

## 一座抽水水库中中华窄腹剑水蚤种群动态及其对浮游甲壳类群落结构的影响<sup>\*</sup>

望 甜, 王晓辉, 韩博平<sup>\*\*</sup>

(暨南大学水生生物研究所, 广州 510632)

**摘 要:** 中华窄腹剑水蚤是中国河流中发现的土著种类, 具有较强的生态入侵能力, 通过从西江抽水进入大镜山水库, 成为该水库的优势浮游甲壳类。通过 2005–2006 两年的采样监测, 初步分析了该水库中中华窄腹剑水蚤的种群特征及其对浮游甲壳类的群落动态和结构的影响。两年共检出浮游甲壳类 13 种, 其中, 桡足类 4 科 7 属 9 种, 枝角类 3 科 4 属 4 种, 中华窄腹剑水蚤是水库的优势种。两年浮游甲壳类丰度的范围是 3.82–364.85 ind./L, 峰值出现在春季, 两年变化趋势相似。水库浮游甲壳类的体长分布范围为 0.07–1.25 mm, 主要由小个体的类群(体长在 0.07–0.4 mm 之间)组成, 个体较大(大于 0.5 mm)的枝角类和桡足类数量很低。中华窄腹剑水蚤和其无节幼体的丰度占甲壳类总丰度的 50% 以上, 其丰度的动态分布与浮游甲壳类的总体丰度的动态分布一致。中华窄腹剑水蚤主要以三种形式(无节幼体 I 期, 桡足幼体后期和成体)存在于水体中, 存活曲线呈 III 型, 无节幼体的丰度远高于后两者之和。该种类能成为水库优势种主要是由水库咸度变化剧烈水环境特征和其自身的生态学特点决定的。中华窄腹剑水蚤丰度与叶绿素 a 浓度具有显著正相关性, 与抽水入库量具有极显著的负相关性。作为一个生态入侵种类, 中华窄腹剑水蚤降低水体中浮游甲壳类生物多样性, 并替代了原来的土著优势种。

**关键词:** 中华窄腹剑水蚤; 浮游甲壳类; 优势种; 抽水水库; 大镜山水库

## Population dynamics of *Limnoithona sinenseis* and its effects on crustaceans in a pumped storage reservoir, South China

WANG Tian, WANG Xiaohui & HAN Boping

(Institute of Hydrobiology, Jinan University, Guangzhou 510632, P.R.China)

**Abstract:** *Limnoithona sinenseis* is considered as an endemic species in rivers of China with strong invasive ability. It was introduced to some reservoirs by pumping water and becomes the dominant species in the new water bodies. To understand the population dynamics of *Limnoithona sinenseis* and its effects on the pelagic crustaceans, we investigated Dajingshan reservoir, a typical pumped storage reservoir located in Zhuhai City, South China in 2005 and 2006. In total, 13 species of crustaceans including 9 copepods (4 family 7 genera) and 4 cladocerans (3 family 4 genera) were identified. *Limnoithona sinenseis* was dominant over the sampling periods. The abundance of the crustaceans ranged from 3.82 ind./L to 364.85 ind./L, with high abundance in spring. *Limnoithona sinenseis* and its nauplius covered more than 50% of the total abundance. The body size of crustacean community in the reservoir had a range from 0.07 mm to 1.25 mm, and small-size species (within 0.07–0.4 mm) was dominant. Population of *Limnoithona sinenseis* was mainly composed of stage I nauplii, copepodite stage and adults. Nauplii had a much higher abundance than copepodites and adults. The abundance of *Limnoithona sinenseis* was positively related to chlorophyll-a concentration, and negatively related to the pumped water volume. It meant that food was the principle factor affecting the animal population, and the animal had adapted well to its new habitat with relatively unconstant salinity, and its abundance was reduced by flushing of pumped water. As an invasive species, *Limnoithona sinenseis* had become the dominant species by replacing the former ones (*Mesocyclops*), and its high abundance reduced biodiversity of crustaceans.

<sup>\*</sup> 教育部博士点基金(20050559004)和国家自然科学基金(30670345)联合资助。2008–04–15 收稿; 2008–07–22 收修改稿。望甜, 女, 1982 年生, 博士研究生; E-mail: svalley@jnu.edu.cn.

<sup>\*\*</sup> 通讯作者; E-mail: tbphan@jnu.edu.cn.

