

水库鱼类放养密度对浮游动物群落结构的影响

江孝军, 韩博平, 林秋奇

(暨南大学生态学系, 广东 广州 510632)

摘要: 以南亚热带地区 2010 年 3 座不同养殖密度的和龙水库、百花林水库、芙蓉嶂水库为对象, 研究了浮游动物群落的结构特征, 分析和探讨滤食性鱼类捕食对浮游动物群落结构的影响。3 座水库浮游动物生物量均较低, 不超过 1.0 mg/L。高养殖密度、富营养水平的和龙水库浮游动物生物量显著低于其它 2 座水库, 中等养殖密度、富营养水平的百花林水库则高于低养殖密度、贫-中营养水平的芙蓉嶂水库。和龙水库浮游动物全年以轮虫为主要优势类群, 优势种为前节晶囊轮虫(*Asplanchna priodonta*); 芙蓉嶂水库和百花林水库 3 月和 12 月浮游动物以枝角类为优势类群, 优势种为长额象鼻溞(*Bosmina longirostris*)、颈沟基合溞(*Bosminopsis deitersi*)、模糊秀体溞(*Diaphanosoma dubium*), 8 月为桡足类, 优势种为舌状叶镖水蚤(*Phyllodiaptomus tunguidus*)。3 座水库年均浮游动物与浮游植物生物量比值均小于 0.1, 与年渔获量呈显著负相关关系。高强度的滤食性鱼类捕食使得下行效应比上行效应更强烈, 浮游动物表现出低生物量和小个体种类占优势的特征。

关键词: 鱼类密度; 浮游动物; 群落结构

中图分类号: Q178.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-3075(2013)01-0030-07

浮游动物群落结构主要受捕食与可利用食物的影响, 随着水体营养水平的增加, 浮游植物生物量增加, 浮游动物的生物量相应也增加(Hanson & Peters, 1984; Urabe & Sterner 1996; Ostojić, 2000; Jeppesen et al, 2000); 但随着鱼类捕食压力的增加, 浮游动物生物量降低, 同时由于鱼类对浮游动物的选择性捕食, 造成浮游动物在种类组成上以小型种类占优势(Brooks & Dodson, 1965; Carpenter et al, 1985)。营养盐增加所导致的上行效应和鱼类捕食所导致的下行效应, 两者之间究竟哪个效应对浮游动物群落结构的影响更大, 取决于水体生态系统的结构。Crisman & Beaver(1990)的试验结果表明, 在无鱼(去除鱼)的情况下, 枝角类和桡足类的丰度增加了几个数量级, 并随营养盐水平的增加而增加。在自然水体中, 鱼类的捕食压力与水体的营养水平有关; 低营养水平条件下, 由于食物的限制, 浮游动物种群数量也处于很低的水平, 此时即便是低强度的鱼类捕食也足以改变浮游动物群落结构; 而在高营养水平条件下, 浮游动物不受食物的限制, 需要更高强度的鱼类捕食才能改变浮游动物群落结构

(Scheffer et al, 1997)。Nicolle 等(2011)证实了即便水体存在高密度的可利用食物, 高密度幼鱼的强烈捕食仍导致浮游动物生物量下降, 表明浮游动物群落结构受鱼类捕食比食物的影响更大。在鱼类捕食压力较低的水体中, 上行效应可能更强, 而在鱼类捕食压力较高的水体中, 上行效应则可能减弱。

温带地区浮游动物的季节变化较为明显, 春季较低的鱼类捕食压力使大型滤食性枝角类种群数量迅速增加, 浮游动物对浮游植物的强烈摄食使水体出现一段时间的“清水期”; 到了夏季, 由于食物短缺, 大型枝角类的数量开始下降, 同时期鱼类孵化出一批新的幼鱼, 增加了对浮游动物的捕食压力, 浮游动物以小型种类占优势; 秋、冬季水温开始下降, 鱼类活动降低, 对浮游动物的捕食压力也降低, 浮游动物向大型种类发展(Lampert et al, 1986; Sommer et al, 1986; Luecke et al, 1990)。我国热带地区的水产养殖特别是以鲢、鳙等滤食性鱼类为主的养殖密度较高(Xie & Yang, 2000), 对浮游动物的捕食压力较高(杨柳等, 2008; 任晶晶等, 2010)。浮游动植物的生物量比值(Zoo/Phyto)作为反映鱼类对浮游动物的捕食压力指标, 鱼类对浮游动物的捕食降低了浮游植物被牧食的压力, 加上营养盐的快速循环, 浮游植物生物量增加, Zoo/Phyto 比值降低(Vanni & David, 1990; Vanni & Layne, 1997); 与温带不同, 热带地区水温常年较高, 鱼类活动增强并持续时间长, 导致鱼类对浮游动物的捕食压力全年均较高(赵帅营

