

# 广东省水库轮虫分布特征

林秋奇, 赵帅营, 韩博平\*

(暨南大学水生生物研究所, 广州 510632)

**摘要:**在 2000 年调查了广东省 18 座水库的轮虫种类分布特征。在此基础上,于 2001~2003 年研究了滞留时间对飞来峡水库、流溪河水库和新丰江水库三座典型水库(平均滞留时间分别为 14d、172d 和 644d)轮虫分布的影响。共检测到轮虫 101 种,其中大多数种类来自臂尾轮科(Brachionidae)、腔轮科(Lecanidae)、异尾轮科(Trichocercidae)和疣毛轮科(Synchaetidae)。常见属为龟甲轮属(*Keratella*)、臂尾轮属(*Brachionus*)、腔轮属(*Lecane*)、多肢轮属(*Polyarthra*)、异尾轮属(*Trichocerca*)、晶囊轮属(*Asplanchna*)、聚花轮属(*Conochilus*)和无柄轮属(*Ascomorpha*)。从不同生活习性种类组成看,每次采样均以浮游种类为主。在直流型的飞来峡水库中,底栖和着生种类占种类数的 41%;而在长滞留时间的新丰江水库中只占 18%;中等滞留时间的流溪河水库则介于它们之间。从不同食性种类的丰度看,在新丰江水库和流溪河水库中,轮虫以滤食细小悬浮颗粒物的种类(螺形龟轮虫、独角聚花轮虫和广生多肢轮虫)为优势种;而在直流型的飞来峡水库中,以劫掠粒径较大食物的种类(疣毛轮虫等)为优势种。聚类分析表明,不同营养水平水库轮虫的组成并不是绝然不同的,而是随着营养水平的上升逐渐发生变化的。在营养水平较低水库中以广栖性的螺形龟甲轮虫为优势种,随着营养水平的上升,螺形龟甲轮虫优势度逐渐降低,而异尾轮虫或臂尾轮虫优势度逐渐上升,并在中富营养和富营养水库中成为优势种。

**关键词:**轮虫分布;滞留时间;水库

文章编号:1000-0933(2005)05-1123-09 中图分类号:Q143,Q178 文献标识码:A

## Rotifer distribution in tropical reservoirs, Guangdong Province, China

LIN Qiu-Qi, ZHAO Shuai-Ying, HAN Bo-Ping\* (Institute of Hydrobiology, Ji'nan University, Guangzhou 510632, China).

*Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(5): 1123~1131.

**Abstract:** Rotifer in 18 reservoirs of Guangdong Province, South China were investigated in the year 2000. The effect of retention time on rotifer distribution was also analyzed in three reservoirs: Feilaixia Reservoir, Liuxihe Reservoir and Xinfengjiang Reservoir with different retention time from 2001 to 2003. 101 species belonging to 36 genera of 20 families were identified. The majority of the species were monogononts, while bdelloids were represented only by *Rotaria* sp.. The largest fraction belonged to the following families: Lecanidae (19) > Brachionidae (18) > Trichocercidae (13) > Synchaetidae (8). The most frequent genera were *Keratella*, *Brachionus*, *Lecane*, *Polyarthra*, *Trichocerca*, *Asplanchna*, *Conochilus* and *Ascomorpha*.

In the Liuxihe Reservoir which has an intermediate retention time of 172 days, the average abundance of rotifer was around 40 ind. L<sup>-1</sup>, greater than that of the other two reservoirs. Rotifer abundance showed no significant correlation either with retention time or with chlorophyll a concentration. In the Xinfengjiang Reservoir which has a long retention time of 644 days, the average abundance of rotifer was very low, about 5 ind. L<sup>-1</sup>. As the retention time was 644 days, the impact of flushing rate on rotifer loss may be neglected. The rotifer abundance was significantly positively correlated with chlorophyll a concentration ( $R=0.567$ ,  $p=0.035$ ). The Feilaixia Reservoir is a through flowing reservoir, thus its water retention time was short, 1.3~14.2 days during investigation, and the flushing rate was high. Rotifer abundance was not only low, but

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(39900022);教育部“优秀青年教师资助计划”资助项目;广东省水利厅重点资助项目

**收稿日期:**2004-05-15; **修订日期:**2005-01-20

**作者简介:**林秋奇(1973~),男,广东人,博士生,讲师,主要从事水域生态学研究。E-mail: tlinqq@jnu.edu.cn

\* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: tbphan@jnu.edu.cn

**Foundation item:** National Natural Science Foundation of China (No. 39900022), The Chinese Education Ministry Grant and Water Resources Department of Guangdong Province

**Received date:** 2004-05-15; **Accepted date:** 2005-01-20

**Biography:** LIN Qiu-Qi, Ph. D. candidate, mainly engaged in aquatic ecology. E-mail: tlinqq@jnu.edu.cn



significantly positively correlated with retention time ( $R=0.77$ ,  $p=0.003$ ). According to feeding habit, rotifer are classified as generalists and specialists. Many of the most common rotifer genera such as *Conochilus* and *Keratella* are suspension feeders or 'generalist'. A considerable number of rotifer genera such as *Polyarthra*, *Synchaeta*, *Trichocerca*, *Ascomporpha* and *Gastropus* are 'specialised' rotifers, able to catch and consume larger sized food items. In the Xinfengjiang Reservoir and the Liuxihe Reservoir, rotifer abundance was primarily dominated by 'generalist', whereas it was by 'specialist' in the Feilaixia Reservoir. Of the three reservoirs, planktonic rotifer was more diverse than benthic and periphytic ones in samples. Benthic and periphytic species were more diverse in the Feilaixia Reservoir, but its diversity was low in the Xinfengjiang Reservoir. Medium benthic and periphytic species diversity were characteristic of the Liuxihe Reservoir. The relative abundance of benthic and periphytic species was also greater in the Feilaixia Reservoir than in the other two reservoirs.

Cluster analysis did not distinguish distinct reservoir groupings based on rotifer communities in the year 2000. Rotifer distribution appears to broadly relate to reservoir trophic state. Gradients in rotifer assemblages occurred in response to changes in reservoir trophic state. In low trophic level reservoirs (Xinfengjiang Reservoir and Baipenzhu Reservoir), the rotifer population was primarily dominated by *Keratella cochlearis*. With the increase of reservoir trophic level, the relative abundance of *Keratella cochlearis* decreased, while that of *Trichocerca* and/or *Brachionus* increased.

**Key words:** rotifer distribution; retention time; reservoir

轮虫个体虽小,但繁殖快,且每种轮虫均有特定的生态位,对不同生态因子(如水体营养水平)有一定的耐受范围和偏好<sup>[1]</sup>,经常被用作水体营养水平和酸碱性的指示种<sup>[2,3]</sup>。随着水体水质的变化,轮虫的种类组成相应发生改变<sup>[4]</sup>。此外,同一营养水平的指示种类,可以具有不同的生活习性,如真性浮游、兼性浮游、着生和底栖等。在同样营养水平条件下,不同习性种类的组成和优势度取决于水体的类型。在湖泊敞水区,轮虫基本上是真性浮游种类<sup>[5]</sup>;沿岸带轮虫种类多样性通常高于敞水区,但以着生性、底栖性或兼性浮游种类为主<sup>[6]</sup>。在流速较快的水体(河流)中,敞水区与沿岸带轮虫种类组成差别不大,基本上以着生性种类为主<sup>[5]</sup>。水流速度对水体中不同生活习性轮虫的相对组成有明显的决定作用。

水库是在河流上筑坝形成的半人工半自然水体,具备河流和湖泊这两种不同类型水体的特征<sup>[7]</sup>,浮游动物的分布特征有别于河流和湖泊<sup>[8]</sup>。河流筑坝之后,在大坝附近形成一个相对比较静止、类似于湖泊敞水区的区域,称为湖泊区。受人为调节,频繁的水位波动对浮游动物的分布造成一定的影响。轮虫的个体小、世代短,大多数是  $r$ -选择型,比个体相对大得多的甲壳类浮游动物更适合在湖泊区中生长,但不同生活习性的种类组成依赖于水库的滞留时间<sup>[9]</sup>。广东省是我国水库比较集中的地区之一,对该地区水库轮虫分布特征的研究比较薄弱,有关轮虫的资料仅限于两次规模比较大但目的不同的调查<sup>①</sup><sup>[10]</sup>。目前,我们选择性地对广东省 3 座不同滞留时间类型的水库的浮游动物动态继续进行长期调查。本文结合两次大规模的调查结果以及 3 座水库的长期研究资料分析了广东省水库轮虫种类总体组成特征及滞留时间和营养水平对水库轮虫分布的影响。