**Keywords:** *Limnithona sinenseis*; pelagic crustaceans; dominant species; pumped storage reservoir; Dajingshan Reservoir

中华窄腹剑水蚤最早于 1912 年发现于长江三角洲流域<sup>[1]</sup>, 该种类被认为是仅存在于中国的区域性种类, 主要分布在我国热带、亚热带、温带和北方的河流地区, 如 1962 年珠江流域发现中华窄腹剑水蚤<sup>[2-3]</sup>. 20 世纪七八十年代, 我国几乎没有中华窄腹剑水蚤的研究报道. 蓝宗辉和杜联幕等分别在 1996 年和 1997 年在广东省韩江流域发现该种类<sup>[4-5]</sup>.

中华窄腹剑水蚤具有较强的入侵能力和生态适应性. 在 20 世纪八九十年代, 该种类由海船带到美国海湾河口区(如美国旧金山海湾河口区), 广泛入侵到很多淡水生态系统<sup>[6-7]</sup>; 入侵到新的水体后, 能在较短的时间内达到很高种群的密度, 对土著浮游生物群落造成很大危害<sup>[8]</sup>. 目前, 我国对中华窄腹剑水蚤的研究, 限于种群分布的基础调查, 对该种类本身的生物学特点及种群动态变化缺少系统研究, 尤其是对该种类的生物入侵后生态效应, 特别对其入侵以后对其他浮游甲壳类动态的影响还不清楚.

水库是通过在河流筑坝形成的水体, 与河流有很高的连通性, 水库浮游动物的组成与河流有较高的相似性<sup>[9]</sup>. 中华窄腹剑水蚤是河口区常见的种类, 一般情况下是很难进入水库等淡水体, 但在通江(河口)的水体能够维持一定种群数<sup>[10]</sup>. 在沿海地区, 为了增加水库的蓄水量, 常从其它河流抽水库, 这为中华窄腹剑水蚤提供了进入水库的机会. 大镜山水库位于热带北缘(或南亚热带), 是珠海市区和澳门行政特别区的重要供水水源. 通过对该水库的多年调查发现, 中华窄腹剑水蚤是该水库的浮游动物优势种. 该水库是一座中型抽水水库, 为保障咸潮期间供水安全, 在汛末从前山河和西江大量抽水入库, 这可能是中华窄腹剑水蚤进入水库的途径. 为了解中华窄腹剑水蚤在该水库中的分布及其对其甲壳类浮游动物的影响, 于 2005 年 1 月至 2006 年 12 月, 对该水体的浮游动物进行了采样, 并分析了以中华窄腹剑水蚤占优势的浮游甲壳类的特点.

## 1 材料与方法

### 1.1 水库概况

大镜山水库(图 1)(22°17'43.1"N, 113°32'59.4"E)总库容为  $12.10 \times 10^6 \text{m}^3$ , 正常库容为  $10.53 \times 10^6 \text{m}^3$ , 集雨面积为  $5.95 \text{km}^2$ , 正常蓄水位为 20.42m, 平均水深为 10.8m, 年调节水量为  $49.015 \times 10^6 \text{m}^3$ . 水库所处地区的降雨主要集中在 5-8 月份, 多年平均降雨量为 1991mm. 该水库无河流相连接, 入库水主要依靠集雨和从河流调水, 其调水河流为前山河和西江. 图 1A 为大镜山水库早期的抽水示意图, 抽水口设置在前山河道的南屏大桥处附近; 采样点位于靠近大坝的湖泊区的抽水附近(图 1B), 抽水入库主要发生在枯水期咸潮来临前<sup>[11]</sup>.