收稿日期: 2012-12-28

基金项目: 广东省水利厅科技创新项目(2009-22); 国家自然科学基金项目(31170437)。

通讯作者: 林秋奇。E-mail: tlinqq@jnu.edu.cn

作者简介: 江孝军, 1986 年生, 男, 硕士研究生, 研究方向为浮游动物生态学。E-mail: jiangxiaojun1986@hotmail.com

和韩博平,2006;赵帅营等,2007)。本文研究人为调控的鱼类放养密度导致的捕食压力变化对浮游动物群落结构的影响。

1 材料和方法

选取广东省不同鱼类养殖密度的 3 座水库作为研究对象(表 1)。以总磷(TP)为营养状态指数,TP < 7.9 μg/L 为贫营养,TP = 8 ~ 11 μg/L 为贫 - 中营养,TP = 12 ~ 27 μg/L 为中营养,TP = 28 ~ 39 μg/L 为中 - 富营养,TP ≥ 40 μg/L 为富营养(Vollenweider & Kerekes, 1982)。芙蓉嶂水库(23°29' N,113°13' E)属于贫 - 中营养水平,鱼类密度最低;和龙水库(23°17' N,113°22'E)属于富营养水平,鱼类密度为 3 座水库中最高;百花林水库(23°18' N,113°47' E)属于富营养水平,鱼类密度介于芙蓉嶂和和龙水库之间。3 座水库鱼类养殖的品种主要为鲢、鳙,通常在每年的 3 月左右投放鱼苗,放养规格为 3 cm 左右,到 11 月左右捕鱼。

表 1 水库概况

Tab. 1 Limnological variables of three reservoirs

水库	库容/ 万 m ³	平均水深/ m	总磷/ μg · L ⁻¹	鱼类密度/ kg · hm ⁻²
芙蓉嶂	2 206	22.6	10	28
百花林	856	10.5	40	214
和龙	1 824	12.5	40	694

注:水文数据由当地水库管理单位提供,鱼类密度由 2010 年单位面积鱼类捕获量表示。
Note:The limnological data was provided by local reservoir management stations, fish densities were indicated by per hectare of annual fish yield in 2010.

于 2010 年 3 月、8 月和 12 月对 3 座水库进行采样。用 YSI-85 型水质仪现场测定水体表层温度(T),萨氏盘测定透明度(SD)。叶绿素 a(Chl-a)用丙酮萃取方法进行测定。浮游动物定量样品的采集用 5 L 采水器分层采样,从表层每隔 1 m 采到底层,并用 38 μm 浮游生物网当场过滤,最后以终浓度为 4% 的甲醛固定保存。定量样品在实验室进行浓缩,并在解剖镜和显微镜下镜检计数,用体积法计算浮游动物生物量。为减少误差,浮游动物总计数需在 400 个以上。数据处理使用 SPSS 20.0 作单因素方差分析。本文仅研究轮虫、枝角类、桡足类 3 大类群的后生浮游动物,并以生物量或丰度最大的为优势类群,其中生物量或丰度最大的种类为优势种。

2 结果与分析

2.1 水温、透明度和浮游植物组成

富营养水平的和龙水库和百花林水库平均透明度分别为 1.13 m 和 0.74 m,叶绿素 a 浓度平均值分别为 26.63 μg/L 和 40.18 μg/L;贫 - 中营养水平的芙蓉嶂水库平均透明度为 2.23 m,叶绿素 a 浓度为 4.04 μg/L。3 座水库之间的水温没有显著差异,8 月的表层水温超过 30℃,3 月和 12 月的水温较为接近,在 18℃ 左右。由于 3 座水库中其他门类的藻类数量很少,本文仅选取常见的蓝藻、绿藻、硅藻和甲藻的生物量代表水体浮游植物的生物量。富营养水平的百花林水库 8 月和 12 月浮游植物均以蓝藻为主要优势类群,生物量优势种为丝状的拟柱孢藻;3 月浮游植物优势类群为硅藻。和龙水库 8 月的浮游植物以蓝藻占优势,优势种为丝状的假鱼腥藻和泽丝藻;3 月和 12 月则以硅藻为优势类群。芙蓉嶂水库 3 月浮游植物甲藻占优势,8 月和 12 月以绿藻为优势类群(图 1)。