## 1 材料与方法

于 2000 年 6~7 月和 11~12 月同时对广东省 18 座大中型供水水库的湖泊区和河流区进行采样,每个区的采样点依水流方向设在原河道上(3~4 个)。水库基本概况和营养水平详见韩博平等<sup>[10]</sup>。在此基础上,选取了 3 座不同滞留时间类型的大型水库(长滞留时间:新丰江水库;中等滞留时间:流溪河水库;短滞留时间即直流型:飞来峡水库)于 2001 年 4 月至 2003 年 12 月每隔 2-3 个月对湖泊区和河流区进行采样。轮虫定性样品用 25 号浮游生物网(64 $\mu$ m)于水平及垂直方向拖网;定量样品在湖泊区从表层 0.5m 往下每隔 1m 采取 5L 水到 10m(温跃层)处,河流区则从表层采至底层以上 0.5m 处,共 50L 水,用 64 $\mu$ m 浮游生物网当场过滤,所有样品用福尔马林固定,浓度 5%。在显微镜下对所有样品镜检以进行种类鉴定,定量样品同时在解剖镜 10 $\times$ 10 的放大倍数下用 1ml 计数框计数。一般计数 3 片以上,取平均值。采用 Koste 的分类体系对轮虫进行分类<sup>[11]</sup>。根据 2000 年水库轮虫的组成采用类间平均链锁法的聚类分析方法对水库进行分类。以每一种轮虫的相对丰度作为变量,其中,臂尾轮属和异尾轮属虽然在不同水库种类分布均有所差异,但对营养水平的偏好基本上相似,因此在聚类分析时,把臂尾轮属和异尾轮属分别作为一个变量处理。

## 2 结果与讨论

### 2.1 种类组成

在 2000~2003 年间共检测到轮虫 101 种,绝大多数种类属于单巢类,其中臂尾轮科 18 种、腔轮科 19 种、异尾轮科 13 种和疣

① 广东省水库渔业生产性能的评价及提高水库鱼生产力技术措施的研究



毛轮科 8 种。蛭态类只检到轮虫属(*Rotaria*)1 属,具体种类见表 1。在 1983~1985 年间,中国科学院水库渔业研究所在评价广东省水库渔业资源生产性能同时,调查了 74 座大中小型水库的轮虫分布。由于当时所采用的分类体系主要是根据《中国淡水轮虫志》,本文进行汇总分析时,按 Koste 的分类体系对其结果重新进行归类。结果检到轮虫 92 种,种类同样主要来自臂尾轮科(17 种)、腔轮科(12 种)、异尾轮科(12 种)和疣毛轮科(7 种)<sup>①</sup>。两次共调查了水库 88 座,共检到轮虫 114 种,广泛分布种类为螺形龟甲轮虫(*Keratella cochlearis*)、剪形臂尾轮虫(*Brachionus forficula*)、角突臂尾轮虫(*B. angularis*)、广生多肢轮虫(*Polyarthra vulgaris*)、圆筒异尾轮虫(*Trichocerca cylindrica*)、对棘异尾轮虫(*T. stylata*)、前节晶囊轮虫(*Asplanchna priodonta*)、独角聚花轮虫(*Conochilus unicornis*)和卵形无柄轮虫(*Ascomorpha ovalis*)。

表 1 广东省水库轮虫种类(P 浮游性,B 底栖或附着性)  
Table 1 List of rotifer species (P Planktonic, B Benthic or periphytic)

| 轮虫种类 Rotifer species                                    | 1984~1985 <sup>①</sup> | 2000~2003 |
|---------------------------------------------------------|------------------------|-----------|
| 蛭态总目 Bdelloidea                                         |                        |           |
| 旋轮科 Philodinidae                                        |                        |           |
| 玫瑰旋轮虫 <i>Philodina roseola</i> Ehrenberg, 1832 P        | +                      | —         |
| 轮虫 <i>Rotaria</i> sp. P                                 | +                      | +         |
| 单巢总目 Monogononta                                        |                        |           |
| 猪吻轮科 Dicranoporidae                                     |                        |           |
| 猪吻轮虫 <i>Dicranophorus</i> sp. B                         | +                      | +         |
| 臂尾轮科 Brachionidae                                       |                        |           |
| 裂痕龟纹轮虫 <i>Anuraeopsis fissa</i> (Gosse, 1851) P         | +                      | +         |
| 角突臂尾轮虫 <i>Brachionus angularis</i> Gosse, 1851 P        | +                      | +         |
| 蒲达臂尾轮虫 <i>B. budapestinensis</i> Daday, 1885 P          | +                      | +         |
| 蓴花臂尾轮虫 <i>B. calyciflorus</i> Pallas, 1766 P            | +                      | +         |
| 花筐臂尾轮虫 <i>B. capsuliflorus</i> Pallas, 1766 P           | +                      | +         |
| 尾突臂尾轮虫 <i>B. caudatus</i> Barrois & Daday, 1894 P       | +                      | +         |
| 裂足臂尾轮虫 <i>B. diversicornis</i> (Daday, 1883) P          | +                      | +         |
| 异棘臂尾轮虫 <i>B. donneri</i> Brehm, 1951 P                  | +                      | +         |
| 镰状臂尾轮虫 <i>B. falcatus</i> Zacharias, 1898 P             | +                      | +         |
| 剪形臂尾轮虫 <i>B. forficula</i> Wierzejski, 1891 P           | +                      | +         |
| 矩形臂尾轮虫 <i>B. leydigi</i> Cohn 1862 P                    | +                      | +         |
| 壶状臂尾轮虫 <i>B. urceus</i> (Linnaeus, 1758) P              | +                      | +         |
| 螺形龟甲轮虫 <i>Keratella cochlearis</i> (Gosse, 1851) P      | +                      | +         |
| 矩形龟甲轮虫 <i>K. quadrata</i> (O. F. Müller, 1786) P        | +                      | —         |
| 热带龟甲轮虫 <i>K. tropica</i> Apstein, 1907 P                | —                      | +         |
| 曲腿龟甲轮虫 <i>K. valga</i> (Ehrenberg, 1834) P              | +                      | +         |
| 唇形叶轮虫 <i>Notholca labis</i> Gosse, 1887 P               | —                      | +         |
| 十指平甲轮虫 <i>Plationus patulus</i> (O. F. Müller, 1786) P  | +                      | +         |
| 四角平甲轮虫 <i>Platylas quadricornis</i> (Ehrenberg, 1832) P | +                      | +         |
| 水轮科 Epiphanidae                                         |                        |           |
| 臂尾水轮虫 <i>Epiphanes brachionus</i> (Ehrenberg, 1837) P   | +                      | +         |
| 椎尾水轮虫 <i>E. senta</i> (O. F. Müller, 1773) P            | —                      | +         |
| 管形弯弓轮虫 <i>Cyrtonia tuba</i> Ehrenberg, 1834 P           | —                      | +         |
| 须足轮科 Euchlanidae                                        |                        |           |
| 真蹠轮虫 <i>Eudactylota eudactylota</i> (Gosse, 1886) B     | +                      | +         |
| 台氏合甲轮虫 <i>Diplois deviesiae</i> Gosse, 1886 B           | +                      | —         |
| 透明须足轮虫 <i>Euchlanis pellucida</i> Harring, 1913 ;B      | +                      | +         |
| 须足轮虫 <i>Euchlanis</i> sp. B                             | +                      | +         |
| 鞍甲轮科 Lepadellidae                                       |                        |           |
| 爱德里亚狭甲轮虫 <i>Colurella adriatica</i> Ehrenbeng 1831 B    | —                      | +         |
| 钝角狭甲轮虫 <i>C. obtusa</i> (Gosse, 1886) B                 | +                      | +         |
| 鞍甲轮虫 <i>Lepadella</i> sp. B                             | +                      | +         |
| 棘管轮科 Mytilinidae                                        |                        |           |