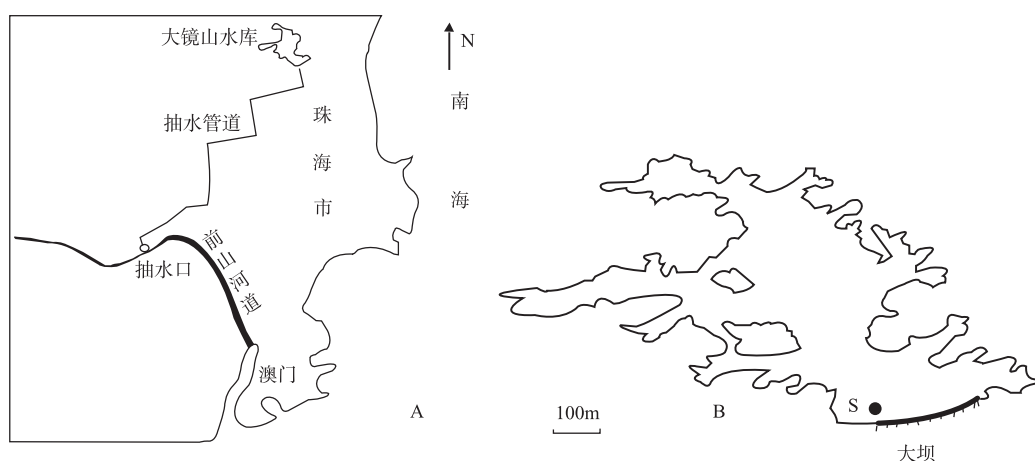


图 1 水库调水示意图及采样点的设置

Fig.1 Pumping water system and location of sampling site in Dajingshan Reservoir

1.2 采样时间和采样点的设置

2005 年 1 月至 2006 年 12 月, 共对大镜山水库的浮游甲壳类进行了 38 次监测. 2005 年采样频率为 2 次/月, 共采样 22 次; 2006 年, 3、4、5、6 月份采样频率为 1 次/月, 7-12 月份采样频率为 2 次/月, 全年共采样 16 次. 由于大镜山水库库区面积较小, 在靠近大坝的抽水口的附近设置了一个采样点 S(图 1).

1.3 浮游动物的采样与计数

定性甲壳类的采样是用 25#浮游生物网(64μm)在水中垂直拖网数次将收集的浮游生物装入小白瓶中加福尔马林固定. 定量甲壳类用 5L 有机玻璃采水器采水 50L, 用 25#网收集, 样品均加福尔马林进行固定<sup>[12]</sup>. 定量样品带回实验室浓缩到 5ml, 每次用移液枪取 0.5-1ml 在浮游动物计数板上, 在解剖镜下定量计数, 平行 3-5 次.

1.4 丰度与生物量的个体体重分布谱图绘制

按照甲壳类的个体体重(Body mass)把他们划分为 Wmin-2Wmin, 2Wmin-4Wmin, 这样的体重等级(size class), 然后用每个等级内的生物量取对数作为横坐标, 以它们的丰度(abundance)为纵坐标作图, 即为丰度-个体体重的生物量谱图<sup>[13]</sup>.

1.5 数据的处理

采用 SPSS13.0 进行统计分析.

2 结果与分析

2.1 大镜山水库的水质概况

大镜山水库是一座富营养化水体. 2005 年, TN 浓度的分布范围为 0.18-2.05mg/L, TP 浓度的范围为 0.01-0.084mg/L. 2006 年营养盐浓度与 2005 年相当, TN 浓度的分布范围为 0.63-1.79mg/L, TP 浓度的分布范围为 0.005-0.08mg/L. 水体水温较高, 全年水温不低于 15℃, 年均水温为 24℃. 两年有叶绿素 a 浓度的平均值分别为 31.02mg/m<sup>3</sup> 和 32.88mg/m<sup>3</sup>. 浮游植物的丰度较高, 全年一半以上的时间超过 10<sup>7</sup>cell/L, 浮游植物生物量在 1.08-20.45mg/L 之间. 湖泊假鱼腥藻(*Pseudanabaena limnetica*)、拟柱孢藻(*Cylindrospermopsis rackiborskii*)、湖丝藻(*Limnothrix redekei*)、多甲藻(*Peridinium*)、栅藻(*Scenedesmus*)、四角藻(*Tetradron*)、盘星藻(*Pediastrum*)等是浮游植物的主要优势种类<sup>[14-15]</sup>.

2.2 大镜山水库甲壳类的主要组成

在大镜山水库浮游甲壳类中, 两年共检出桡足类有 4 科 7 属 9 种; 枝角类 3 科 4 属 4 种, 共计浮游甲壳类 13 种(表 1).