2.2 浮游动物

2.2.1 浮游动物生物量与组成 3 座水库浮游动物的种类组成,轮虫主要为臂尾轮虫属、异尾轮虫属、龟甲轮属和晶囊轮属;枝角类主要为长额象鼻溞、颈沟基合溞、模糊秀体溞和微型裸腹溞,无大型枝角类;桡足类哲水蚤为舌状叶镖水蚤和锥肢蒙镖水蚤,剑水蚤则以台湾温剑水蚤为主(表 2)。总体上看,3 座水库的浮游动物生物量比较低,均不超过 1 mg/L。比较而言,百花林水库浮游动物生物量显著高于其它 2 座水库(P < 0.05);贫 - 中营养水平的芙蓉嶂水库浮游动物生物量是富营养水平的和龙水库的 5 倍左右。芙蓉嶂水库和百花林水库 8 月浮游动物生物量相对高于 3 月和 12 月;和龙水库则是 12 月相对高于其它 2 个季节(图 2)。芙蓉嶂水库和百花林水库 8 月浮游动物以桡足类为第一生物量优势类群,优势种类为舌状叶镖水蚤(Phyllodiaptomus tunguidus);3 月和 12 月均以枝角类为第一优势类群,优势类群为小型枝角类:长额象鼻溞(Bosmina longirostris)和颈沟基合溞(Bosminopsis deitersi)。和龙水库 3 月的浮游动物优势种为台湾温剑水蚤(Thermocyclops taihokuensis),8 月和 12 月均为前节晶囊轮虫(Asplanchna priodonta)。大型牧食性枝角类,如溞属各种类在 3 座水库中均未观测到。

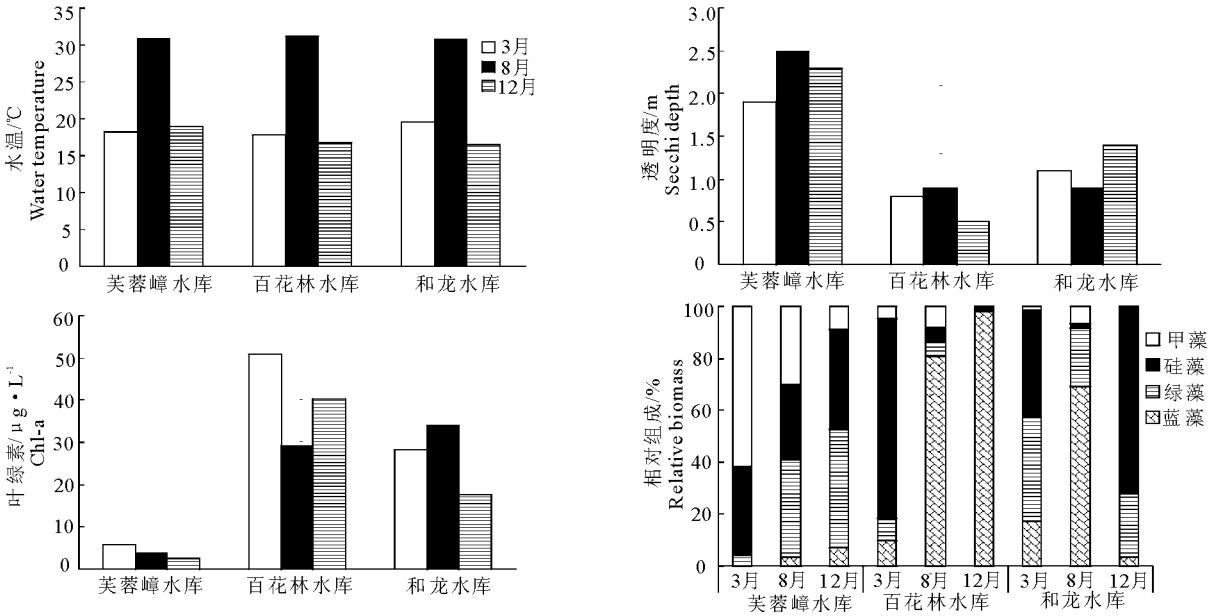


图 1 水温、透明度、叶绿素和浮游植物相对组成

Fig.1 Water temperature, secchi depth, chlorophyll a concentration and relative biomass composition of phytoplanktonand

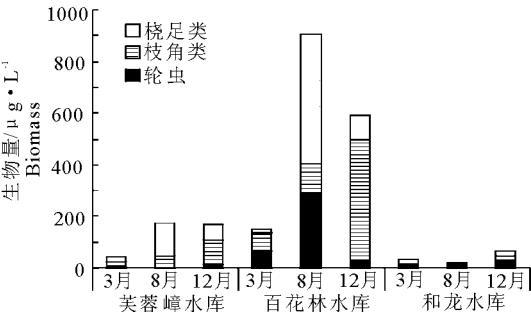


图 2 浮游动物生物量及其组成

Fig.2 Zooplankton biomass and relative composition

2.2.2 浮游动物丰度与组成 由图 3 可见,3 座水库中,百花林水库的浮游动物丰度最高,为其余 2 座水库的 10 倍以上,而芙蓉嶂水库略高于和龙水库。而从浮游动物丰度组成上看,3 座水库中总体上均以轮虫为丰度优势类群,仅芙蓉嶂水库在 8 月出现了以桡足类占优势的现象。

