

新疆布伦托海轮虫群落结构及其与环境因子的关系*

杨丽丽¹, 周小玉¹, 刘其根^{1**}, 胡忠军¹, 王钰博¹, 江敏¹, 刘军², 李周永², 郝志才², 沈建忠³
(1: 上海海洋大学农业部水产种质资源与利用重点开放实验室, 上海 201306)
(2: 新疆维吾尔自治区福海县水产局, 福海 836400)
(3: 华中农业大学水产学院, 武汉 430070)

摘要: 本文于2006年秋至2008年夏, 对新疆布伦托海轮虫的群落组成、时空分布及其与环境因子的相关性进行了系统的调查。结果表明, 本次调查采集到布伦托海轮虫30种, 主要优势种有针簇多枝轮虫(*Polyarthra trigla*)、长三肢轮虫(*Filina longiseta*)、奇异六腕轮虫(*Hexarthra mira*)、方形臂尾轮虫(*Brachionus quadridentatus*)、矩形龟甲轮虫(*Keratella quadrata*)和螺形龟甲轮虫(*K. cochlearis*)。种类分布格局为: 大湖多于湖湾(如骆驼脖子, 73 km 小海子和中海子), 湖心区高于沿岸区; 但其密度和生物量却在骆驼脖子中达到最大, 而湖心区又高于沿岸区; 季节变化格局为: 在2006年秋季和2007年夏季达到高峰, 2006年冬季达最低; CCA分析表明, 温度、溶解氧和浮游植物生物量对针簇多枝轮虫等影响较大, 透明度、Chl. a、枝角类生物量对轮虫分布也有一定影响; 在季节变化中浮游植物生物量与轮虫生物量呈正相关性, 显示了对轮虫生物量影响的主导作用; 在空间变化中, 起竞争作用的枝角类和起捕食作用的剑水蚤生物量与轮虫生物量呈负相关性, 表明其对轮虫的下行效应起着主导作用。

关键词: 布伦托海; 轮虫; 时空分布; 生物入侵; 典范对应分析

Community structure of rotifer and its relation to environment factors in Lake Buluntuohai

YANG Lili¹, ZHOU Xiaoyu¹, LIU Qigen¹, HU Zhongjun¹, WANG Yubo¹, JIANG Min¹, LIU Jun, LI Zhouyong², HAO Zhicai² & SHEN Jianzhong³

(1: Key Laboratory of Aquatic Genetic Resources and Utilization (Ministry of Agriculture), Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, P. R. China)

(2: Aquatic Bureau of Fuhai of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Fuhai 836400, P. R. China)

(3: College of Fisheries, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, P. R. China)

Abstract: The spatial and temporal distribution of rotifers, together with various environmental parameters, in Lake Buluntuohai were investigated from autumn of 2006 to summer of 2008, and the relationship between the distribution pattern of rotifers and the environmental parameters was analyzed accordingly. The results showed that 30 taxa were recorded in total and the dominant species included *Polyarthra trigla*, *Filina longiseta*, *Hexarthra mira*, *Brachionus quadridentatus*, *Keratella quadrata* and *K. cochlearis*. Both the rotifer density and biomass displayed a clear seasonal pattern with two peaks in autumn of 2006 and in summer of 2007. The spatial dynamics of rotifers during the two years were characterized by two distinctive features: The maximums of rotifer density and biomass were recorded in one of the bays in the lake, called Luotuobozi, and the biggest number of species was identified in main water body, the open water in the lake. The density and biomass of rotifer were found to be in a decreasing order from sampling sites in the open water to eastern littoral zone and to western littoral zone. CCA results also showed that certain species, such as *Polyarthra trigla* were associated with water temperature, dissolved oxygen and the biomass of phytoplankton. The rotifer biomass in the lake was mainly determined by phytoplankton seasonally, while the biomass presents a negative relation with potential predators (cyclopida) and competitors (cladocera) that both dominated the rotifer biomass.