① 广东省水库渔业生产性能的评价及提高水库鱼生产力技术措施的研究



续表 1

|                                                                 |   |   |
|-----------------------------------------------------------------|---|---|
| 腹棘管轮虫 <i>Mytilina ventralis</i> (Ehrenberg, 1832) B             | + | + |
| 鬼轮科 Trichotriidae                                               |   |   |
| 高氏多棘轮虫 <i>Macrochaetus collinsi</i> (Gosse, 1867) B             | + | + |
| 方块鬼轮虫 <i>Trichotria tetractis</i> (Ehrenberg 1830) B            | + | + |
| 晶囊轮科 Asplanchnidae                                              |   |   |
| 卜氏晶囊轮虫 <i>Asplanchna brightwelli</i> (Gosse, 1850) P            | + | + |
| 盖氏晶囊轮虫 <i>A. girodi</i> de Guerne, 1888 P                       | + | — |
| 前节晶囊轮虫 <i>A. priodonta</i> Gosse, 1850 P                        | + | + |
| 多突囊足轮虫 <i>Asplanchnopus multiceps</i> (Schränk, 1793) P         | + | + |
| 腹尾轮科 Gastropodidae                                              |   |   |
| 没尾无柄轮虫 <i>Ascomorpha ecaudis</i> Perty, 1850 P                  | + | + |
| 卵形无柄轮虫 <i>A. ovalis</i> (Bergendal, 1892) P                     | + | + |
| 舞跃无柄轮虫 <i>A. saltans</i> Bartsch, 1870 P                        | + | + |
| 腹足腹尾轮虫 <i>Gastropus hyptopus</i> (Ehrenberg, 1838) P            | + | + |
| 小型腹尾轮虫 <i>G. minor</i> (Rousselet, 1892) P                      | — | + |
| 柱足腹尾轮虫 <i>G. styliifer</i> Imhof, 1891 P                        | — | + |
| 椎轮科 Notommatidae                                                |   |   |
| 凸背巨头轮虫 <i>Cephalodella gibba</i> (Ehrenberg, 1832) B            | + | + |
| 大头巨头轮虫 <i>C. megalcephala</i> (Glascott, 1893) B                | — | + |
| 圆盖柱头轮虫 <i>Eosphora thoa</i> Harring & Myers, 1924 P             | + | — |
| 晓柱轮虫 <i>Eothinia</i> sp. B                                      | + | — |
| 巨长肢轮虫 <i>Monommata grandis</i> Tessin, 1890 B                   | — | + |
| 椎轮虫 <i>Notommata</i> sp. B                                      | + | + |
| 前翼轮科 Proalidae                                                  |   |   |
| 污前翼轮虫 <i>Proales sordidae</i> Gosse, 1886 B                     | + | — |
| 异尾轮科 Trichocercidae                                             |   |   |
| 田奈异尾轮虫 <i>Trichocerca dixon-nuttalli</i> (Jennings, 1903) B     | + | + |
| 特异异尾轮虫 <i>Trichocerca (Diurella) insignis</i> (Herrick, 1885) B | — | + |
| 罗氏异尾轮虫 <i>T. rousseleti</i> (Voigt, 1901) P                     | + | + |
| 对棘异尾轮虫 <i>T. stylata</i> (Gosse, 1851) P                        | + | + |
| 尖头异尾轮虫 <i>T. (Diurella) tigris</i> Gosse, 1886 B                | + | — |
| 二突异尾轮虫 <i>T. bicristata</i> (Gosse, 1887) B                     | + | + |
| 刺盖异尾轮虫 <i>T. capucina</i> (Wierzejski & Zacharias, 1893) P      | + | + |
| 圆筒异尾轮虫 <i>T. cylindrica</i> (Imhof, 1891) P                     | + | + |
| 纵长异尾轮虫 <i>T. elongata</i> (Gosse, 1886) P                       | + | + |
| 细异尾轮虫 <i>T. gracilis</i> Tessin, 1886 B                         | — | + |
| 长刺异尾轮虫 <i>T. longiseta</i> (Schränk, 1802) P                    | + | + |
| 冠饰异尾轮虫 <i>T. lophoessa</i> (Gosse, 1886) B                      | + | + |
| 暗小异尾轮虫 <i>T. pusilla</i> (Lauterborn, 1898) B                   | + | + |
| 鼠异尾轮虫 <i>T. rattus</i> (O. F. Müller, 1776) B                   | + | + |
| 腔轮科 Lecanidae                                                   |   |   |
| 囊形单趾轮虫 <i>Lecane (Monostyla) bulla</i> (Gosse, 1851) B          | + | + |
| 尖趾单趾轮虫 <i>L. (Monostyla) closterocerca</i> (Schmarda, 1853) B   | + | — |
| 尖爪单趾轮虫 <i>L. (Monostyla) cornuta</i> (O. F. Müller, 1786) B     | + | — |
| 钝齿单趾轮虫 <i>L. (Monostyla) crenata</i> (Harring, 1913) B          | — | + |
| 鞋形腔轮虫 <i>L. crepida</i> Harring, 1914 B                         | — | + |
| 弯角腔轮虫 <i>Lecane curvicornis</i> (Murray, 1913) B                | — | + |
| 真胫腔轮虫 <i>L. eutarsa</i> Harring & Myers, 1926 B                 | + | + |
| 矛指腔轮虫 <i>L. hastata</i> (Murray, 1913) B                        | — | + |
| 突纹腔轮虫 <i>L. hornemanni</i> (Ehrenberg, 1833) B                  | + | + |
| 无甲腔轮虫 <i>L. inermis</i> (Bryce, 1892) B                         | — | + |
| 尾片腔轮虫 <i>L. leontina</i> (Turner, 1892) B                       | + | + |
| 罗氏腔轮虫 <i>L. ludwigii</i> (Eckstein, 1883) B                     | + | + |
| 月形腔轮虫 <i>L. luna</i> (O. F. Müller, 1776) B                     | + | + |
| 月形单趾轮虫 <i>L. (Monostyla) lunaris</i> (Ehrenberg, 1832) B        | + | + |
| 凹顶腔轮虫 <i>L. papuana</i> (Murray, 1913) B                        | + | + |



续表 1

|                                                                |   |   |
|----------------------------------------------------------------|---|---|
| 长圆腔轮虫 <i>L. ploenensis</i> (Voigt, 1902) B                     | — | + |
| 四齿单趾轮虫 <i>L. (Monosytla) quadridentata</i> (Ehrenberg, 1832) B | — | + |
| 节趾腔轮虫 <i>L. sibina</i> Harring, 1914 B                         | — | + |
| 史氏单趾轮虫 <i>L. (Monosytla) stenroosi</i> (Meissner, 1908) B      | + | + |
| 细爪腔轮虫 <i>L. tenuiseta</i> Harring, 1914 B                      | — | + |
| 蹄形腔轮虫 <i>L. unguolata</i> (Gosse, 1887) B                      | + | + |
| 疣毛轮科 Synchaetidae                                              |   |   |
| 郝氏皱甲轮虫 <i>Ploesoma hudsoni</i> (Imhof, 1891) P                 | + | + |
| 晶体皱甲轮虫 <i>P. lenticulare</i> Herrick, 1885 P                   | + | + |
| 截头皱甲轮虫 <i>P. truncatum</i> (Levander, 1894) P                  | + | + |
| 真翅多肢轮虫 <i>Polyarthra euryptera</i> (Wierzejski, 1893) P        | + | + |
| 广生多肢轮虫 <i>P. vulgaris</i> Carlin, 1943 P                       | + | + |
| 长圆疣毛轮虫 <i>Syncheta oblonga</i> Ehrenberg, 1832 P               | — | + |
| 梳状疣毛轮虫 <i>S. pectinata</i> Ehrenberg, 1832 P                   | + | + |
| 尖尾疣毛轮虫 <i>S. stylata</i> Wierzejski, 1893 P                    | + | + |
| 三肢轮科 Filiniidae                                                |   |   |
| 臂三肢轮虫 <i>Filinia brachiata</i> (Rousselet, 1901) P             | + | + |
| 柬隐三肢轮虫 <i>F. camasecla cambodgensis</i> Berzins, 1973 P        | + | + |
| 长三肢轮虫 <i>F. longiseta</i> (Ehrenberg, 1834) P                  | + | + |
| 迈氏三肢轮虫 <i>F. maior</i> Colditz, 1924 P                         | + | + |
| 脾状四肢轮虫 <i>Tetramastix opoliensis</i> Zacharias, 1898 P         | + | + |
| 六腕轮科 Hexarthridae                                              |   |   |
| 环顶六腕轮虫 <i>Hexarthra fennica</i> (Levander, 1892) P             | + | + |
| 奇异六腕轮虫 <i>H. mira</i> (Hudson, 1871) P                         | + | + |
| 镜轮科 Testudinellidae                                            |   |   |
| 沟痕泡轮虫 <i>Pompholyx sulcata</i> (Hudson, 1885) P                | + | + |
| 布赖斯镜轮虫 <i>Testudinella brycei</i> Hauer, 1938 B                | + | — |
| 微凸镜轮虫 <i>T. mucronata</i> Carlin-Nilson, 1935 B                | + | + |
| 盘镜轮虫 <i>T. patina</i> (Hermann, 1783) B                        | + | + |
| 三齿镜轮虫 <i>T. tridentata</i> Smirnov, 1931 B                     | — | + |
| 聚花轮科 Conochilidae                                              |   |   |
| 叉角拟聚花轮虫 <i>Conochiloides dossuarius</i> (Hudson, 1885) P       | + | + |
| 团状聚花轮虫 <i>Conochilus hippocrepis</i> (Schränk, 1830) P         | + | + |
| 独角聚花轮虫 <i>C. unicornis</i> Rousselet, 1892 P                   | + | + |
| 胶鞘轮科 Collothecidae                                             |   |   |
| 多态胶鞘轮虫 <i>Collotheca ambiguus</i> (Hudson, 1883) B             | + | — |
| 无常胶鞘轮虫 <i>C. mutabilis</i> (Hudson, 1885) P                    | + | + |
| 瓣状胶鞘轮虫 <i>C. ornata</i> (Ehrenberg, 1832) B                    | + | — |
| 敞水胶鞘轮虫 <i>C. pelagica</i> (Rousselet, 1893) P                  | + | + |

