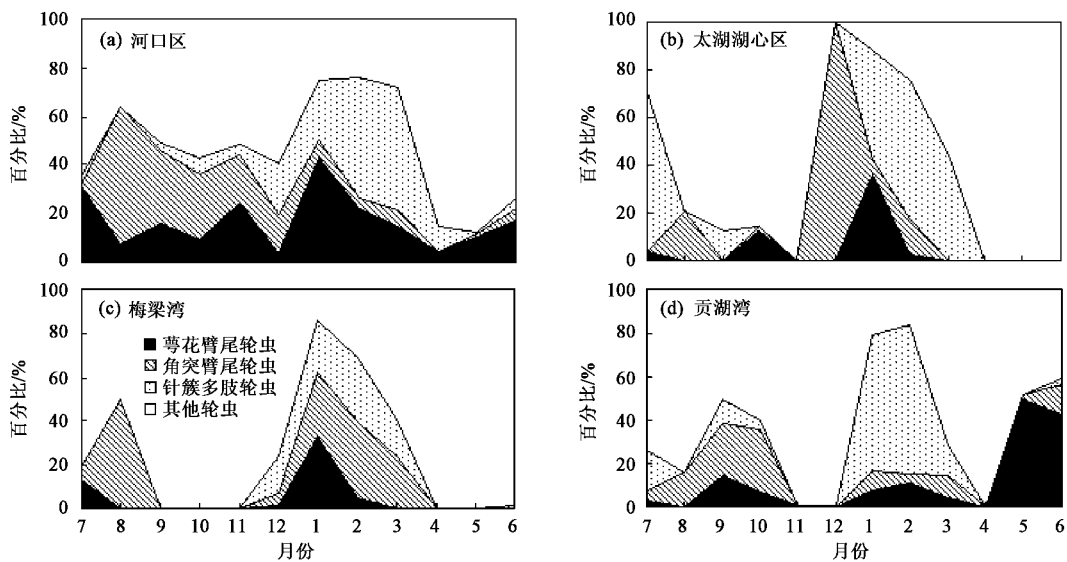


图 5 2006 年 7 月 ~ 2007 年 6 月太湖 4 个不同湖区轮虫优势种所占百分比

Fig.5 Percentage contribution of the dominant species of rotifer in Lake Taihu from Jul. 2006 to Jun. 2007

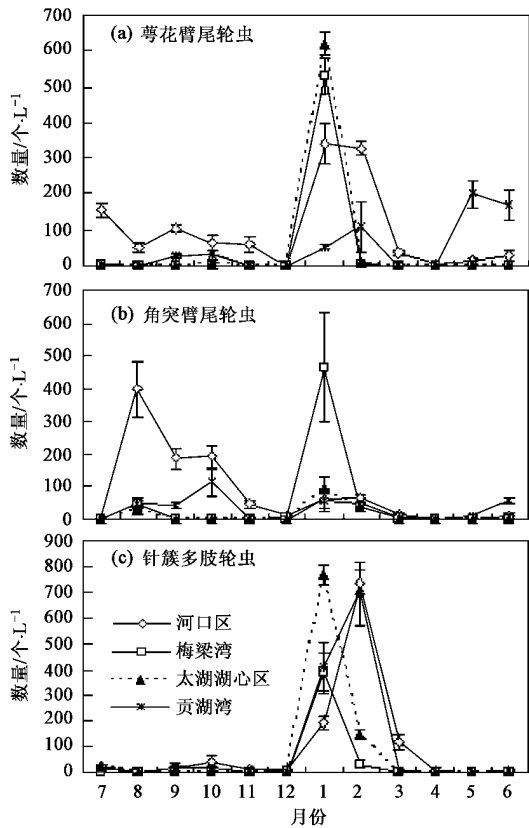


图 6 2006 年 7 月 ~ 2007 年 6 月太湖 4 个不同湖区轮虫优势种数量的季节变化

Fig.6 Seasonal variation of abundance of rotifer dominant species in Lake Taihu from Jul. 2006 to Jun. 2007

簇多肢轮虫最高密度(768 个·L<sup>-1</sup>)出现在 1 月份[图 6(c)],在贡湖湾其优势种针簇多肢轮虫最高密度(697 个·L<sup>-1</sup>)出现在 2 月份[图 6(c)].

2.5 轮虫数量、生物量与生物和非生物因子的相关分析

Pearson 相关分析表明,轮虫数量与透明度极显著正相关,相关系数  $r = 0.417, p < 0.01$ [图 7(b)].轮虫数量与枝角类数量存在极显著负相关性,相关系数  $r = -0.487, p < 0.01$ [图 7(a)];轮虫数量与枝角类生物量极显著负相关,其中相关系数  $r = -0.428, p < 0.01$ [图 7(c)].相关分析表明,轮虫数量与桡足类生物量存在极显著负相关性,其中相关系数  $r = -0.428, p < 0.01$ [图 7(d)](枝角类和桡足类数据另文发表).