Keywords: Lake Buluntuohai; rotifer; temporal and spatial distributions; biological invasion; canonical correspondence analysis

* 新疆福海县人民政府和上海市重点学科项目(Y1101)资助。2010-11-30收稿;2011-03-03收修修改稿。杨丽丽, 女, 1986年生, 硕士研究生; E-mail: yanglilytjac@126.com.

** 通讯作者; E-mail: qgliu@shou.edu.cn.

轮虫是淡水浮游动物的重要组成部分,其作为捕食者和被捕食者,不但在经典食物网中起着连接藻类与高营养级的作用,而且还是连接微食物环与经典食物网的重要中间环节,因此在水体的物质循环和能量流动过程中发挥着十分重要的作用.此外,轮虫还是水体中重要的指示生物类群,在水污染评价和水体营养评价方面受到了国内外学者的广泛重视^[1-3].而同样重要但却较少受到关注的是,轮虫还是很多鱼类幼鱼的适口或开口饵料,因此轮虫数量的变动还可能会影响到这些鱼类幼鱼的成活率和天然鱼类资源的后代补充,从而对鱼类群落结构产生影响.特别是外来食浮游动物鱼类的引种所引起的对湖泊土著鱼类的影响的内在的机制是否涉及轮虫这一中间环节值得关注.

布伦托海是新疆北部地区的大型内陆湖,它与吉力湖共同构成了我国十大淡水湖之一的乌伦古湖,是新疆重要的渔业基地,同时在维护地区生态平衡方面也发挥着重要作用.然而,有关乌伦古湖布伦托海的相关生态学历史研究资料较少,而对其浮游动物包括轮虫的研究更少见.陈伟民等曾于1986年夏季对整个乌伦古湖(包括布伦托海)的浮游生物(包括轮虫)开展了初步的调查^[4],任慕莲、姜作发等曾于1986-1987年间对乌伦古湖的子湖吉力湖进行了较为系统的调查,其中包括对轮虫调查的相关资料^[5],而叶尚明等则于2001-2002年对布伦托海的水生生物资源进行了再次调查^[6].由此可见,有关布伦托海或整个乌伦古湖的历史研究资料是零星和不系统的,而且自陈伟民等的初次调查至今,布伦托海的生态系统已发生了很大的变化,主要是在1991年前后食浮游动物鱼类池沼公鱼被引入该湖,并很快成为优势种,其产量最高时曾达1800 t以上,至今仍在湖泊鱼产量中占到40%以上,这种外来食浮游动物鱼类占优势的情况必然会影响到轮虫群落组成及其时空变动.

为此,本文于2006至2008年分季度对布伦托海的轮虫开展调查,通过分析轮虫的群落结构、生物量和物种多样性变化及其水质状况,为布伦托海开发、利用及其环境演化,以及了解池沼公鱼引种对湖泊的影响等提供一定的参考依据.

1 材料与方法

1.1 研究地概况

乌伦古湖布伦托海(46°51' - 47°25'N, 87°01' - 87°35'E)位于我国西北地区准噶尔盆地北部、新疆维吾尔自治区福海县境内,面积745 km²,平均水深8 m,2006-2007年总氮年平均值为0.856 ± 0.205 mg/L,总磷年平均值为0.028 ± 0.033 mg/L,叶绿素a年平均值为3.59 ± 18.34 mg/m³^[7],属微咸水湖泊,是北疆最大的内陆封闭型湖泊.

1.2 样点设置与方法

根据地表水监测技术规范(KI/T 91-2002)的有关规定^[8],于布伦托海设置25个采样点,从2006年11月至2008年7月按季度采样.采样点分布如图1所示.轮虫定性定量的样品采集、记数、种类鉴定均按《淡水浮游生物研究方法》、《中国淡水轮虫志》等资料进行^[9-12].根据地表水环境质量标准推荐的方法,测定各水样的透明度(SD)、溶解氧(DO)、叶绿素a(Chl. a)、总磷(TP)、总氮(TN)和高锰酸盐指数(COD_{Mn})等^[8,13-14].