从表 1 可见,两次调查不相同种类有 35 种,其中第 1 次调查检测到但第 2 次调查没检到的种类有 13 种,而第 2 次调查新检测到种类有 22 种。不相同种类主要来自腔轮科和椎轮科(Notommatidae)等营着生或底栖生活的轮虫科属。造成两次调查结果的差异主要有如下可能:本来就存在,但不常见,仅局限于少数几座水库,由于调查水库不完全相同(仅有 4 座是重复)导致;着生性和底栖性种类的出现与水库水动力学条件密切相关,本次调查有 3 座水库采样相对频繁且周期长,基本上能保证在不同水动力学条件下对水库进行采样,一些不太常见的底栖种类也能采集到。在时隔近 20a 的两次调查中,虽然调查水库总共只有 88 座,但遍布整个广东省,而且在不同水动力学条件下对其中 3 座不同营养水平及滞留时间的水库进行长期采样,调查结果基本上反映了广东省水库轮虫的种类组成特征。

热带、亚热带地区和温带地区轮虫种类组成的差异主要来自于少数几个属的分布存在地区性限制。腔轮属(*Lecane*)、臂尾轮属(*Brachionus*)和异尾轮属(*Trichocerca*)这 3 个属的种类集中分布于热带和亚热带地区<sup>[12]</sup>,并占据了该地区轮虫种类组成的绝大部分<sup>[13~17]</sup>,而在温带地区水体虽然也有分布,但只有少数几种;龟甲轮属(*Keratella*)、巨头轮属(*Cephalodella*)、叶轮属(*Notholca*)和疣毛轮属(*Synchaeta*)在热带和亚热带地区也有分布,并且某些种类分布相当广泛或为该地区特有种(如:热带龟甲轮虫),但绝大多数种类主要分布于温带地区<sup>[18]</sup>。广东省地处亚热带,与其它热带亚热带地区水体一样,腔轮属、臂尾轮属和异尾轮属是种类最多的 3 个属,共占检测到种类的 40%。其中,腔轮属有 21 种,比较常见的是月形腔轮虫(*Lecane luna*)、长圆腔轮



虫 (*L. ploenensis*)、弯角腔轮虫 (*L. curvicornis*)、凹顶腔轮虫 (*L. papuana*)、月形单趾轮虫 (*L. (Monostyla) lunaris*)、四齿单趾轮虫 (*L. (Monostyla) quadridentata*) 和囊形单趾轮虫 (*L. (Monostyla) bulla*)；异尾轮属 14 种, 常见种为圆筒异尾轮虫、对棘异尾轮虫、长刺异尾轮虫 (*T. longiseta*) 和刺盖异尾轮虫 (*T. capucina*)；臂尾属 11 种, 角突臂尾轮虫、萼花臂尾轮虫 (*B. calyciflorus*)、剪形臂尾轮虫、镰状臂尾轮虫 (*B. falcatus*) 和裂足臂尾轮虫 (*B. diversicornis*) 分布最为广泛, 并作为富营养化指示种, 其它臂尾轮虫种类仅局限于少数几座水库。龟甲轮属、疣毛轮属、叶轮属和巨头轮属在广东省水库也有分布, 其中, 龟甲轮属各种类分布相当广泛, 而叶轮属和巨头轮属不常见。

## 2.2 不同滞留时间水库轮虫组成特征

水库的入库水流从集水区带来了营养盐和有机碎屑等颗粒物, 在水流流向大坝的过程中, 营养盐和有机碎屑逐渐为水库中生物所利用或被吸附沉积等, 出库水流又将营养盐和有机颗粒物带出水库, 但出库水流受人为调节, 且水质有别于入库水流, 整座水库就象一个连续培养器<sup>[8]</sup>。滞留时间作为衡量水库营养盐和有机碎屑等供应量以及周转速度的一个重要参数, Straskraba 等根据滞留时间将水库分为直流型 (<15d)、中等滞留时间 (15~365d) 和长滞留时间 (>365d) 水库 3 种类型<sup>[19]</sup>。为了比较滞留时间对轮虫分布的影响, 选取了飞来峡水库 (14d)、流溪河水库 (172d) 和新丰江水库 (644d) 分别代表这 3 种类型水库进行长期研究。