表 1 大镜山水库浮游甲壳类的种类与相对丰度  
Tab.1 List of crustacean species and relative abundance in Dajingshan Reservoir

桡足类	2005 年	2006 年	枝角类	2005 年	2006 年
无节幼体 <i>Nauplii</i>	+++	+++	模糊秀体溞 <i>Diaphanosoma dubia</i>	+	+
桡足幼体 <i>Copepodite</i>	++	++	长额象鼻溞 <i>Bosmina longirostris</i>	++	++
球状许水蚤 <i>Schmackeria forbest</i>		+	颈沟基合溞 <i>minopsis deitersi</i>	+	+
舌状叶镖水蚤 <i>Phyllodiaptomus tunguidu</i>	+	+	隅齿尖额溞 <i>karus</i>	+	+
中华窄腹剑水蚤 <i>Limnoithona sisnensis</i>	+++	+++			
锯缘真剑水蚤 <i>Eucyclops serrulatus</i>		+			
近剑水蚤 <i>Tropocyclops sp.</i>	+	+			
台湾温剑水蚤 <i>Thermocyclops taihokuensis</i>	+	+			
温中剑水蚤 <i>Mesocyclops thermocyclopoides</i>	+	+			
<i>Mesocyclops ogunnus</i> <sup>[16]</sup>	+	+			
<i>Mesocyclops disssimilis</i> <sup>[16]</sup>	+	+			

在种类组成上,浮游甲壳类主要由哲水蚤、剑水蚤和枝角类构成。哲水蚤的多样性不高,只有舌状叶镖水蚤和球状许水蚤两种,球状许水蚤只在秋季出现,数量很少,水库中常年出现的哲水蚤只有舌状叶镖水蚤一种。剑水蚤是水库浮游甲壳类的优势类群。其中,中华窄腹剑水蚤是优势种并且在水体中周年出现。其它较常见的剑水蚤有中剑水蚤的种类和台湾温剑水蚤,它们也是周年出现,但丰度不高,以桡足幼体为主。

枝角类的种类比较贫乏,只有一些个体较小的枝角类种类,如模糊秀体蚤和长额象鼻蚤等,没有 *Daphnia* 属的种类。由于仅在水库中央的敞水区域进行采样,所采到的枝角类主要限于敞水浮游种类。而在浮游种类中,长额象鼻蚤是优势种且周年出现,模糊秀体蚤主要出现在夏季和秋季,隅形尖额蚤是在夏秋季出现较多。

### 2.3 丰度与个体大小分布

2.3.1 丰度 2005 年大镜山水库浮游甲壳类的丰度变化范围是 6.86–364.85 ind./L, 平均丰度为 131.44 ind./L。其中,桡足类包括无节幼体在内丰度变化范围是 6.86–361.85 ind./L, 丰度均值为 125.02 ind./L。枝角类丰度的变化范围是 0–35.75 ind./L, 丰度均值为 6.42 ind./L(图 2)。

就季节分布来看,春季的甲壳类丰度较高。2006 年浮游甲壳类丰度的动态特征与 2005 年相似,但较 2005 年有明显下降,其变化范围是 3.82–173.3 ind./L, 平均丰度为 70.83 ind./L。其中,桡足类包括无节幼体在内丰度变化范围是 0.73–71.8 ind./L, 平均丰度为 18.15 ind./L。枝角类丰度的变化范围为 0–24.6 ind./L, 平均丰度为 4.32 ind./L(图 2)。

在丰度的组成上,桡足类占优势。其中,无节幼体的相对丰度最高,两年的平均丰度占总丰度的 50% 以上。中华窄腹剑水蚤是甲壳类优势种,其成体占整个甲壳类丰度的 30% 以上。它的无节幼体 I 体型较小且在样品中数量很多,个体体长为 0.108 mm, 体宽为 0.063 mm, 而其它浮游甲壳类的无节幼体个体体长都在 0.135 以上。全年中中华窄腹剑水蚤和其无节幼体占甲壳类总丰度的 50% 以上(图 2)。