1.3 数据处理

优势度 $Y^{[15]}$ > 0.02 为优势种. $Y = N_i \times f_i / N$,其中, N_i 为第*i*种密度, N 为该群落总密度, f_i 为第*i*种在一年中出现的月份频率.用方差分析(ANOVA)来分析季节和水中轮虫生物量的区别,轮虫物种与

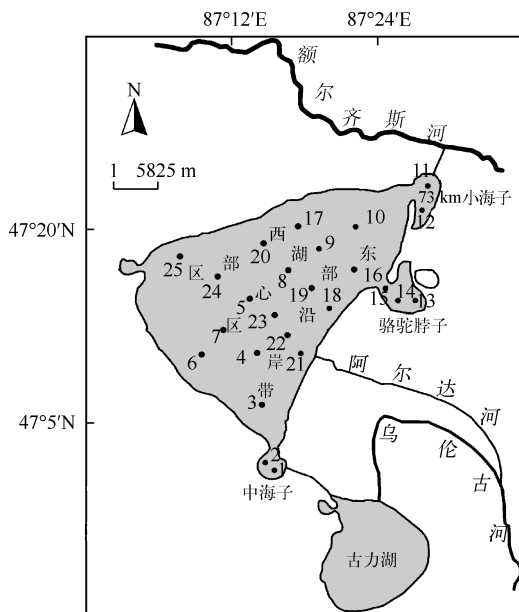


图1 布伦托海采样点分布图

Fig. 1 Sample stations in Lake Buluntuohai

环境因子的关系应用 CANOCO 4.0 进行典范对应分析(CCA).

2 结果

2.1 轮虫种类组成及其空间分布

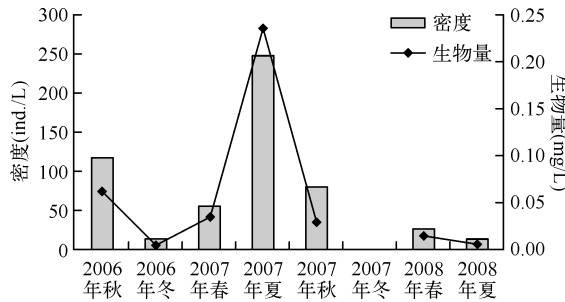


图2 新疆布伦托海轮虫密度和生物量的季节变化(2007年冬季水样在托运过程中损坏导致数据缺失)

Fig. 2 Seasonal variation in density and biomass of rotifer in Lake Buluntuohai

本次调查共发现轮虫 17 属 30 种. 根据优势度, 布伦托海的优势种有针簇多肢轮虫 (*Polyarthra trigla*)、长三肢轮虫 (*Filina longiseta*)、奇异六腕轮虫 (*Hexarthra mira*)、方形臂尾轮虫 (*Brachionus quadridentatus*)、矩形龟甲轮虫 (*Keratella quadrata*) 和螺形龟甲轮虫 (*K. cochlearis*).

布伦托海由大湖及三个湖湾(中海子、骆驼脖子和 73 km 小海子) 四部分水域组成, 根据对不同水域轮虫种类组成的分析可知, 大湖区轮虫种类最多, 达 25 种, 其次为 73 km 小海子, 达 16 种, 最少的是中海子, 12 种. 而从布伦托海的大湖区来看, 由于营养盐补给主要来源于东北部入湖水流和东部面源输入, 因此本研究又对布伦托海的大湖区按照从东部沿岸带、湖心区和西部沿岸

岸区这样一个营养梯度对轮虫组成进行分析发现, 湖心区轮虫的种类最多, 达 21 种, 东部和西部沿岸带相近, 分别为 15 种和 14 种.

2.2 轮虫的密度和生物量

布伦托海两年轮虫的密度和生物量相差很大, 2006 年秋至 2007 年夏, 轮虫的平均密度为 108.2 ind./L, 平均生物量为 0.085 mg/L; 2007 年夏至 2008 年夏, 轮虫的平均密度为 40.0 ind./L, 平均生物量为 0.017 mg/L.