3 讨论

太湖 4 个湖区轮虫年平均密度和生物量都是河口区最高,贡湖湾次之,太湖湖心区次低,梅梁湾最低.与以前太湖有关轮虫的资料相比,太湖轮虫的种类数减少了,如 1951 年有 51 种<sup>[12]</sup>,1995 年为 39 种<sup>[11]</sup>,本研究中河口区种类最多也只有 23 种.杨桂军等<sup>[19]</sup>2003 ~ 2004 年在梅梁湾发现轮虫 20 种,本研究在梅梁湾发现轮虫 15 种,轮虫的种类数减少了;而在数量上,2003 ~ 2004 年梅梁湾年平均密度为 95 个·L<sup>-1</sup>,本研究在梅梁湾轮虫密度为 164 个·L<sup>-1</sup>,轮虫的密度增加了.由于其他先前的文献中缺乏有关轮虫的数量和生物量资料或者实验方法不一样,所以无法进行比较.轮虫种类和数量的分布与水体营养水平有很大关系<sup>[4,5]</sup>,武汉东湖研究发现,轮虫的种类数随水体富营养化的加剧而减少,轮虫

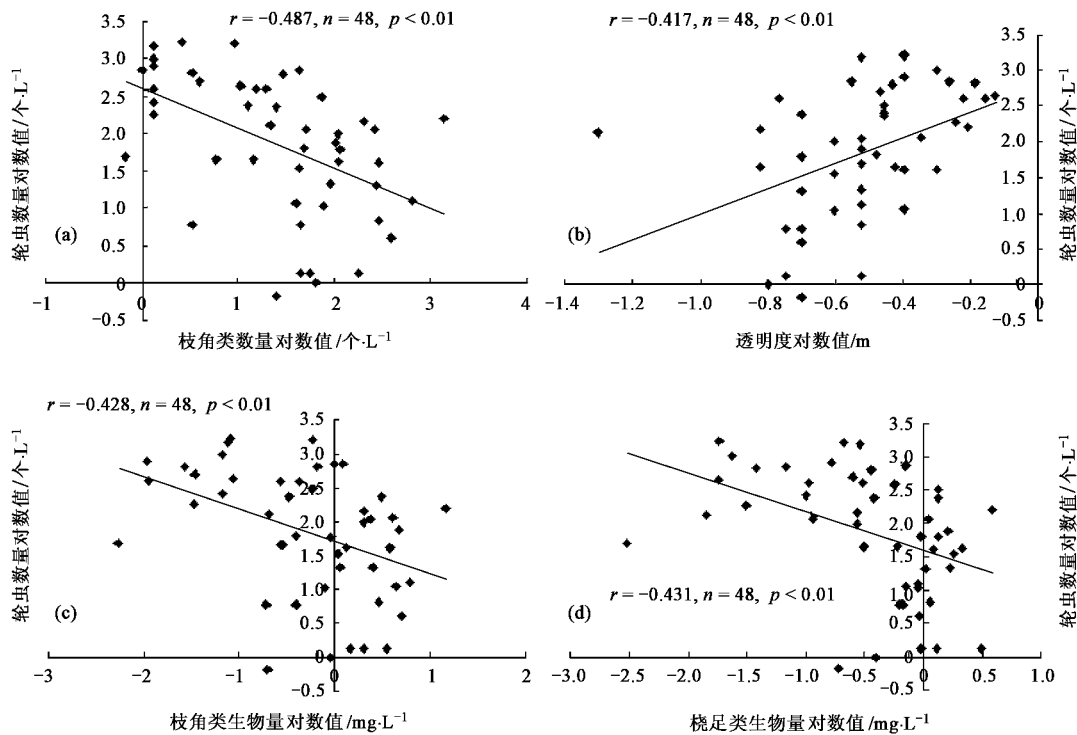


图 7 轮虫数量与透明度、枝角类数量和生物量以及桡足类生物量的相关性

Fig.7 Correlations between the abundance of rotifer and Secchi transparency, the abundance of cladoceran, the biomass of cladoceran and copepod

数量和生物量随水体富营养化的加剧而增加<sup>[6,7]</sup>；国外的研究也得到相似的结果<sup>[8,9]</sup>. 本研究中太湖 4 个湖区轮虫群落结构的不同可能与以下因素有关.