2.2.3 浮游动植物生物量比值 3 座水库浮游动植物的生物量比值总体很低,年均都低于 0.1 (图 4)。相对来讲,芙蓉嶂水库的浮游动植物生物量比值高于其它 2 座水库;贫 - 中营养水平的芙蓉嶂水库的浮游动植物生物量比值是富营养水平的百花林水库的 2 倍以上,远高于和龙水库;3 座水库 12 月的浮游动植物生物量比值均高于 3 月。

2.2.4 浮游动植物生物量比值与鱼类密度的关系 浮游动植物生物量比值与鱼类密度呈现极显著的

负相关性($R^2 = 0.9999, P = 0.006$) (图 5)。鱼类密度越高,鱼类对浮游动物的捕食压力越高,浮游动植物生物量的比值越小。

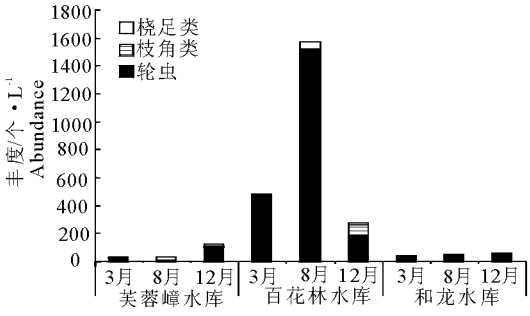


图 3 浮游动物丰度及组成

Fig.3 Zooplankton abundance and relative composition

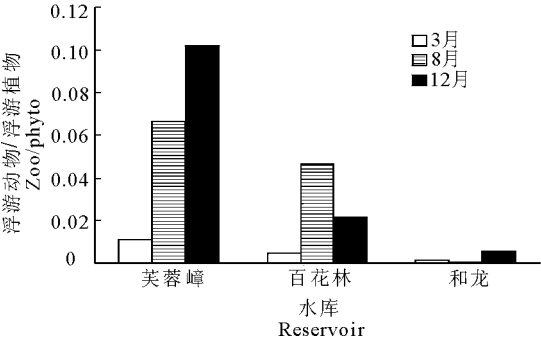


图 4 浮游动物与浮游植物的生物量比值

Fig.4 The biomass ratios of zooplankton to phytoplankton

表 2 3 座水库浮游动物种类组成

Tab.2 Species compositions of zooplankton in three reservoirs

种 类		和龙 百花林 芙蓉			种 类		和龙 百花林 芙蓉								
		水库	水库	嶂水库			水库	水库	嶂水库						
轮虫 Rotifera					红多肢轮虫 <i>Polyarthra remata</i>					-	+	+			
角突臂尾轮虫 <i>Branchionus angularis</i>					+	+	+	广布多肢轮虫 <i>Polyarthra vulgaris</i>					+	-	+
萼花臂尾轮虫 <i>Branchionus calyciflorus</i>					+	-	-	较大多肢轮虫 <i>Poluarthra major</i>					+	-	+
剪形臂尾轮虫 <i>Branchionus forficula</i>					+	+	-	郝氏皱甲轮虫 <i>Ploesoma hudsoni</i>					-	-	+
蒲达臂尾轮虫 <i>Branchionus budapestinensis</i>					+	-	-	截头皱甲轮虫 <i>Ploesoma truncatum</i>					+	+	+
镰状臂尾轮虫 <i>Branchionus falcatus</i>					+	-	-	尖尾疣毛轮虫 <i>Synchaeta stylata</i>					+	-	-
未定名 1 <i>Brachionus donneri</i>					-	-	+	长圆疣毛轮虫 <i>Synchaeta triquetra</i>					+	+	-
尾突臂尾轮虫 <i>Branchinus caudatus</i>					-	+	-	奇异六腕轮虫 <i>Hexarthra mira</i>					+	+	+
裂足臂尾轮虫 <i>Branchionus diversicornis</i>					+	+	-	臂三肢轮虫 <i>Filinia brachiata</i>					-	-	+
螺形龟甲轮虫 <i>Keratella cochlearis</i>					+	+	+	迈氏三肢轮虫 <i>Filinia maior</i>					+	+	-
热带龟甲轮虫 <i>Keratella tropica</i>					+	+	+	脾状三肢轮虫 <i>Filinia opoliensis</i>					-	-	-
未定名 2 <i>Keratella tecta</i>					+	+	+	独角聚花轮虫 <i>Conochilus unicornis</i>					-	-	+
裂痕龟纹轮虫 <i>Anuraeopsis fissa</i>					+	+	+	叉角拟聚花轮虫 <i>Conochilus dossuarius</i>					-	+	+
囊形腔轮轮虫 <i>Lecane bulla</i>					-	-	-	枝角类 Cladocera							
新月腔轮轮虫 <i>Lecane lunaris</i>					-	+	-	长额象鼻溞 <i>Bosmina longirostis</i>					+	+	+
精致腔轮轮虫 <i>Lecane elachis</i>					-	-	+	颈沟基合溞 <i>Bosminopsis deitersi</i>					+	+	+
罗氏异尾轮虫 <i>Trichocerca rousseleti</i>					+	+	-	微型裸腹溞 <i>Moina micrura</i>					+	-	+
对棘异尾轮虫 <i>Trichocerca similis</i>					+	+	+	角突网纹溞 <i>Ceriodaphnia cornuta</i>					-	-	+
长刺异尾轮虫 <i>Trichocerca longiseta</i>					+	-	+	奥氏秀体溞 <i>Diaphanosoma orghidani</i>					-	+	+
暗小异尾轮虫 <i>Trichocerca pusilla</i>					+	+	-	模糊秀体溞 <i>Diaphanosoma dubium</i>					+	+	+
圆筒异尾轮虫 <i>Trichocerca cylindrica</i>					+	+	+	桡足类 Copepoda							
刺盖异尾轮虫 <i>Trichocerca capucina</i>					+	+	-	锥肢蒙镖水蚤 <i>Mongolodiatomus birulai</i>					-	-	+
未定名 3 <i>Trhocerca ruttneri</i>					-	-	+	舌状叶镖水蚤 <i>Phyllodiatomus tunguidus</i>					-	+	+
鼠异尾轮虫 <i>Trichocerca rattas</i>					+	-	-	右突新镖水蚤 <i>Neodiatomus shcmackeri</i>					+	-	-
沟痕泡轮轮虫 <i>Pompholyx sulcata</i>					+	+	+	短尾近剑水蚤 <i>Tropocyclops prasinus breviamus</i>					-	-	+
前节晶囊轮虫 <i>Asplanchna priodonta</i>					+	+	+	博平近剑水蚤 <i>Tropocylops bopingi</i>					-	-	+
卵形无柄轮虫 <i>Ascomrpha ovalis</i>					+	+	-	台湾温剑水蚤 <i>Thermopocyclops taihokuensis</i>					+	+	+
真翅多肢轮虫 <i>Polyarthra euryptera</i>					-	-	+								