2006 年秋至 2008 年夏, 布伦托海 8 个季节的轮虫密度和生物量在 2007 年夏季形成高峰, 密度为 247.6 ind./L, 生物量为 0.25 mg/L, 2006 年秋季和 2007 年秋季密度和生物量相差不多, 可见轮虫的高峰期在夏秋季节. 冬季的密度和生物量都达到全年的最低值, 2006 年冬季密度为 6.8 ind./L, 生物量为 0.0025 mg/L (图 2).

骆驼脖子点位轮虫的密度和生物量最高, 分别达 114.4、0.051 mg/L, 73 km 小海子和大湖的密度和生物量其次, 而中海子的密度和生物量最低, 分别为 54.1、0.028 mg/L (图 3a). 湖心区的密度和生物量都最大, 分别为 94.3 ind./L 和 0.051 mg/L, 其次为西部区的密度和生物量, 分别为 78.2 ind./L 和 0.0386 mg/L, 东部沿岸带轮虫的密度和生物量最小, 分别为 67.1 ind./L 和 0.032 mg/L. 东部沿岸带, 湖心区和西部区轮虫的种类的多少和密度和生物量的大小相一致 (图 3b).

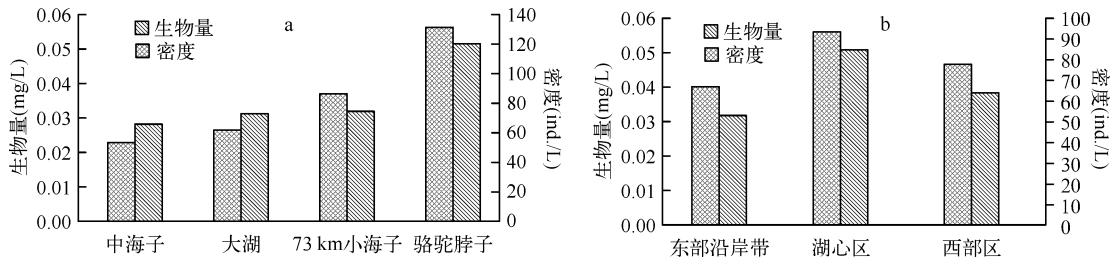


图3 新疆布伦托海轮虫密度、生物量的水平空间变化

Fig. 3 Spatial variation in density and biomass of rotifer in Lake Buluntuohai

2.3 轮虫密度、生物量与环境因子的相关性分析

2.3.1 轮虫物种与环境因子的 CCA 排序 布伦托海轮虫物种和环境因子的排序结果可以看出,前两个排序轴的特征值分别是 0.096 和 0.060,种类和环境因子排序轴的相关系数高达 0.942 和 0.831 (图 4),说明这 2 个排序轴的排序图能够反映乌伦古湖浮游甲壳动物物种与环境因子间的关系. SD 和 Chl. a 含量与第一轴的相关系数分别为 -0.5321 和 0.5757. DO、浮游植物生物量、温度和枝角类生物量与第二轴的相关系数分别为 0.4076、0.3302、0.5472 和 -0.6272;同时物种扁平泡轮虫、针簇多肢轮虫、矩形龟甲轮虫和奇异六腕轮虫与 DO、浮游植物生物量、温度呈正相关,长三肢轮虫与枝角类生物量呈正相关. 方形臂尾轮虫与 SD 呈正相关,而暗小异尾轮虫和螺形龟甲轮虫与 Chl. a 含量呈正相关 (图 4).

2.3.2 轮虫生物量与生物因素的关系

(1) 与浮游植物生物量、Chl. a 的时空分布关系:2006 年秋季轮虫生物量达到一个小高峰,冬季形成最低值,随着温度的缓慢升高,到 2007 年夏季达到最高值. 而浮游植物的生物量与轮虫生物量趋势相一致 (图 5). 中海子、73 km 小海子、大湖中 Chl. a 含量与轮虫生物量变化趋势相一致,而轮虫在骆驼脖子的生物量最高,而 Chl. a 含量相对较低 (图 6).