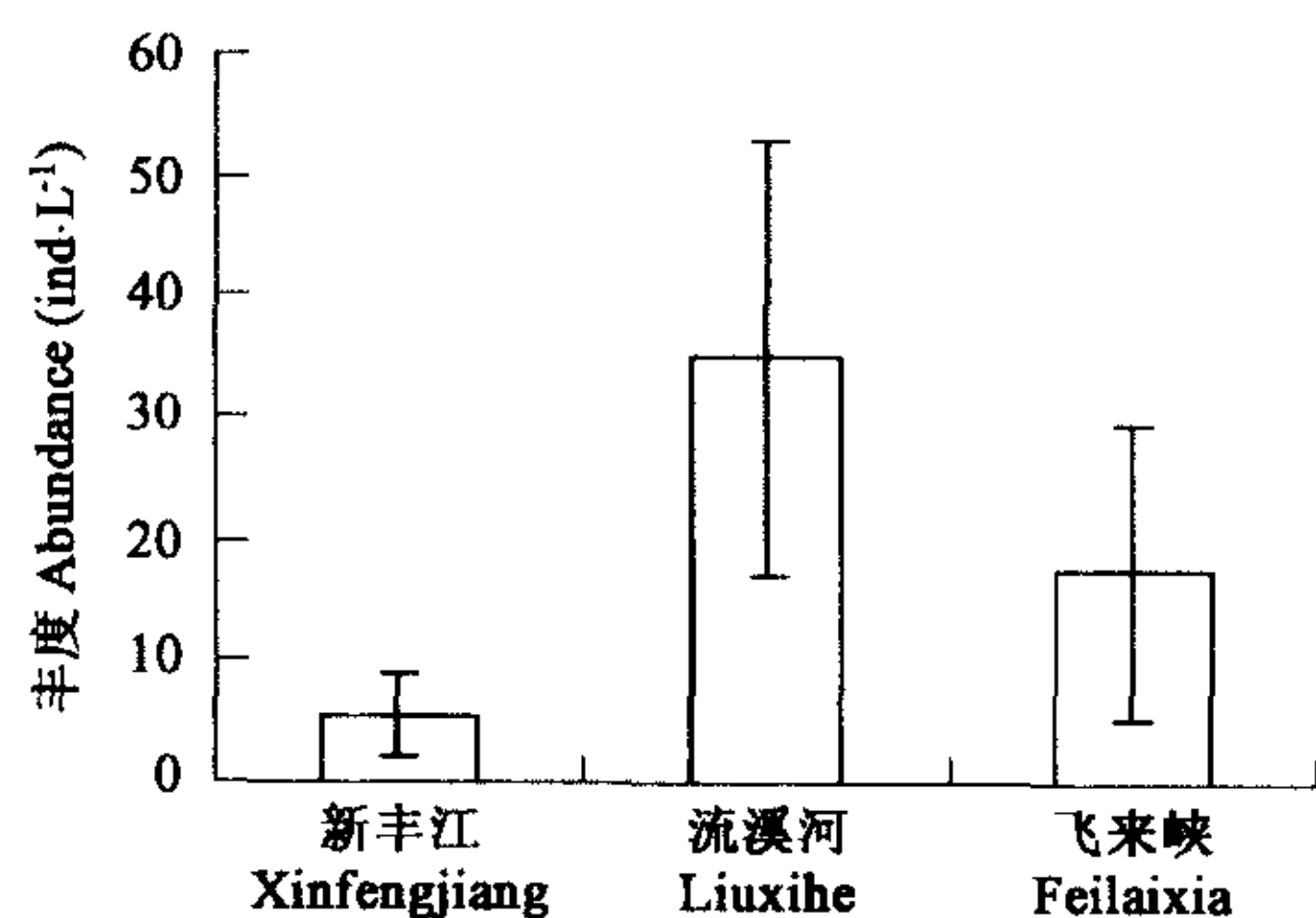


图 1 3 座不同滞留时间水库轮虫丰度 (平均值)

Fig. 1 Rotifer abundance in three reservoirs with different retention time

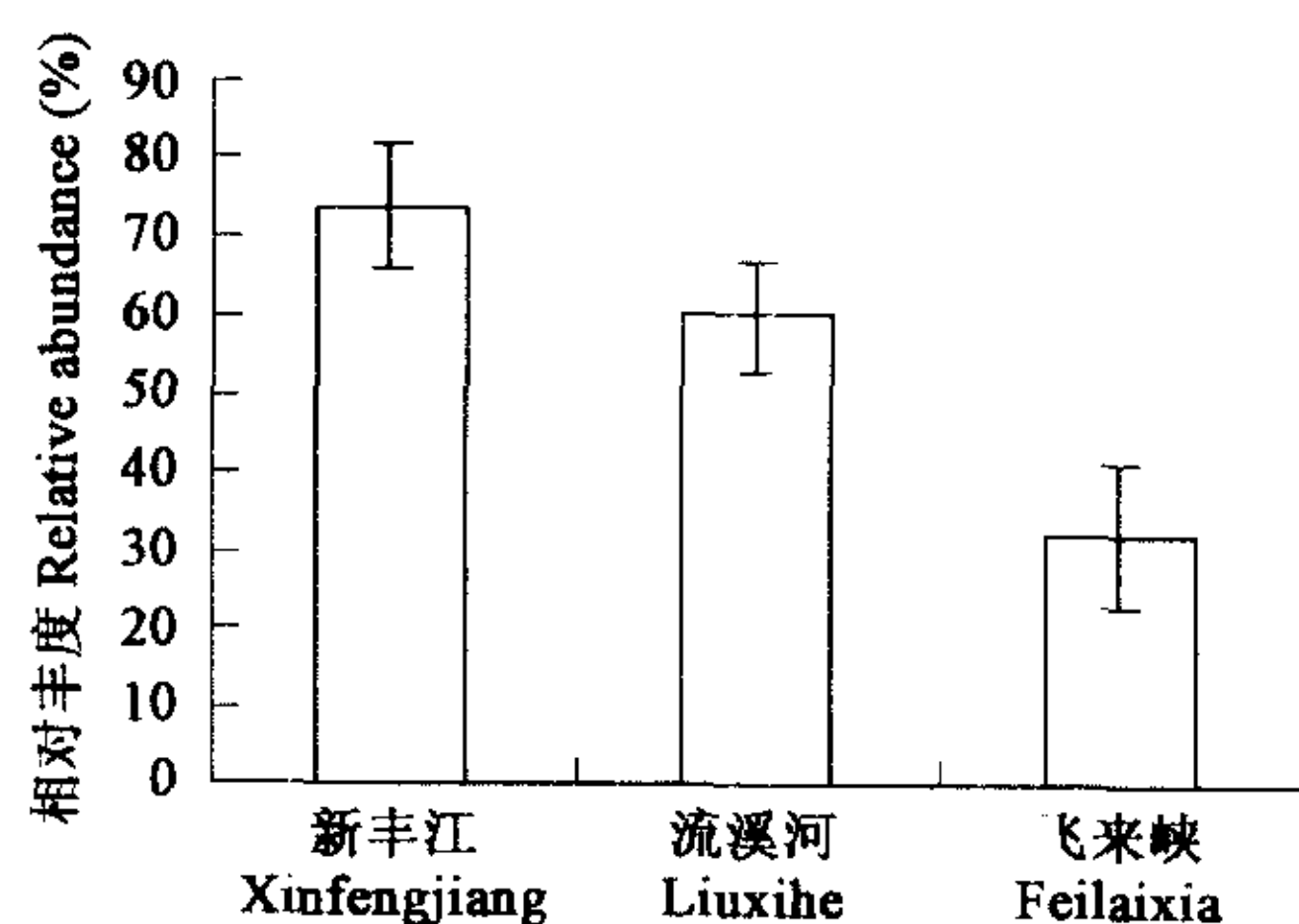


图 2 3 座不同滞留时间类型水库中滤食细小悬浮颗粒物种类 (generalist) 的相对丰度

Fig. 2 Relative abundance of the generalist of rotifer in three reservoirs with different retention time

图 1 表明 3 座水库轮虫平均丰度均不高, 中等滞留时间的流溪河水库轮虫平均丰度高于其它两座水库, 但不到 40 个/L; 而长滞留时间的新丰江水库轮虫平均丰度甚低, 只有 5 个/L 左右。依食性轮虫可分为滤食水体中 1~15 $\mu$ m 悬浮颗粒物的种类 (generalist) (大多数常见轮虫, 如聚花轮虫和龟甲轮虫都属于这一类型) 和能劫掠粒径较大食物的种类 (specialist) (如多肢轮虫、疣毛轮虫、异尾轮虫、无柄轮虫和腹尾轮虫以及晶囊轮虫和皱甲轮虫 (*Ploesoma*) 等这些掠食性或杂食性的种类)<sup>[20]</sup>。具体哪种食性轮虫占优势取决于水体中食物的性质。从图 2 可见, 新丰江和流溪河水库轮虫主要以滤食细小悬浮颗粒物的种类为主, 飞来峡水库则以劫掠粒径较大食物的种类为主。

由于新丰江水库多年平均滞留时间长达 644d, 相对于轮虫的生长速率来说, 滞留时间的变化造成平流损失率很小, 可忽略不计。水库营养水平属寡营养型, 湖泊区外源性和内源性食物 (pico 级藻类为主) 供应不足, 轮虫的生长明显受限于食物的短缺, 轮虫的丰度与水库叶绿素 a 呈显著正相关关系 ( $R=0.567$ ,  $p=0.035$ ), 并且以螺形龟甲轮虫和独角聚花轮虫这些滤食细小悬浮颗粒物的种类为优势种。流溪河水库营养水平 (寡-中营养) 和滞留时间均介于新丰江水库和飞来峡, 轮虫丰度高于其它两座水库。受其它生物和非生物因素的影响 (待发表), 轮虫丰度与滞留时间和叶绿素 a 均相关性不显著。轮虫同样以滤食细小悬浮颗粒物的种类为主, 但劫掠粒径较大食物的种类相对丰度高于新丰江水库。这两种食性轮虫分别以螺形龟甲轮虫和广布多肢轮虫为优势种。飞来峡水库虽然营养水平 (中营养) 是 3 座水库中最高的, 无论内源性或外源性食物都要比其它两座水库丰富些, 但轮虫丰度仅介于它们之间。飞来峡水库属直流型水库, 在调查期间滞留时间仅为 1.3~14.2d, 轮虫丰度与滞留时间呈显著正相关关系 ( $R=0.77$ ,  $p=0.003$ ), 轮虫生长受滞留时间的影响程度要大于其它两座水库。丰水期以疣毛轮虫和螺形龟甲轮虫为优势种; 枯水期主要优势种为疣毛轮虫。总的来说, 飞来峡水库轮虫以劫掠粒径较大食物的种类为主。