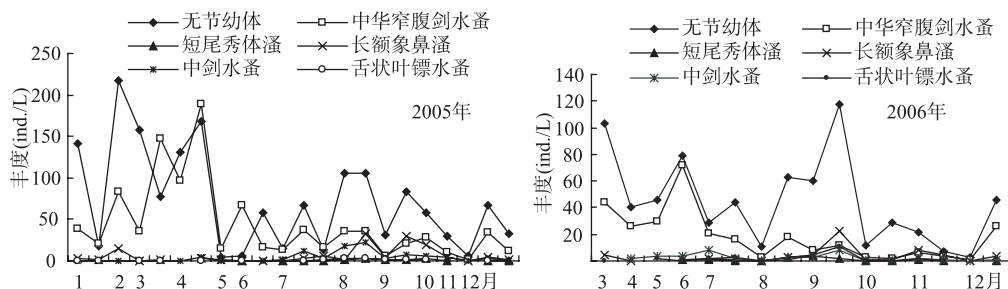


图 2 浮游甲壳类中优势类群的丰度

Fig.2 Abundance of the dominant groups and species

2.3.2 个体大小与个体大小依赖的丰度分布 体长是浮游动物重要的生理指标之一<sup>[17]</sup>,它直接影响着浮游动物的摄食能力和能量代谢速度,也是生物量的衡量指标。大镜山水库的浮游甲壳类的体长分布范围为 0.07–1.25 mm; 最小个体的类群为无节幼体,最大的个体为舌状叶镖水蚤。其中,无节幼体个体体长范围为 0.07–0.33 mm,中华窄腹剑水蚤的桡足幼体为 0.2–0.3 mm; 成体范围为 0.3–0.44 mm; 中剑水蚤范围为 0.4–0.71 mm; 舌状叶镖水蚤范围为 0.4–1.25 mm; 模糊秀体蚤的范围为 0.3–1 mm; 长额象鼻蚤和颈沟基合蚤的范围为 0.175–0.375 mm(图 3)。

从丰度与个体体重的分布(图 4)来看,丰度最高的是体重和个体较小的无节幼体、中华窄腹剑水蚤的成体以及桡足幼体,它们的体长都很小,这些种类或类群 2005 年的丰度要明显高于 2006 年。体长较大的种类,如中剑水蚤,舌状叶镖水蚤和秀体蚤等(体长约 0.5 mm 以上,  $\log_2$  生物量 > 0.5 以上),在水体中的丰度都很低,这些类群 2006 年的丰度要高于 2005 年。大镜山水库浮游甲壳类的数量主要由小个体的种类(体长在 0.07–0.4 mm 之间)组成,如无节幼体和中华窄腹剑水蚤,这是大镜山水库浮游甲壳类

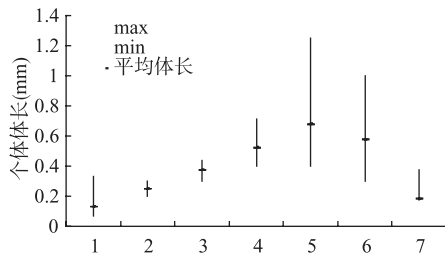


图3 优势浮游甲壳类的体长分布(1: 无节幼体; 2: 中华窄腹剑水蚤的桡足幼体; 3: 中华窄腹剑水蚤; 4: 中剑水蚤; 5: 舌状叶镖水蚤; 6: 秀体蚤; 7: 象鼻蚤和颈沟基合蚤)

Fig.3 Size distribution of the dominant crustaceans(1: naupliar; 2: copepodite stage of *Limnoithona sissensis*; 3: *Limnoithona sissensis*; 4: *Mesocyclops*; 5: *Phyllodiaptomus tunguidus*; 6: *Diaphanosoma*; 7: *Bosmina* and *Bosminopsis*)

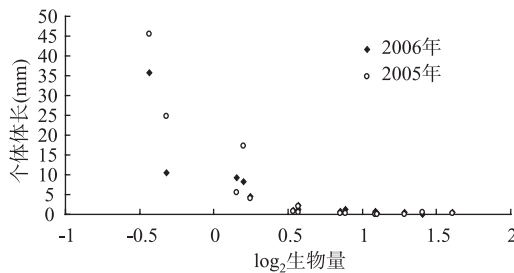


图4 浮游甲壳类丰度—个体体重分布

Fig.4 Average-abundance-body biomass distribution of the dominant crustaceans

身生态学特点两方面因素的所决。中华窄腹剑水蚤是广盐、广温性的种类，能够耐受较高的盐度<sup>[18-19]</sup>，属广温性中喜高温种类<sup>[20]</sup>。大镜山水库是一个全年水温较高(>15℃)的水体，且大镜山水库具有调咸作用，盐度变化比较剧烈并且在枯水季节盐度偏高，水库自2006年后盐度有所下降。因此水库的水环境有利于中华窄腹剑水蚤的生存，而不利淡水种类以及喜低温的浮游甲壳类种群的生存。