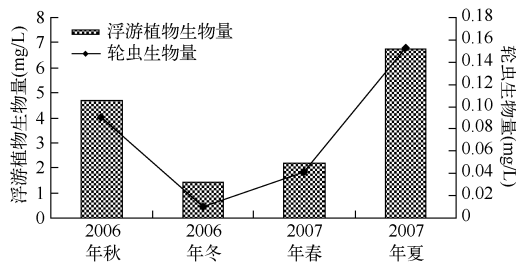


图 5 新疆布伦托海 2006 年秋至 2007 年夏浮游植物生物量与轮虫生物量的关系

Fig. 5 The relationship between biomass of phytoplankton and rotifer from autumn 2006 to summer 2007

(2) 与枝角类、剑水蚤的时空分布关系:2006 年秋,2006 年冬,轮虫与枝角类、剑水蚤的生物量呈相反的趋势,2007 年春至 2007 年夏都呈一致的关系,2007 年秋呈相反的趋势,2007 年冬数据缺失,2008 年夏季轮虫生物量与 2008 年春季相比略有上升,而枝角类和剑水蚤的生物量从 2008 年春季至夏季呈上升的趋势,即趋势相一致 (图 7 和图 8). 中海子、73 km 小海子、骆驼脖子和大湖中轮虫生物量与枝角类、剑水蚤生物量都呈相反的趋势,其中剑水蚤与轮虫的相反趋势更明显 (图 9).

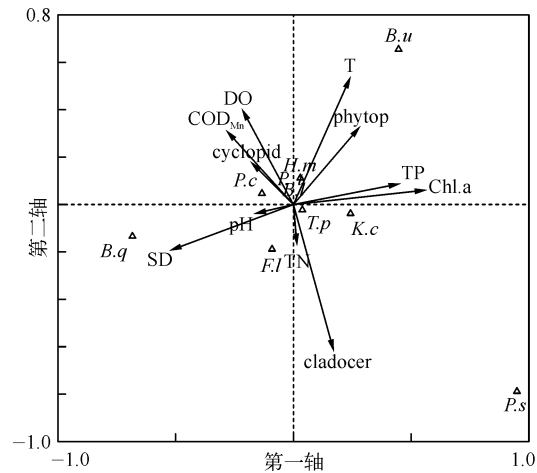


图 4 布伦托海轮虫物种和环境因子的 CCA 二维排序图 (P. r.: 针簇多肢轮虫, F. l.: 长三肢轮虫, P. c.: 扁平泡轮虫, H. m.: 奇异六腕轮虫, B. l.: 矩形龟甲轮虫, K. c.: 螺形龟甲轮虫, T. p.: 暗小异尾轮虫, B. q.: 方形臂尾轮虫, B. u.: 壶状臂尾轮虫, P. s.: 简单前翼轮虫, DO: 溶解氧, T: 温度, SD: 透明度, pH: 酸碱度, TN: 总氮, TP: 总磷, COD_{Mn}: 高锰酸钾指数, cladocer: 枝角类生物量, cyclopid: 剑水蚤生物量, phytop: 浮游植物生物量)

Fig. 4 CCA biplot of species-environment of rotifers' community in Lake Buluntuohai

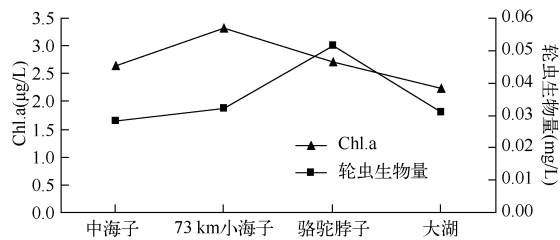


图 6 新疆布伦托海各湖区轮虫生物量与 Chl. a 含量的关系

Fig. 6 The relationship between Chl. a and biomass of rotifer in every part of Lake Buluntuohai