底栖性或着生性轮虫种类在广东省水库中分布相当广泛, 但每次采样时检到的种类数在不同滞留时间水库中有所差别。由图 3 可见, 每次采样时, 3 座不同滞留时间类型的水库轮虫种类组成均以真性浮游种类为主, 但在直流型的飞来峡水库中底栖种类多样性明显高于其它两种滞留时间类型的水库, 而在长滞留时间的新丰江水库中, 底栖种类多样性最低, 中等滞留时间的



流溪河水库则介于它们之间。从底栖性轮虫相对丰度看,3座水库均不高,远远低于真性浮游轮虫,但飞来峡水库高于其它两座水库(图4)。

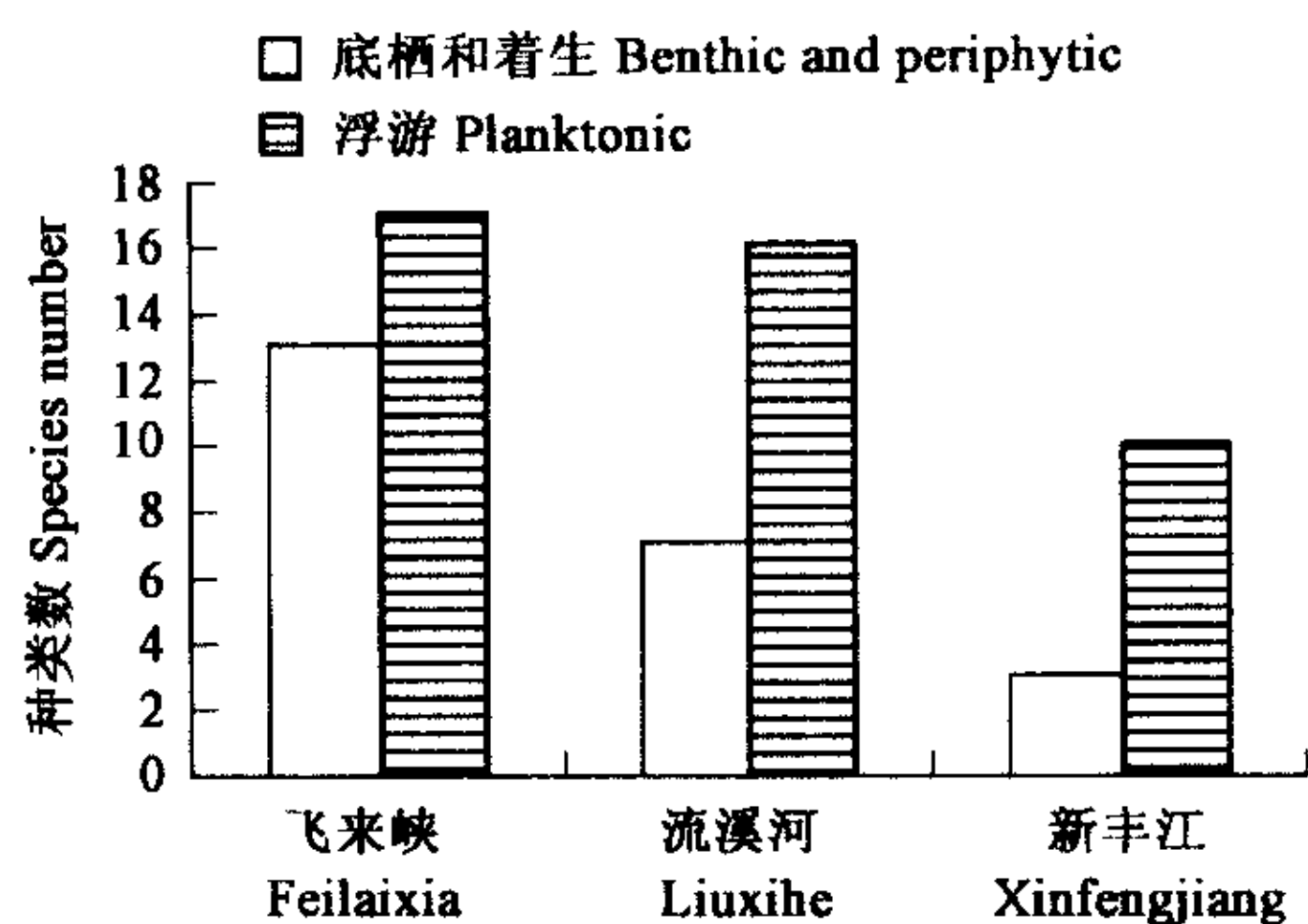


图3 5座不同滞留时间类型水库中轮虫种类组成(平均值)

Fig. 3 Average rotifer species richness in three reservoirs with different retention time

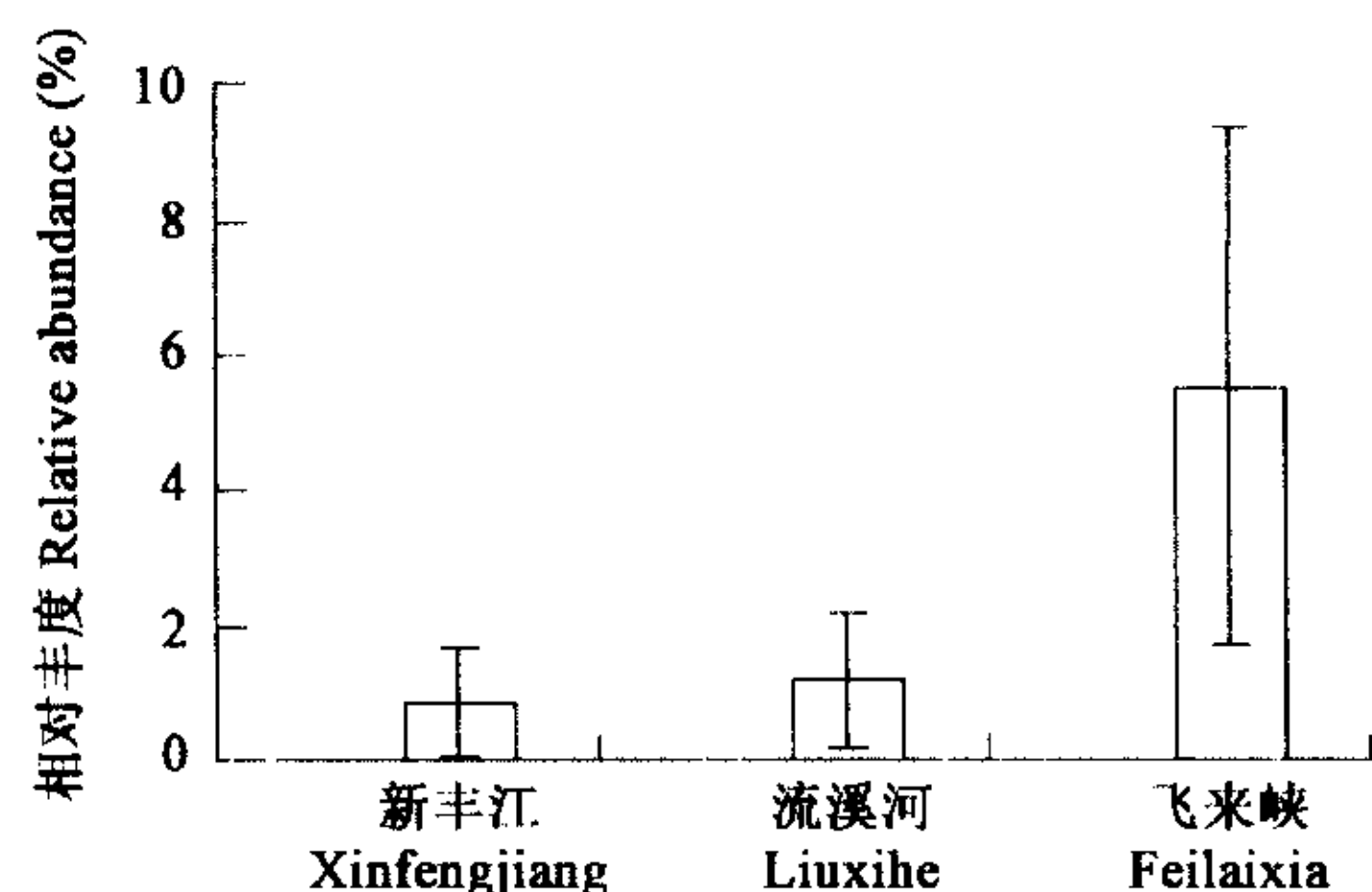


图4 3座不同滞留时间类型水库中底栖和着生性轮虫种类相对丰度

Fig. 4 Relative abundanc of the benthic and periphytic rotifer in three reservoirs with different retention time