从食物来看，中华窄腹剑水蚤比其它甲壳类种类具有竞争优势。通常认为长腹剑水蚤科主要是捕食纤毛虫、自养和异养性的鞭毛虫、腰鞭毛虫以及无节幼体的杂食性种类<sup>[21-23]</sup>，食物种类广泛。窄腹剑水蚤属的种类还可以利用水体中的悬浮颗粒(主要是水生细菌)作为食物来源，与其它的浮游甲壳类相比，其食物生态位更宽<sup>[24-25]</sup>。

根据 Castellani 等的报道，长腹剑水蚤科的种类代谢率只有同体重的哲水蚤的 1/8<sup>[26]</sup>，在食物短缺的季节，中华窄腹剑水蚤比其它甲壳类更具有竞争优势。中华窄腹剑水蚤个体小、繁殖快、寿命短、幼体成活率低、成体存活率高，从繁殖策略来看，属 *r*-对策种类，能够迅速发展其种群，在短时间内达到很高丰度。

中华窄腹剑水蚤的体型窄细，体长小，单个个体的生物量为 0.48–1.58μg/L。从逃避捕食能力来看，中华窄腹剑水蚤较小的个体大大降低了其被滤食性鱼类捕食的机会。大镜山水库除了人工放养的鲢鱼、鳙鱼、罗非鱼、鲮鱼等种类外，还存大量的野杂鱼，依据 size-efficiency Hypothesis 的最小代价原则<sup>[27]</sup>，中华窄腹剑水蚤比其它的甲壳类面临的捕食压力要小得多。

组成的一个重要特征。

## 2.4 中华窄腹剑水蚤种群动态

大镜山水库中华窄腹剑水蚤主要以 3 种形式存在：无节幼体 I 期，体长约 0.125mm；桡足晚期幼体，体长约为 0.25–0.3mm；成体，体长约为 0.375–0.45mm。中华窄腹剑水蚤的丰度和生物量有一定的季节变化，春季较高。在中华窄腹剑水蚤的主要 3 种形式中，无节幼体的数量远远高于后两者之和，而晚期的桡足幼体和成体数量之比全年约在 1:1 左右，这说明中华窄腹剑水蚤的幼体远远大于成体的数量，幼体死亡率很高，而成体死亡率低，符合生态存活曲线的Ⅲ型。与 2005 年相比，2006 年中华窄腹剑水蚤的丰度和相对优势度均下降明显(图 5)。该水体中两年的动态变化相似，说明在大镜山水库中，影响中华窄腹剑水蚤季节动态的因素是稳定的。在前山河和西江的抽水口采样中发现中华窄腹剑水蚤，但在广东省其它水库中一直没有采到过样品，由此推断该种类应该是在由河流调水入库的过程中从河流入侵到大镜山水库的。

## 3 讨论

### 3.1 中华窄腹剑水蚤成为优势种的原因

大镜山水库浮游甲壳类的种类以小型个体为主。除了在生殖季节(9、10 月)外，体型较大的甲壳类的组成(如中剑水蚤、舌状叶镖水蚤)也是以较小的桡足幼体为主；枝角类主要由小个体的长额象鼻蚤和模糊秀体蚤组成。