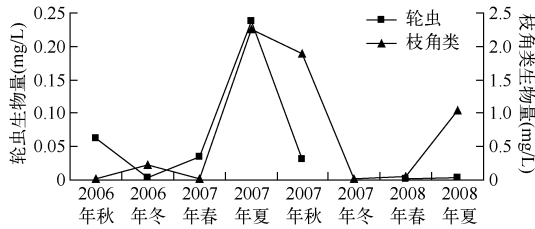


图7 新疆布伦托海2006年秋至2008年夏轮虫生物量与枝角类生物量的关系

Fig. 7 The relationship between biomass of cladocera and rotifer from autumn 2006 to summer 2008

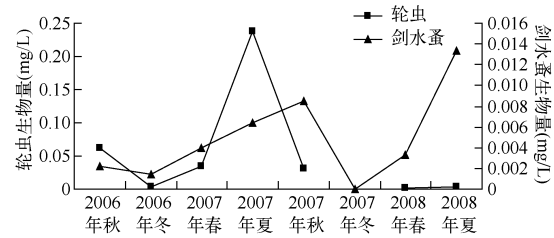


图8 新疆布伦托海2006年秋至2008年夏轮虫生物量与剑水蚤生物量的关系

Fig. 8 The relationship between biomass of cyclopida and rotifer from autumn 2006 to summer 2008

3 讨论

3.1 布伦托海轮虫的时空分布特点及与环境因子的关系

通过对布伦托海轮虫种类的调查研究共发现轮虫30种,大湖的轮虫种类数多于湖湾(骆驼脖子、73 km小海子和中海子),湖心区轮虫的种类数高于沿岸区,其中长圆疣毛轮虫(*Synchaeta pectinata*)和矩形龟甲轮虫(*Keratella quadrata*)属于浮游性轮虫种类,在湖心区大量出现.这可能是轮虫的行为习惯导致的;当处于沿岸时,它们的迁移的方向会引导它们从沿岸移到湖心区,以前大量的文献中也常常用“远离沿岸论”来描述浮游动物通常不在沿岸出现这个现象^[16].

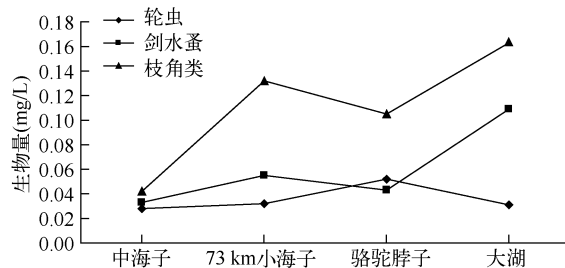


图9 新疆布伦托海各湖区轮虫、枝角类、剑水蚤的生物量的关系

Fig. 9 The relationship between biomass of rotifer, cladocera and cyclopida in every part of Lake Buluntuohai

轮虫的密度和生物量在季节变化中形成单高峰;在空间变化中,骆驼脖子达到最大,湖心区又高于沿岸区.形成这一时空分布特点的因素有很多,Devetter指出影响轮虫结构最重要的因素是总的物理和化学因素(67.3%),其次为竞争^[17].温度,溶解氧和pH值都是影响轮虫密度的主要物理化学因素^[18].布伦托海的pH值常年相差不大,而夏季的平均温度会达到26℃,温度升高,卵的发育时间缩短,种群周转加快,能够在短时间内形成轮虫的密度高峰^[19],但在许多水体分层的富营养化湖泊中,溶解氧的不足可以限制轮虫的生长^[20].本研究发现扁平泡轮虫(*Pompholyx complanata*)、针簇多肢轮虫、矩形龟甲轮虫(*Keratella quadrata*)和奇异六腕轮虫与温度、溶解氧呈正相关性.