注:水库中存在对应的种时用“+”表示,没有则用“-”表示。

Note:Symbol “+” meant one specific species was detected in one specific reservoir, mark “-” if not.

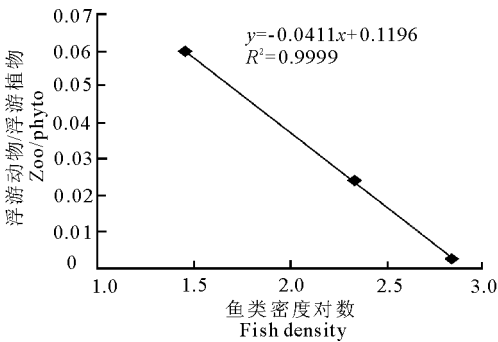


图 5 鱼类密度与浮游动植物年均生物量比值的线性回归

Fig.5 Linear fit between fish density and annual biomass ratio of zoo/phyto

3 讨论

3.1 浮游动物生物量

浮游动植物生物量比值显示,3 座水库的鱼类捕食压力总体上均较高(表 1、图 4)。Domaizon & Dévaux(1999)发现在平均水深超过 20 m,总磷含量

约为 30 μg/L 的超富营养 Villerest 水库中,200 kg/hm²为鱼类密度临界阈值,当白鲢密度超过这一阈值时,鱼类较高的捕食压力导致大型牧食性枝角类丰度下降。事实上,不论是在富营养还是贫营养水体中,鱼类对浮游动物的捕食压力都可以很高,而较浅水体中的鱼类捕食压力则相对更高(Jeppesen & Jensen,1997;Jeppesen et al,2003)。和龙、百花林 2 座水库的鱼类密度均超过 200 kg/hm²这一阈值,且平均水深都不超过 12 m,因此这 2 座水库的鱼类捕食压力均高于 Villerest 水库。浮游动植物生物量的比值随鱼类捕食压力升高而降低(Jeppesen et al,2003),特别在营养水平较高的水体,浮游植物对牧食压力的改变比对营养盐水平的变化更敏感。芙蓉樟水库的鱼类密度虽然仅为 28 kg/hm²,但较低的浮游动植物生物量比值、无大型牧食性枝角类而代以小型种类为主,均表明当前的鱼类捕食压力已足以阻止大型枝角类的出现。