研究表明, 轮虫主要以真核藻类<sup>[20]</sup>、细菌<sup>[21]</sup>和原生动物<sup>[22,23]</sup>作为食物. 本研究中, 4 个湖区中, 叶绿素 a 浓度河口区最高, 表明在河口区浮游藻类数量最多, 可供轮虫作为食物的资源也多(表 1). 其次, 河口区大量来自城市的生活污水和其他有机污染物, 为细菌和原生动物的繁殖提供了优良的条件, 而细菌和原生动物又为轮虫的生长和发育提供了食物. 虽然贡湖湾叶绿素 a 含量比梅梁湾低, 但附着在沉水植物上的细菌、藻类和原生动物可作为轮虫食物的重要来源<sup>[24]</sup>. 梅梁湾叶绿素 a 含量虽然较高, 但每年 5~11 月的蓝藻水华主要以大的微囊藻群体形式存在, 这样的大群体是不能被轮虫所牧食的. 所以, 食物的不同是太湖 4 个湖区轮虫数量和生物量不同的重要原因之一.

影响轮虫群落结构的因素还有很多, 其中重要的包括大型浮游甲壳动物对轮虫的抑制作用. 大型浮游甲壳动物对轮虫的抑制有 2 种形式: 一是通过食物竞争, *Daphnia* 对食物的滤食能力比轮虫高, 轮虫在竞争中处于劣势; 其次是通过机械损伤, 当轮虫

进入 *Daphnia* 的胸肢之间后会受到损伤, 有些桡足类甚至会直接摄食轮虫<sup>[25]</sup>. 研究表明, 在大型 ( $\geq 1.2$  mm) *Daphnia* 和桡足类存在的情况下, 即使食物资源很丰富, 通常轮虫不会在淡水浮游动物群落中占优势<sup>[26~29]</sup>. 本研究中, 河口区、太湖湖心区、贡湖湾浮游甲壳动物的年平均密度分别为 250、166 和 138 个·L<sup>-1</sup>, 而梅梁湾浮游甲壳动物的年平均密度达到 295 个·L<sup>-1</sup> (枝角类和桡足类数据另文发表), 这表明在梅梁湾轮虫受到浮游甲壳动物强大的摄食压力和竞争压力, 所以本研究中梅梁湾轮虫的密度最低 (164 个·L<sup>-1</sup>); 而在贡湖湾轮虫受到浮游甲壳动物的摄食压力和竞争压力最小. 相关分析表明, 轮虫数量与枝角类数量 ( $r = -0.487, p < 0.01$ )、枝角类生物量 ( $r = -0.428, p < 0.01$ )、桡足类生物量 ( $r = -0.431, p < 0.01$ ) 极显著负相关 (图 7). 所以, 大型浮游甲壳动物对轮虫的抑制作用可能也是太湖 4 个湖区轮虫群落结构不同的重要原因之一.

4 结论

- (1) 太湖 4 个湖区, 河口区、梅梁湾、太湖湖心区和贡湖湾轮虫种类数分别为 23、15、14 和 21.
- (2) 4 个湖区轮虫年平均密度和生物量都是河

口区最高,贡湖湾次之,太湖湖心区次低,梅梁湾最低。

(3) 4 个湖区轮虫优势种不同,河口区轮虫优势种为萼花臂尾轮虫;梅梁湾为角突臂尾轮虫;太湖湖心区和贡湖湾都是针簇多肢轮虫。

(4) 食物的不同以及大型浮游甲壳动物的抑制作用可能是太湖 4 个湖区轮虫群落结构不同的重要原因。

致谢:本研究在野外和实验室实验中得到了王洪艳、李宽意、陈非洲、秦奎梅、邓建明、王园园的大力帮助,在此对他们表示衷心感谢!同时,感谢中国科学院南京地理与湖泊研究所太湖湖泊生态系统研究站提供水体理化参数数据。

参考文献:

[ 1 ] Lee W J, Park Y S, Park S J, *et al.* Studies on the availability of marine bacteria and the environmental factors for the mass culture of the high quality of Rotifera and Artemia: 1. Change of fatty acid and amino acid composition during cultivation and rotifer, *Brachionus plicatilis* by marine bacteria *Erythrobacter* sp. S pi-I [J]. Journal of the Korean Fisheries Society, 1997, **30**: 319-328.

[ 2 ] Lim L C, Wong C C. Use of the rotifer, *Brachionus calyciflorus* Pallas, in freshwater ornamental fish larviculture [J]. Hydrobiologia, 1997, **358**: 269-273.

[ 3 ] 周淑婵, 黄祥飞, 唐涛, 等. 香溪水库湾轮虫现状及水质评价初探 [J]. 水生生物学报, 2006, **30**(1): 52-57.

[ 4 ] Duggan I C, Green J D, Shiel R J. Distribution of rotifer assemblages in North Island, New Zealand, lakes: relationships to environmental and historical factors [J]. Freshwater Biology, 2002, **47**: 195-206.