布伦托海属于高原型湖泊,湖里水草较少,浮游植物为主要的第二生产力,它是浮游动物的饵料生物.在布伦托海中浮游植物生物量和轮虫的生物量随着季节的变化,趋势相一致,说明在季节变化中,上行效应对轮虫的生物量起着重要作用.轮虫处于生态系统食物网中的第二营养级,不仅受到浮游植物作为饵料生物的上行效应影响,还受到下行效应的影响.水体浮游动物中,轮虫和枝角类经常竞争相同的食物资源,占据相同的生态位.大型枝角类能够通过争夺食物资源等方式抑制轮虫种群的增长,甚至导致其消亡^[21].而桡足类是轮虫的捕食者,捕食轮虫的压力主要来自剑水蚤^[22].布伦托海2006年秋至2008年夏季,两年的秋冬季节轮虫生物量和枝角类、剑水蚤生物量都呈负相关的关系,在2007年春季和夏季呈正相关的关系,而2007年春季至夏季浮游植物生物量迅速增加,在2007年夏季形成最大值^[23].可以推断出在2007年春季至夏季浮游植物对轮虫的上行效应占主导作用,而在秋冬季节则是上行效应和下行效应共同作用.

由于生态系统空间的差异性,导致影响轮虫丰度的主要环境因子在不同区域是不同的^[24].布伦托海各

个湖区的 Chl. a 含量与轮虫的生物量趋势并不完全一致,而各个湖区轮虫的生物量与枝角类、剑水蚤的生物量完全呈相反的趋势,可以推断出下行效应可能对各个湖区轮虫的生物量影响起主导作用,并且剑水蚤对轮虫的捕食关系影响较大。

3.2 外来种池沼公鱼对轮虫群落结构的影响

国内外学者已从多方面证实了鱼类对大型浮游动物,特别是对大型甲壳动物的捕食。通常在同等能耗下鱼类优先选择个体较大的浮游动物^[25]。如果在同等大小的条件下,鱼类首先摄食枝角类,其次是哲水蚤,最后才选食剑水蚤^[26]。1959-1988年,乌伦古湖年平均鱼总产量为2102 t(表1)^[27],1986年全湖轮虫的平均密度为349.1 ind./L^[4],1991年引种移植和引水入湖后乌伦古湖布伦托海优势种由土著鱼类贝加尔雅罗鱼转变为外来种池沼公鱼^[28],据统计,1997-2001年,乌伦古湖年平均鱼总产量为3067 t,其中池沼公鱼年平均产量占40%,而2002-2006年,鱼平均总产量下降至2716 t,但池沼公鱼年平均产量占60%。2006年秋至2008年夏,全湖轮虫的平均密度下降至74.1 ind./L。池中优质种池沼公鱼多以浮游动物为食,主要是轮虫、枝角类、桡足类^[29],这可能就是导致十年后轮虫密度下降了78.8%的原因。周小玉等对乌伦古湖池沼公鱼的食性研究中发现,春季轮虫个数在池沼公鱼的肠道中达到最大值,夏季呈最低值[未发表数据],而池沼公鱼是集群活动的中上层亚冷水性鱼类,上限水温为29℃,产卵高峰期在4月初,水温3-5℃^[30],这可能是导致池沼公鱼种群数量在春季达到高峰,从而使轮虫数量在夏季形成高峰的原因之一。

表1 乌伦古湖鱼类产量的历史变动
Tab. 1 Variation history of main economic fish in Lake Ulungur

年份	池沼公鱼年均产量(t)	年均总产量(t)
1959-1988	0	2102
1989-1996	0	3237
1997-2001	1226.8	3067
2002-2006	1629.6	2716