Scheffer 等(1997)的研究结果表明,当蚤属种群数量由于食物限制而降低到一个极低的水平时,即使是相对较弱的鱼类捕食强度也足以阻止蚤属种群的恢复。3座水库的浮游动物生物量均较低,生物量不超过 1.0 mg/L。相对来说,百花林水库的浮游动物生物量最大,其次为芙蓉嶂,和龙水库最低。随着水体营养水平的增加,浮游动物的生物量增加(Ostojčić,2000),但浮游动物的生物量不仅受到食物条件的限制,同时还受鱼类捕食的影响,鱼类对浮游动物的捕食导致其生物量降低(Iglesias et al,2011)。鲢、鳙是3座水库中的主要养殖鱼类,具备较密的鳃耙,对枝角类、桡足类甚至轮虫有较强的抑制作用(Starling & Rocha,1990)。因此,富营养的百花林水库的浮游动物生物量高于贫-中营养的芙蓉嶂水库,而同为富营养水平的和龙水库,由于过高的鱼类捕食压力,导致浮游动物生物量反而比芙蓉嶂水库的低。

3.2 浮游动物群落结构

总体上看,3座水库的浮游动物主要以轮虫和小型甲壳类为主,哲水蚤仅在芙蓉嶂水库和百花林水库夏季时成为优势种,这归因于哲水蚤较强的游泳能力和滤食能力(Soto & Hurlbert,1991)。林秋奇等(2003)对广东省18座大中型水库的调查结果表明,鱼类捕食影响甲壳类浮游动物对营养盐的响应,导致浮游动物主要以世代周期较短的以及受鱼类捕食压力小的轮虫为主;Arcifa(1984)对巴西10座水库的研究表明,浮游动物主要由轮虫、象鼻蚤、基合蚤、桡足类幼体及无节幼体等小型种类组成,鱼类捕食导致浮游动物以轮虫和小型甲壳类为主;也有研究表明,即便是水体存在高密度食物的情况下,鱼类捕食仍会导致热带地区浮游动物生物量下降和较低的浮游动植物生物量比值,同时也导致浮游动物群落组成小型化(Havens & Beaver,2010);另外,热带地区的鱼类一般都存在生态位重叠(Lazzaro,1997),加之水温较高、鱼类活动季节长,导致鱼类对浮游动物的捕食压力整年均较高(Fernando,1994),持续而强烈的鱼类捕食导致浮游动物生物量低,影响浮游动物对营养盐增加的响应。

从浮游动物群落结构的季节变化来看,和龙水库浮游动物全年以轮虫为主要生物量优势类群;芙蓉嶂水库和百花林水库3月和12月浮游动物以小型枝角类为优势类群,8月为桡足类。根据食物的大小效率和浮游动物逃避捕食的能力,枝角类最容易被鱼类捕食,然后是桡足类,最后是轮虫(Eggers,

1977;Bohl,1982;Rajasilta & Vuorinen,1983;Winfield et al,1983);尤其是滤食性鱼类的捕食,直接导致了枝角类数量下降,水体中的浮游动物主要以轮虫和桡足类为主(Domaizon & Dévaux,1999)。刚孵化出的鱼苗(体长4~20 mm)一般为动物食性,能摄食轮虫、小型枝角类和桡足类无节幼体,而个体稍大一点的稚幼鱼(体长>20 mm)则已经能够摄食所有的浮游动物(Mehner & Thiel,1999);此外,稚幼鱼较快的新陈代谢率对食物需求很大,浮游动物在持续而强烈的鱼类捕食下,生物量急剧减少(Densen,2007)。这3座水库在3月左右投放鱼苗,致使鱼类捕食压力增加,而11月捕鱼后其捕食压力下降,导致百花林水库与芙蓉嶂水库12月的浮游动物生物量高于3月。

轮虫在多数水体中一般都是丰度优势类群,在热带和亚热带地区是一个普遍规律,尤其是水库(Nogueira,2001)。随着水体营养水平的增加,轮虫的丰度和生物量也增加(Pagano,2003);鱼类对枝角类和桡足类的选择性捕食以及轮虫较短的世代周期导致在鱼类密度较高的水体,轮虫在浮游动物群落组成中的比例较高(Makarewicz & Likens,1979;Sommer et al,1986)。因此,在鱼类捕食压力最低的12月,芙蓉嶂水库和百花林水库枝角类的比例最高,而在鱼类捕食压力最高的3月,枝角类的比例最低;而哲水蚤较强的游泳能力和滤食能力使其能够在8月的芙蓉嶂水库和百花林水库成为优势种,和龙水库高密度滤食性鱼类的强烈捕食导致浮游动物全年以轮虫为主要优势类群。在温带地区,由于水温导致水体中鱼类捕食压力的季节性改变,使得大型牧食性枝角类在春季和秋季具有较高的密度,而本文中3座水库由于全年较高的鱼类捕食压力,抑制了大型枝角类的出现。

参考文献

- 林秋奇,胡韧,段舜山,等.2003.广东省大中型供水水库营养现状及浮游生物的响应[J].生态学报,23(6):1101-1108.
- 任晶晶,林秋奇,韩博平.2010.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[J].湖泊科学,22(2):272-280.
- 杨柳,陈绵润,林秋奇,等.2008.一座热带高产渔业水库枯水期轮虫的群落组成与动态分析[J].湖泊科学,20(6):780-789.
- 赵帅营,韩博平.2006.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[J].生态学报,26(8):2646