底栖和着生种类一般在静止水体的敞水区竞争不过浮游种类,而且易被掠食性的晶囊轮虫和桡足类等所捕食。在流动的水体中,浮游种类种群密度受水流控制,对底栖、着生性或兼性浮游种类的竞争压力减弱,底栖、着生或兼性浮游种类因而能在敞水区生存,并以浮游植物和细菌为食,如:囊形单趾轮虫能以蓝藻(群体)作为着生基质而广泛分布于敞水区<sup>[5]</sup>。水流流速对水体各种生活习性轮虫的相对组成有明显的决定作用。大多数水库建于河流峡谷中,沿岸带陡峭,入库水流和出库水流的交换使得水库水位波动频繁,新丰江水库和流溪河水库年水位波动范围达十几米以上,周期性的水位波动使得沿岸带周期性地裸露或水淹,挺水或沉水水生高等植物在水库沿岸带无法生存。从这一点来说,水库并不是营底栖或着生性种类的理想栖息场所。不同于湖泊的是,水库的入库水流可以源源不断的把上游河流底栖和着生种类带入水库,腔轮属和异尾轮属的种类在水库轮虫种类组成中占有一定的比例,但由于水库水流流速比上游河流减缓,竞争不过真性浮游种类,水库轮虫以真性浮游种类为优势种。水流流速对水库中不同生活习性轮虫的组成起着相当重要的作用。

### 2.3 轮虫对水库营养水平响应

轮虫在水体中能否生存很大程度上取决于多种生态因子。许多轮虫种类对某种营养范围或极端营养条件有偏好。这种偏好与食物的大小与性质有关,寡营养指示种,如聚花轮虫主要以微藻(microalgae)为食;富营养指示种,如臂尾轮虫,则主要以微藻和有机碎屑等为食;营养水平介于寡营养和富营养间的指示种以粒径相对比较大的颗粒物(藻类)为食<sup>[21]</sup>。水体营养水平的变化改变了轮虫食物的性质与大小,从而影响轮虫的种类组成。

为了分析广东省水库轮虫分布特征与水库营养水平的关系,广东省17座水库根据它们2000年的轮虫组成数据进行聚类分析,结果见图5。飞来峡水库是调查水库中唯一的1座直流型水库,滞留时间对轮虫的影响比营养水平更重要,所以在聚类分析时不包括在内。由图3可见,根据轮虫组成特征,17座水库可分为3类(I、II和III),其中第I和III类包括了大多数水库。第I类由寡营养、寡-中营养和中营养水库组成;第II类只有2座水库,均为中营养型;第III类由中营养、中-富营养和富营养型水库组成。在第I类水库中,3座低营养水平的水库(新丰江、白盆珠和流溪河水库)均以螺形龟甲轮虫为第1优势种群,其次为聚花轮虫或无柄轮虫;另外3座水库螺形龟甲轮虫虽然也是优势种之一,但优势度大为降低,而且异尾轮虫或前节晶囊轮虫也成为优势种之一。第II类水库以沟痕泡轮虫为主要的优势种,其次为螺形龟甲轮虫或异尾轮虫和三肢轮虫。第III类水库与前面两类水库最大的区别是臂尾轮虫或异尾轮虫的优势度相当明显。在富营养型的石岩水库和中营养型的合水水库中,臂尾轮虫是第1优势种,其次为前节晶囊轮虫,但臂尾轮虫在石岩水库中的优势度明显高于合水水库。公平水库和契爷石水库以异尾轮虫为第1优势种,其次为臂尾轮虫;相反,鹤地、大水桥和赤沙水库以臂尾轮虫为第1优势种,异尾轮虫为第2优势种。汤溪和大镜山水库以臂尾轮虫为第1优势种,其次为龟甲轮虫。

有关轮虫指示种问题,不同学者持不同的观点。一般认为,尖尾疣毛轮虫(*Synchaeta stylata*)、郝氏皱甲轮虫(*Ploesoma hudsoni*)、柱足腹尾轮虫(*Gastropus styliifer*)、卵形无柄轮虫和独角聚花轮虫是寡营养水体的优势种;中营养水体种类较多,一般为过渡种;臂尾轮虫、裂痕龟纹轮虫(*Anuraeopsis fissa*)、沟痕泡轮虫(*Pompholyx sulcata*)、异尾轮虫、长三肢轮虫(*Filinia longiseta*)、奇异六腕轮虫(*Hexarthra mira*)、多肢轮虫和螺形龟甲轮虫等是富营养水体的优势种<sup>[3,22-24]</sup>。但是,De Manuel等根据轮虫组成特征对西班牙100座水库进行归类时发现在各不同理化特征水库中轮虫的种类组成并不是绝然不同,但随着环境条件的变化(如营养水平逐渐上升),轮虫的种类组成逐渐发生变化<sup>[9]</sup>。Duggan等在研究新西兰北部岛屿轮虫分布与营养水平



的关系时也发现轮虫组成随着营养水平的上升逐渐发生变化,而不是绝然不同的,不能简单地把水体轮虫组成与已发表的各种轮虫指示种类进行比较来判定水体营养水平,因此,他们构建了一个基于轮虫群落组成的生物评分系统代替指示种方法来评价水体营养水平<sup>[25]</sup>。从调查结果看,在各营养型水库中轮虫的种类组成同样不是绝然不同的。那些被认为是寡营养型的种类在中营养和富营养水库中都有分布,而被认为是富营养型的种类同样在寡营养水库中有分布,各种营养指示种均存在同一座水库,但在不同水库它们相互之间的组成比例有所差别。在大多数文献中,螺形龟甲轮虫被认为是富营养指示种<sup>[22,23]</sup>,但螺形龟甲轮虫在广东省水库中不仅分布广泛,而且在寡营养型水库中是绝对的优势种。从螺形龟甲轮虫的食性看,主要滤食水体中1~15 $\mu\text{m}$ 悬浮颗粒物,在浮游植物大小以pico级为主的低营养型水库中,螺形龟甲轮虫能以这些pico级藻类为食,并在食物竞争中取得优势,成为优势种。因此,在广东省水库中,螺形龟甲轮虫不能作为富营养指示种,而是属于广栖性并能在寡营养水库中具有竞争优势的种类。从聚类分析结果看,在广东省低营养水平水库中,轮虫以螺形龟甲轮虫为优势种,随着水库营养水平上升,螺形龟甲轮虫优势度逐渐降低,而异尾轮虫和/或臂尾轮虫优势度逐渐上升,并在富营养型水库成为绝对优势种。

### 3 结论

广东省水库轮虫种类组成主要来自臂尾轮科、腔轮科和异尾轮科,体现了热带、亚热带地区轮虫的种类组成特征。滞留时间是影响水库不同食性和生活习性种类分布的一个重要因素。轮虫种类组成在不同营养水平水库并不是绝然不同的,而是随着营养水平的上升,逐渐发生变化。判定水体营养水平时,不能简单地根据轮虫指示种类,应该从轮虫整个群落组成特征考虑。