4 参考文献

- [1] Saksena DN. Rotifers as indicators of water quality. *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica*, 1987, **15**(5): 481-485.
- [2] 李共国, 虞左明. 千岛湖轮虫群落结构及水质生态学评价. *湖泊科学*, 2003, **15**(2): 169-175.
- [3] 陈立婧, 顾静, 彭自然等. 溲湖轮虫群落结构与水质生态学评价. *动物学杂志*, 2008, **43**(3): 7-16.
- [4] 陈伟民, 周万平, 郭晓鸣. 新疆乌伦古湖的浮游生物. *中国科学院南京地理与湖泊研究所集刊*, 1988, **5**: 59-69.
- [5] 任慕莲. 新疆吉力湖的渔业. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 1990: 214-218.
- [6] 叶尚明, 苏德学, 刘栓等. 新疆乌伦古湖水生生物资源调查研究. *水利渔业*, 2004, **24**(2): 51-53.
- [7] 董攸, 江敏, 刘其根等. 乌伦古湖水质及营养水平调查. *上海水产大学学报*, 2008, **17**(5): 564-569.
- [8] KL/T91-2002, 地表水和污水监测技术规范. 国家环境保护总局, 2002.
- [9] 章宗涉, 黄祥飞. 淡水浮游生物研究方法. 北京: 科学出版社, 1991: 358-388.
- [10] Koste W. Rotatoria. Die Rädertiere Mitteleuropas. Berlin: Gebrüder Borntraeger, 1978: 673.
- [11] 王家楫. 中国淡水轮虫志. 北京: 科学出版社, 1961.
- [12] Sladack V. Rotifers as indicators of water quality. *Hydrobiology*, 1983, **100**: 169-2021.
- [13] GB3838-2002, 地表水环境质量标准. 国家环境保护总局, 2002.
- [14] 彭文彬, 刘红琪, 陈敬员. 两种分光光度法测定浮游植物叶绿素 a 的比对试验. *黄石高等专科学校学报*, 2002, **18**(3): 34-36.
- [15] 徐兆礼, 陈亚瞿. 东黄海秋季浮游动物优势种聚集强度与鲈鱼渔场的关系. *生态学报*, 1989, **8**(4): 13-15.
- [16] Preißler K. Do Rotifers show "avoidance of the shore"? *Oecologia*, 1977, **27**(3): 253-260.
- [17] Devetter M. Influence of environmental factors on the rotifer assemblage in an artificial lake. *Hydrobiologia*, 1998, **387/388**: 171-178.
- [18] Hofmann W. The influence of abiotic environmental factors on population dynamics in planktonic rotifers. *Arch Hydrobiol Beih Ergebn Limnol*, 1977, **8**: 77-83.
- [19] 王庆, 刘丽君, 杨宇峰. 南方某水库轮虫群落结构及其对环境因子的响应. *生态学报*, 2010, **30**(13): 3385-3395.
- [20] Herzig A. The analysis of planktonic rotifer populations; A plea for long-term investigations. *Hydrobiologia*, 1987, **147**:

- 163-180.
- [21] Gilbert JJ. Suppression of rotifer population by Daphnia: review of the evidence the mechaniss and the effects on zooplankton community structure. *Limnology and Oceanography*, 1988, **33**: 1286-1303.
- [22] 任晶晶, 林秋奇, 韩博平. 热带水库敞水区轮虫种类组成与数量结构——基于海南7座典型水库的分析. *湖泊科学*, 2010, **22**(2): 272-280.
- [23] 刘宇, 沈建忠, 李鸿等. 新疆乌伦古湖浮游植物群落结构. *湖泊科学*, 2009, **21**(6): 855-864.
- [24] 卢亚芳, 黄永春, 周立红. 杏林湾水库环境因子对浮游轮虫密度的影响. *上海水产大学学报*, 2002, **11**(3): 225-229.
- [25] Hall DJ, Threlkeld ST, Burns CW. The size-efficiency hypothesis and the size structure of zooplankton communities. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1976, **7**: 177-208.
- [26] Brooks JL. Eutrophication and changes in the composition of the zooplankton. In: *Eutrophication: causes, consequences, correctives*. National Academy of Sciences, 1969: 236-255.
- [27] 唐富江. 新疆乌伦古湖外来鱼类对河鲈入侵机制的研究[学位论文]. 重庆: 西南大学, 2008.
- [28] 阿达可白克·可尔江, 苏德学, 杨艳等. 乌伦古湖鱼类资源现状及保护与开发对策. *上海水产大学学报*, 2006, **15**(3): 309-314.
- [29] 张仁福, 陈利疆, 赵卫军等. 水库移植池沼公鱼试验. *淡水渔业*, 2001, **31**(1): 26-27.
- [30] 杨天祥, 孙健, 汪兆生等. 柴河水库池沼公鱼栖息规律的调查. *水利渔业*, 1998, (6): 31-32.