- 2654.
- 赵帅营,林秋奇,刘正文,等.2007. 南亚热带湖泊-星湖后生浮游动物群落特征研究[J]. 水生生物学报, 31(3): 405-413.
- Arcifa M S. 1984. Zooplankton composition of ten reservoirs in southern Brazil[J]. *Hydrobiologia*, 113(1): 137-145.
- Arcifa M S, Northcote T G. 1986. Fish-zooplankton interactions and their effects on water quality of a tropical Brazilian reservoir[J]. *Hydrobiologia*, 139: 49-58.
- Bohl E. 1982. Food Supply and Prey Selection in Planktivorous Cyprinidae[J]. *Oecologia*, 53(1): 134-138.
- Brooks J, Dodson S. 1965. Predation, body size, and composition of plankton[J]. *Science*, 150: 28-35.
- Carpenter S, Kitchell J, Hodgson J. 1985. Cascading trophic interactions and lake productivity[J]. *BioScience*, 35(10): 634-639.
- Crisman T L, Beaver J R. 1990. Applicability of planktonic biomanipulation for managing eutrophication in the subtropics[J]. *Hydrobiologia*, 200-201(1): 177-185.
- Densen W L T. 2007. Feeding behaviour of major 0⁺ fish species in a shallow, eutrophic lake (Tjeukemeer, The Netherlands)[J]. *Journal of Applied Ichthyology*, 1(2): 49-70.
- Domaizon I, Dévaux J. 1999. Impact of moderate silver carp biomass gradient on zooplankton communities in a eutrophic reservoir. Consequences for the use of silver carp in biomanipulation[J]. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Serie III. Sciences de la Vie/Life Sciences*, 322(7): 621-628.
- Eggers D. 1977. The nature of prey selection by planktivorous fish[J]. *Ecology*, 58(1): 46-59.
- Fernando C H. 1994. Zooplankton, fish and fisheries in tropical freshwaters[J]. *Hydrobiologia*, 272(1-3): 105-123.
- Hanson J M, Peters R H. 1984. Empirical prediction of crustacean zooplankton biomass and profundal macrobenthos biomass in lakes[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 41(3): 439-445.
- Havens K E, Beaver J R. 2010. Composition, size, and biomass of zooplankton in large productive Florida lakes [J]. *Hydrobiologia*, 668(1): 49-60.
- Hurlbert S H, Mulla M S. 1981. Impacts of mosquitofish (*Gambusia affinis*) predation on plankton communities [J]. *Hydrobiologia*, 83: 125-151.
- Iglesias C, Mazzeo N, Meerhoff M, et al. 2011. High predation is of key importance for dominance of small-bodied zooplankton in warm shallow lakes: evidence from lakes, fish enclosures and surface sediments[J]. *Hydrobiologia*, 667(1): 133-147.
- Jeppesen E, Jensen J P, Jensen C, et al. 2003. The impact of nutrient state and lake depth on top-down control in the pelagic zone of lakes: a study of 466 lakes from the temperate zone to the arctic[J]. *Ecosystems*, 6(4): 313-325.
- Jeppesen E, Jensen J. 1997. Top-down control in freshwater lakes: the role of nutrient state, submerged macrophytes and water depth[J]. *Hydrobiologia*, 342/343: 151-164.
- Jeppesen E, Lauridsen T L, Mitchell S F, et al. 2000. Trophic structure in the pelagial of 25 shallow New Zealand lakes: changes along nutrient and fish gradients [J]. *Journal of Plankton Research*, 22(5): 951-968.
- Jeppesen E, Meerhoff M, Jacobsen B A, et al. 2007. Restoration of shallow lakes by nutrient control and biomanipulation - the successful strategy varies with lake size and climate [J]. *Hydrobiologia*, 581(1): 269-285.
- Lampert W, Fleckner W, Rai H, et al. 1986. Phytoplankton control by grazing zooplankton: A study on the spring clear-water phase[J]. *Limnology and Oceanography*, 31(3): 478-490.
- Lazzaro X. 1997. Do the trophic cascade hypothesis and classical biomanipulation approaches apply to tropical lakes and reservoirs? [DB/LO]//Verh. Int. Ver. Theor. Angew. Limnol./Proc. Int. Assoc. Theor. Appl. Limnol./Trav. Assoc. Int. Limnol. Theor. Appl, 26(2): 719-730.
- Luecke C, Vanni M, Magnuson J. 1990. Seasonal regulation of Daphnia populations by planktivorous fish: implications for the spring clear-water phase[J]. *Limnology and Oceanography*, 35(8): 1718-1733.
- Makarewicz J C, Likens G E. 1979. Structure and function of the zooplankton community of Mirror Lake, New Hampshire [J]. *Ecological Monographs*, 49(1): 109-127.
- Mehner T, Thiel R. 1999. A review of predation impact by 0⁺ fish on zooplankton in fresh and brackish waters of the temperate northern hemisphere[J]. *Environmental Biology of Fishes*, 56(1): 169-181.
- Nicollé A, Hansson L-A, Brodersen J, et al. 2011. Interactions between predation and resources shape zooplankton population dynamics[J]. *PloSone*, 6(1): e16534.
- Nogueira M G. 2001. Zooplankton composition, dominance and abundance as indicators of environmental compartmentalization in Jurumirim Reservoir (Paranapanema River), São Paulo, Brazil[J]. *Hydrobiologia*, 455(1): 1-18.
- Vollenweider R A, Kerekes J. 1982. Eutrophication of waters: monitoring, assessments and control [C]. OECD, Paris: 164.
- Ostojić A M. 2000. Effect of eutrophication on changes in the composition of zooplankton in the Grosnica Reservoir (Serbia, Yugoslavia)[J]. *Hydrobiologia*, 436: 171-178.