### References:

- [1] Pontin R M and Langley J M. The use of rotifer communities to provide a preliminary national classification of small water bodies in England. *Hydrobiologia*, 1993, **255/256**: 411~419.
- [2] Wærvågen S B and Nilssen J P. Major changes in pelagic rotifers during natural and forced recovery from acidification. *Hydrobiologia*, 2003, **499**: 63~82.
- [3] Sládeček V. Rotifers as indicators of water quality. *Hydrobiologia*, 1983, **100**: 169~201.
- [4] Stemberger R S, Larsen D P and Kincaid T M. Sensitivity of zooplankton for regional lake monitoring. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 2001, **58**: 2222~2232.
- [5] Green J. Associations of planktonic and periphytic rotifers in a tropical swamp, the Okavango Delta, Southern Africa. *Hydrobiologia*, 2003, **490**: 197~209.
- [6] Duggan I C. The ecology of periphytic rotifers. *Hydrobiologia*, 2001, **446/447**: 139~148.
- [7] Kimmel B L, Lind O T and Paulson L J. Reservoir primary production. In: Thornton K. W., Kimmel B. L. and Payne F. E., eds. *Reservoir limnology: Ecological perspectives*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1990.
- [8] Marzolf G R. Reservoirs as environments for zooplankton. In: Thornton K. W., Kimmel B. L. and Payne F. E., eds. *Reservoir limnology: Ecological perspectives*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1990.
- [9] De Manuel J and Armengol J. Rotifer assemblages: a contribution to the typology of Spanish reservoirs. *Hydrobiologia*, 1993, **255/256**: 421~428.
- [10] Han B P, Li T and Lin X D ed. *Reservoir eutrophication in Guangdong Province and its protecting strategies*. Beijing: Science Press, 2003.
- [11] Koste W, ed. *Rotatoria*, Vol. 2. Berlin: Science Press, 1961.
- [12] Fernando C H. The freshwater zooplankton of Sri Lanka with a discussion of tropical freshwater zooplankton composition. *Int. Revue ges. Hydrobiol.*, 1980, **65**: 85~125.
- [13] Fernando C H and Zankai N P. The rotifera of Malaysia and Singapore with remarks on some species. *Hydrobiologia*, 1981, **78**: 205~

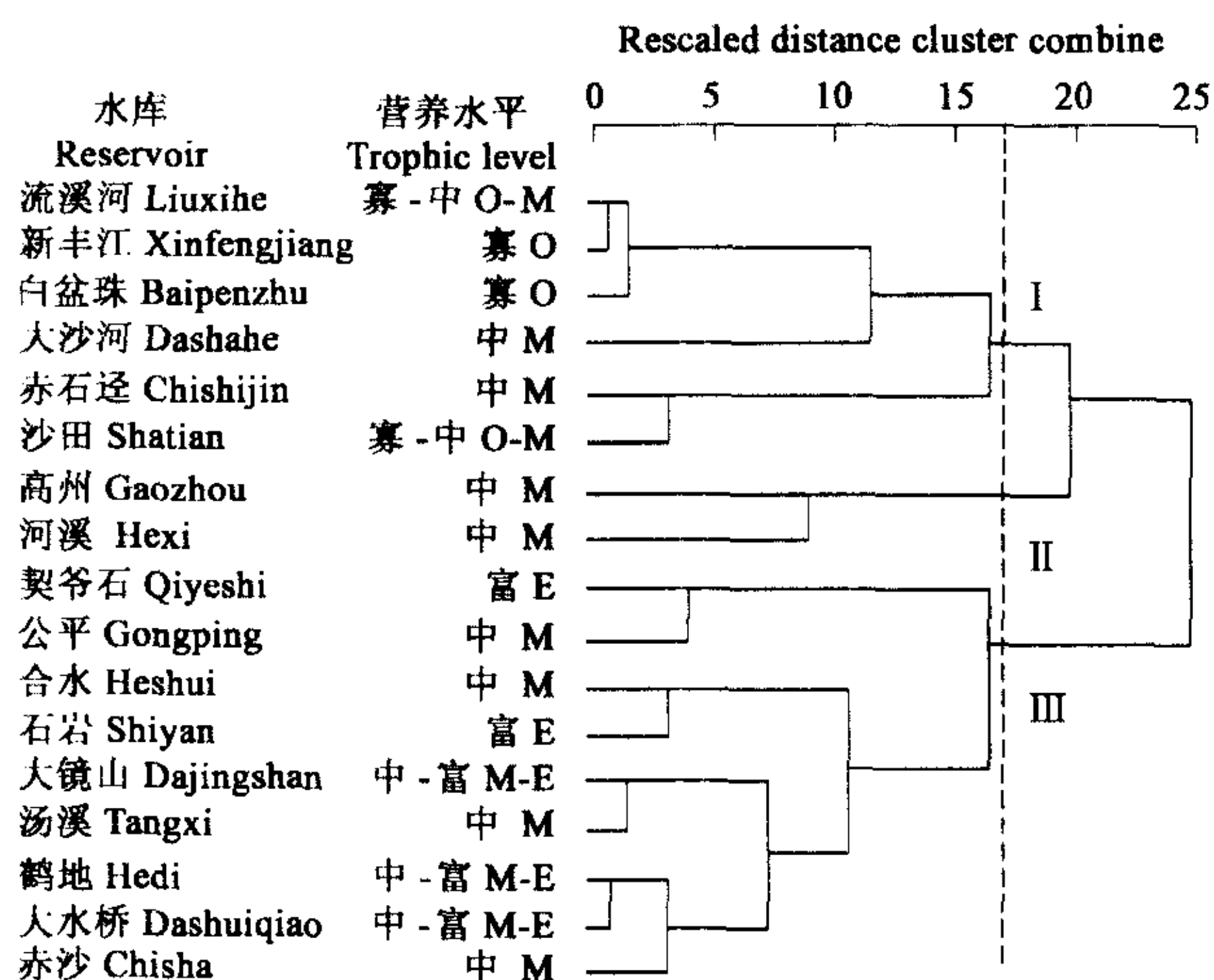


图5 根据轮虫组成对水库进行的聚类分析

Fig. 5 Cluster analysis of the investigated reservoirs based on rotifer composition



219.

- [14] Jose de Paggi S. Diversity of Rotifera (monogononta) in wetlands of Rio Pilcomayo National Park, Ramsar Site (Formosa, Argentina). *Hydrobiologia*, 2001, **462**: 25~34.
- [15] Segers H and De Meester L. Rotifera of Papua New Guinea, with the descriptions of a new Scardium Ehrenber, 1830. *Arch. Hydrobiol.*, 1994, **131**: 111~125.
- [16] Segers H and Dumont H J. 102 + rotifer species (Rotifera; Monogononta) in Broa reservoir (SP., Brazil) on 26 August 1994 with the description of three new species. *Hydrobiologia*, 1995, **316**: 183~197.
- [17] Segers H. Zoogeography of the Southeast Asian Rotifera. *Hydrobiologia*, 2001, **446/447**: 233~246.
- [18] Green J. The temperate-tropical gradient of planktonic Protozoa and Rotifera. *Hydrobiologia*, 1994, **272**: 13~26.
- [19] Straskraba M and Tundisi J G eds. *Guidelines of lake management* (Vol. 9): *Reservoir water quality management*. Shiga: International Lake Environment Committee Foundation, 1999.
- [20] Arndt H. Rotifers as predators on components of the microbial web (bacteria, heterotrophic flagellates, ciliates): a review. *Hydrobiologia*, 1993, **255/256**: 231~246.
- [21] Pejler B. Zooplanktic indicators of trophy and their food. *Hydrobiologia*, 1983, **101**: 111~114.
- [22] Maemets A. Rotifers as indicators of lake types in Estonia. *Hydrobiologia*, 1983, **104**: 357~361.
- [23] Berzins B and Pejler B. Rotifer occurrence and trophic degree. *Hydrobiologia*, 1989, **182**: 171~180.
- [24] Zhuge Y and Huang X F. Species succession and abundance dynamics of planktonic rotifers in the Donghu Lake, Wuhan. In: Liu J K ed. *Donghu Lake ecology study* ( I ). Beijing: Science Press, 1995.
- [25] Duggan C, Green J D and Shiel R J. Distribution of rotifers in North Island, New Zealand, and their potential use as bioindicators of lake trophic state. *Hydrobiologia*, 2001, **446/447**: 155~164.

#### 参考文献:

- [10] 韩博平,李铁,林旭钊. 广东省大中型供水水库营养现状与防治对策研究. 北京:科学出版社,2003.
- [24] 诸葛燕,黄祥飞. 东湖浮游轮虫的种类演替和数量动态. 见:刘建康主编. 东湖生态学研究(二). 北京:科学出版社,1995.