在大镜山水库，中华窄腹剑水蚤成为绝对优势种，主要由该水库水环境特征和中华窄腹剑水蚤本



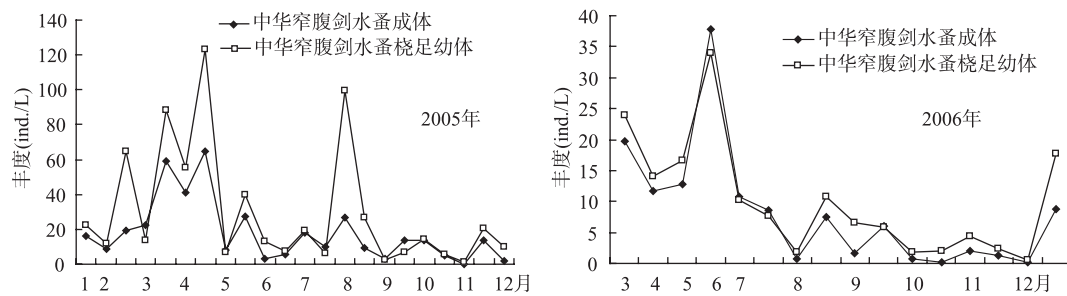


图 5 中华窄腹剑水蚤的丰度  
Fig.5 Abundance of *Limnithona sineis*

### 3.2 中华窄腹剑水蚤的种群数量动态及其对浮游甲壳类的影响

就中华窄腹剑水蚤(包括其无节幼体在内)在浮游甲壳类中的相对丰度来看,中华窄腹剑水蚤是水库中最主要的浮游甲壳类,2005年相对丰度为49.56%–99.3%,均值85.33%;2006年相对丰度为47.78%–92.67%,均值66.97%。在季节变化上,春季数量较高,在丰水期开始后,种群数量一直呈下降趋势。叶绿素a浓度与中华窄腹剑水蚤的丰度均有显著的正相关性( $r=0.563$ ,  $P<0.05$ ),而调入水量与中华窄腹剑水蚤的丰度有显著的负相关性( $r=-0.77$ ,  $P<0.01$ )。叶绿素a浓度能够反映浮游植物生物量的大小,浮游植物生物量对中华窄腹剑水蚤种群的丰度的影响可能是通过食物数量来实现的。虽然前山河和西江的抽水口处存在中华窄腹剑水蚤,但其丰度远小于水库中该种类的丰度,这说明大镜山水库中的中华窄腹剑水蚤种群主要靠水库内的自身种群维持的,并非主要来自于调水的种群数量补充,调水入库反而可能对中华窄腹剑水蚤的丰度具有稀释作用。水库与调水河流(前山河和西江)的中华窄腹剑水蚤丰度差异,表明大镜山水库已经形成了中华窄腹剑水蚤种群发展的有利条件。

作为入侵种类,中华窄腹剑水蚤对大镜山水库其它浮游甲壳类群落的组成和动态均产生了显著影响。其较高的优势度降低了浮游甲壳类的生物多样性,改变了水体浮游甲壳类的群落结构。就浮游甲壳类的种类丰富度来看,大镜山水库检出浮游甲壳类数(13种)明显低于同纬度地区的其它水库和湖泊<sup>[28-29]</sup>。梅溪水库是一座与大镜山水库相连接的山谷型水库,水库中没有中华窄腹剑水蚤,其浮游甲壳类的群落结构与大镜山水库不同,其生物多样性也明显高于大镜山水库。

大镜山水库浮游甲壳类在数量上主要是由中华窄腹剑水蚤和中剑水蚤构成。在广东大部分水体中,中剑水蚤是浮游甲壳类中最常见的类群,且常作为优势类群出现。但在大镜山水库中,中剑水蚤的相对丰度和生物量远低于中华窄腹剑水蚤。中华窄腹剑水蚤的完成生态入侵后成为优势种导致中剑水蚤优势度下降。但从统计分析上,两个种群没有明显的负相关性,这可能是由于频繁的抽水入库和调水供水,中剑水蚤等其他浮游甲壳类和中华窄腹剑水蚤的种间关系也会受到较为明显的影响。中华窄腹剑水蚤成为优势种后,由于其个体很小,行动反应迅速,不易被鱼类捕食,难以成为鱼类优先捕食的对象,间接增加了鱼类对其它浮游甲壳类尤其是对个体较大的枝角类的捕食强度,从而导致水体中较大的滤食性枝角类的种类少、丰度降低和个体小型化。

## 4 参考文献

- [1] 沈嘉瑞. 中国动物志·节肢动物门·甲纲·淡水桡足类. 北京: 科学出版社, 1979: 302-304.
- [2] 沈嘉瑞, 戴爱云. 江苏无锡五里湖的桡族类Ⅲ. 猛水蚤目. 动物学报, 1962, 14(3): 393-410.
- [3] 沈嘉瑞, 戴爱云. 江苏无锡五里湖的桡族类Ⅱ. 剑水蚤目. 动物学报, 1962, 14(2): 225-245.
- [4] 蓝宗辉, 杜连穆. 韩江浮游生物调查. 韩山师范学院学报, 1996, (3): 97-104.
- [5] 杜连穆, 蓝宗辉. 韩江中下游浮游生物研究. 华南师范大学学报(自然科学版), 1997, (3): 96-102.
- [6] Cohen AN. Ship's Ballast Water and the introduction of exotic organisms into San Francisco Estuary: Current status of the