[ 5 ] 林秋奇, 赵帅营, 韩博平. 广东省水库轮虫分布特征 [J]. 生态学报, 2005, **25**(5): 1123-1131.

[ 6 ] 杨宇峰, 黄祥飞. 武汉东湖浮游动物群落结构的研究 [J]. 应用生态学报, 1994, **5**(3): 319-324.

[ 7 ] 刘建康. 东湖生态学研究 [M]. 北京: 科学出版社, 1990.

[ 8 ] Pace M L. An empirical analysis of zooplankton community size structure across lake trophic gradients [J]. Limnology Oceanography, 1986, **31**(1): 45-55.

[ 9 ] Yoshida T, Urabe J, Elser J J. Assessment of ‘top-down’ and ‘bottom-up’ forces as determinants of rotifer distribution among lakes in Ontario, Canada [J]. Ecological Research, 2003, **18**: 639-650.

[ 10 ] Chen Y W, Qin B Q, Teubner K, *et al.* Long-term dynamics of phytoplankton assemblages: *Microcystis*-domination in Lake Taihu, a Large shallow Lake in China [J]. Journal of Plankton Research, 2003, **25**(4): 445-453.

[ 11 ] 秦伯强, 胡维平, 陈伟民, 等. 太湖水环境演化过程与机理 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.

[ 12 ] 白国栋. 五里湖 1951 年湖泊学调查-4: 浮游动物 [J]. 水生生物学集刊, 1962, **2**(1): 93-100.

[ 13 ] 鲍建成. 太湖的浮游生物 [J]. 淡水渔业, 1983, **6**: 33-38.

[ 14 ] 陈伟民, 秦伯强. 太湖梅梁湾冬末春初浮游动物时空变化及其环境意义 [J]. 湖泊科学, 1998, **10**(4): 10-17.

[ 15 ] 金相灿, 屠清瑛. 湖泊富营养化调查规范 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990.

[ 16 ] 王家辑. 中国淡水轮虫志 [M]. 北京: 科学出版社, 1961.

[ 17 ] 诸葛燕. 中国典型地带轮虫的研究 [D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 1997.

[ 18 ] 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.

[ 19 ] 杨桂军, 潘宏凯, 刘正文, 等. 太湖不同富营养水平湖区轮虫季节变化的比较研究 [J]. 湖泊科学, 2007, **19**(6): 652-657.

[ 20 ] Flores B J, Sarma S S S, Nandini S. Effect of Single Species or Mixed Algal (*Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus acutus*) Diets on the life Table Demography of *Brachionus calyciflorus* and *Brachionus patulus* (Rotifera: Brachionidae) [J]. Acta hydrochimica et hydrobiologica, 2005, **33**(6): 614-621.

[ 21 ] Kim H W, Hwang S J, Joo G J. Zooplankton grazing on bacteria and phytoplankton in a regulated large river (Nakdong River, Korea) [J]. Journal of Plankton Research, 2000, **22**(8): 1559-1577.

[ 22 ] Jürgens K, Wickham S A, Jürhaupt K O, *et al.* Feeding rates of macro-and micro-zooplankton on heterotrophic nanoflagellates [J]. Limnology Oceanography, 1996, **41**(8): 1833-1839.

[ 23 ] Modenutti B, Queimaliños C, Balseiro E, *et al.* Impact of different zooplankton structures on the microbial food web of a South Andean oligotrophic lake [J]. Acta Oecologica, 2003, **24**: 289-298.

[ 24 ] Engelhardt K A M, Ritchie M E. Effects of macrophyte species richness on wetland ecosystem functioning and services [J]. Nature, 2001, **411**: 687-689.

[ 25 ] Couch K M, Burns C W, Gilbert J J. Contribution of rotifers to the diet and fitness of *Boeckella* (Copepoda: Calanoida) [J]. Freshwater Biology, 1999, **41**: 107-118.

[ 26 ] Lair N. Effects of invertebrate predation on the seasonal succession of a zooplankton community: A two year study in lake Aydat, France [J]. Hydrobiologia, 1990, **198**: 1-12.

[ 27 ] Macisaac H J, Gilbert J J. Discrimination between exploitative and interference competition between cladocera and *Keratella cochlearis* [J]. Ecology, 1991, **72**(3): 924-937.

[ 28 ] Pace M L, Cole J J, Carpenter S R. Trophic cascades and compensation: differential responses of microzooplankton in whole-Lake experiments [J]. Ecology, 1998, **79**(1): 138-152.

[ 29 ] Yoshida T, Ban S, Takenouchi T, *et al.* Top down control of population dynamics of the dominant rotifers in two mesotrophic Lakes in Hokkaido, Japan [J]. Archiv für Hydrobiologie, 2000, **148**: 481-498.