- Pagano M, Koffi M A, Cecchi P, et al. 2003. An experimental study of the effects of nutrient supply and Chaoborus predation on zooplankton communities of a shallow tropical reservoir (Lake Brobo, Côte d'Ivoire)[J]. *Freshwater Biology*, 48: 1379 – 1395.
- Rajasilta M, Vuorinen I. 1983. A field study of prey selection in planktivorous fish larvae[J]. *Oecologia*, 59: 65 – 68.
- Scheffer M, Sergio R, Kuznetsov Y A, et al. 1997. Seasonal dynamics of Daphnia and algae explained as a periodically forced predator-prey system[J]. *Oikos*, 80 (3): 519 – 532.
- Sommer U, Gliwicz Z M, Lampert W, et al. 1986. The PEG-model of seasonal succession of planktonic events in fresh waters[J]. *Archiv für Hydrobiologie*, 106 (4): 433 – 471.
- Soto D, Hurlbert S H. 1991. Long-Term Experiments on Calanoid-Cyclopoid Interactions[J]. *Ecological Monographs*, 61 (3): 245 – 266.
- Starling F L R M, Rocha A J A. 1990. Experimental study of the impacts of planktivorous fishes on plankton community and eutrophication of a tropical Brazilian reservoir [J]. *Hydrobiologia*, 200(1): 581 – 591.
- Urabe J, Sterner R. 1996. Regulation of herbivore growth by the balance of light and nutrients[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 93(16): 8465 – 8469.
- Vanni M J, Findlay D L. 1990. Trophic cascades and phytoplankton community structure[J]. *Ecology*, 71(3): 921 – 937.
- Vanni M J, Layne C D. 1997. Nutrient Recycling and Herbivory as Mechanisms in the “Top-Down” Effect of Fish on Algae in Lakes[J]. *Ecology*, 78(1): 21 – 40.
- Winfield IAN J, Peirson G, Cryer M, et al. 1983. The behavioural basis of prey selection by underyearling bream (*Abramis brama*) and roach (*Rutilus rutilus*)[J]. *Freshwater Biology*, 13: 139 – 149.
- Xie P, Yang Y. 2000. Long-term changes of Copepoda community (1957 – 1996) in a subtropical Chinese lake stocked densely with planktivorous filter-feeding silver and bighead carp[J]. *Journal of Plankton Research*, 22(9): 1757 – 1778.

(责任编辑 万月华)

Effect of Farming Fish Density on Zooplankton Community of Reservoirs

JIANG Xiao-jun, HAN Bo-ping, LIN Qiu-qi

(Department of Ecology, Jinan University, Guangzhou 510632, P. R. China)

Abstract: To assess the potential differences in predation impact on zooplankton by filter-feeding fish, zooplankton communities of three reservoirs with different fish densities and trophic levels in southern China were investigated. Zooplankton biomass was below 1.0 mg/L in the three reservoirs. Helong Reservoir, which was eutrophic and cultured with highest density of filter-feeding fish, its zooplankton biomass was significantly lower than that in the two other reservoirs. Baihualin Reservoir which was eutrophic with medium fish density, zooplankton biomass was much higher than Furongzhang Reservoir which was oligo-mesotrophic with low fish density. While zooplankton community was dominated by rotifera (*Asplanchna priodonta*) in Helong reservoir all year round. The zooplankton were dominated by cladocera (*Bosmina longirostris*, *Bosminopsis deitersi*, *Diaphanosoma dubium*) in March and December, and by copepoda (*Phyllodiaptomus tunguidus*) in August in Furongzhang and Baihualin. Biomass ratios of zoo/phyto was always below 0.1 in the three reservoirs and had a significantly negative correlation with annual fish catch. Consequently, high predation by filter-feeding fish caused low biomass and dominance in small-sized zooplankton species in these reservoirs.

Key words: fish density; zooplankton; community