- problem and options for management. San Francisco Estuary Institute, Richmond CA, 1998.
- [7] Orsi JJ, Ohtsuka S. Introduction of the Asian copepods *Acartiella sinensis*, *Tortanus destrilobatus* (Copepoda:Cyclopoida) to the San Francisco Estuary, California, USA. *Plankton Bio Ecol*, 1999, **46**: 129-131.
- [8] Frank DF, Janmes O. *Oithona davisae*, New species, and *Limnoithona sinensis* (Burckhardt, 1912) (Copepoda: Oithonidae) from the Sacramento-San Joaquin Estuary, California. *J Crust Biol*, 1984, **4**: 106-126.
- [9] Straskraba M, Tundisi JG, Duncan A. State of the art of reservoir limnology and water quality management. In: Straskraba M, Tundisi JG, Duncan A eds. Comparative reservoir limnology and water quality management. Netherland: Kluwer Academic Publishers, 1993: 213-288.
- [10] 陈伟明, 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. 湖泊科学, 1998, **10**(4): 10-16.
- [11] 韩博平, 冯远船, 刘正文. 广东省大镜山水库生态学与水质量管理研究. 广州: 广东科技出版社, 2006.
- [12] 章宗涉, 黄祥飞. 淡水浮游生物研究. 北京: 科学出版社, 1991.
- [13] 赵帅营, 韩博平. 基于个体大小的后生浮游动物群落结构分析: 以广东星湖为例. 生态学报, 2006, **8**: 2646-2654.
- [14] 李秋华, 韩博平. 基于 CCA 的典型调水水库浮游植物群落动态特征分析. 生态学报, 2007, **27**(6): 2355-2364.
- [15] 李秋华, 韩博平. 南亚热带调水水库春季浮游植物群落的结构与动态. 热带亚热带植物学报, 2007, **15**(4): 294-300.
- [16] Guo XM. Two new species of *Mesocyclops* from southern China and notes on the genus *Mesocyclops* in China. *Hydrobiologia*, 2000, **429**: 115-131.
- [17] Peters RH. The ecological implications of body size. Cambridge: Cambridge University Press, 1983.
- [18] 赖伟, 李逸平, 堵南山. 上海淀山湖浮游桡类群落组成与季节变动研究. 水生生物学报, 1987, **11**(2): 173-183.
- [19] 赵文, 王岩, 秦克静等. 晋南盐湖水域生物资源调查. 大连水产学院学报, 1998, **13**(3): 9-18.
- [20] 赵文, 姜宏, 何志辉. 三北地区内陆盐水的浮游甲壳类. 大连水产学院学报, 1996, **11**(1): 1-13.
- [21] Lampitt RS, Gamble JC. Diet and respiration of the small planktonic marine copepod *Oithona nana*. *Mar Biol*, 1982, **66**: 185-190.
- [22] Turner JT. Zooplankton feeding ecology: contents of fecal pellets of the cyclopoid copepods *Oncaea venusta*, *Corycaeus amazonicus*, *Oithona plumifera*, and *O. simplex* from the northern Gulf of Mexico. *PSZN I: Mar Ecol*, 1986, **7**: 289-302.
- [23] Tsuda A, Nemoto T. Feeding of copepods on natural suspended particles into Tokyo Bay. *J zoceanogr Soc Jpn*, 1988, **44**: 217-227.
- [24] Gonzales HE, Smetacek V. The possible role of the cyclopoid copepod *Oithona* in retarding vertical flux of zooplankton faecal material. *Mar Ecol Prog Ser*, 1994, **113**: 233-246.
- [25] Hollibaugh JT, Wong PS. Microbial processes in the San Francisco Bay estuarine turbidity maximum. *Estuaries*, 1999, **22**: 848-862.
- [26] Castellani C, Robinson C, Smith T *et al*. Temperature affects respiration rate of *Oithona similis*. *Mar Ecol Prog Ser*, 2005, **193**: 75-84.
- [27] Brooks JL, Dodson SI. Predation, body size, and composition of Plankton. *Science*, 1965, **150**: 28-35.
- [28] Lin QQ, Duan SS, Hu R *et al*. Zooplankton distribution in tropical reservoirs, South China. *Internat Rev Hydrobiol*, 2003, **88**(6): 602-613.
- [29] 赵帅营, 林秋奇, 刘正文等. 南亚热带富营养化浅水湖泊——星湖后生浮游动物的群落特征. 水生生物学报, 2007, **31**(3): 405-413.