

太湖贡湖湾大型浮游动物群落结构的季节变化

钟春妮¹, 杨桂军², 高映海², 王丽君²

(1. 无锡市太湖湖泊治理有限责任公司, 江苏 无锡 214016; 2. 江南大学环境与土木工程学院, 江苏 无锡 214122)

摘要:2006年7月至2007年6月对太湖贡湖湾大型浮游动物群落结构的季节变化进行了研究, 共鉴定出大型浮游动物35种, 年均密度为467个/L, 年均生物量为1.726 mg/L。贡湖湾大型浮游动物优势种为针簇多肢轮虫(*Polyarthra trigla*)和萼花臂尾轮虫(*Brachionus calyciflorus*); 其中, 针簇多肢轮虫年均密度为99个/L, 占大型浮游动物总数的22%, 萼花臂尾轮虫年均密度为49个/L, 占大型浮游动物总数的11%。相关分析表明, 轮虫数量与颗粒悬浮物浓度($r = -0.603, P < 0.05$)和桡足类生物量($r = -0.670, P < 0.05$)呈显著负相关; 枝角类数量与轮虫生物量($r = -0.606, P < 0.05$)显著负相关; 桡足类数量与水温($r = 0.596, P < 0.05$)和总磷($r = 0.596, P < 0.05$)呈显著正相关性, 与枝角类生物量($r = 0.776, P < 0.01$)极显著正相关。

关键词:太湖; 贡湖湾; 大型浮游动物; 群落结构

中图分类号:Q145 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2012)01-0047-06

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。贡湖湾是太湖东北部一个较大的湖湾, 为沉水植物控制的草型湖区(Qin, 2008)。野外调查观测显示, 随着近年来贡湖湾水体富营养化加剧, 其北部大片水草区的沉水植物群落在2006年基本消失, 只剩下零星的马来眼子菜(朱广伟, 2008)。贡湖湾水生植物群落的大面积消失必然引起水生态系统内其它生物群落结构的变化, 国内外有关太湖贡湖湾浮游动物群落对湖泊富营养化响应的研究很少(杨桂军等, 2008a)。本研究对贡湖湾大型浮游动物的种类组成、数量分布进行了为期1年的调查, 旨在了解贡湖湾大型浮游动物的群落结构特征及湖泊富营养化对其群落结构的影响。

1 材料与方法

1.1 采样点设置

贡湖湾是太湖北部一个湖湾, 面积约150 km², 平均水深为1.8 m。2006年7月至2007年6月, 在太湖贡湖湾布设1个采样点, 进行大型浮游动物和水体理化因子的现场调查。采样点布设如图1。采

样点定点采用Garmin公司生产的GPSL2型全球卫星定位系统。

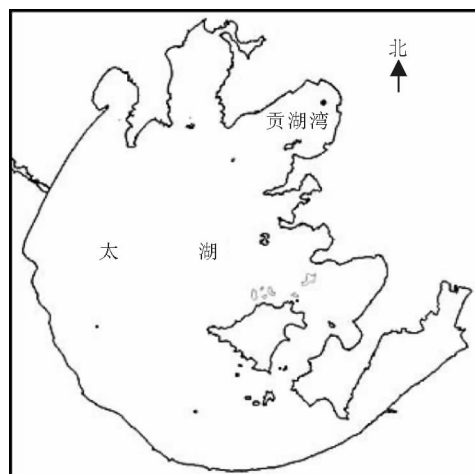


图1 采样站位示意

Fig.1 Map of sampling sites

1.2 样品采集与处理

每月采集1次样品。用长2 m的柱状采水器取5 L湖水, 然后用48 μm滤网过滤, 并将大型浮游动物装入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。每次采3个重复样。用柱状采水器采集湖水500 mL带回实验室, 按照《湖泊富营养化调查规范》中的方法(金相灿和屠清瑛, 1990)分析水化指标(TN和TP), 测定叶绿素a浓度。

1.3 大型浮游动物计数

轮虫种类的鉴定参照王家辑(1961)和诸葛燕(1997), 并在显微镜下进行分类与计数。浮游甲壳

收稿日期: 2011-11-21

基金项目: 水体污染控制与治理重大科技专项(2009ZX07101-013); 国家杰出青年基金项目(40825004)和湖泊与环境国家重点实验室开放基金项目(2008SKL012)联合资助。

通讯作者: 杨桂军。E-mail: yanggj1979@163.com

作者简介: 钟春妮, 1977年生, 女, 工程师, 硕士研究生, 研究方向为湖泊生态治理。E-mail: zhongchunni@sina.com

动物种类的鉴定参照沈嘉端(1979)、蒋燮治和堵南山(1979),并在显微镜下进行分类与计数。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,注入大型浮游动物计数框中,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 生物量计算

每一种大型浮游动物测量至少 30 个个体,桡足类的体积由相近的几何形状换算成生物量(陈雪梅 1981);枝角类的生物量根据体长-体重回归方程换算(黄祥飞和胡春英,1986)。轮虫生物量按照章宗涉和黄祥飞(1991)的方法算出体积,所有大型浮游动物按密度 1 mg/mm³ 进行换算。本文中的生物量均为湿重。

1.5 统计分析

对太湖贡湖湾大型浮游动物数量和生物量与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

2.1 理化条件

太湖贡湖湾年均水温为 18.6℃,最高 29.6℃,最低 5.1℃(图 2A)。叶绿素 a 浓度年平均为 13.02 μg/L,最高出现在 8 月份,浓度为 26.78 μg/L,最低叶绿素 a 浓度出现在 12 月份,其值为 3.19 μg/L(图 2B)。总氮和总磷年均值为

3.0 mg/L 和 0.108 mg/L,其季节变化情况如图 2C 和图 2D 所示。

2.2 大型浮游动物种类组成

整个调查期间,太湖贡湖湾共鉴定出 35 种大型浮游动物;其中,桡足类 6 种,枝角类 8 种,轮虫 21 种(表 1)。

2.3 大型浮游动物数量的季节变化

贡湖湾大型浮游动物的年均密度为 467 个/L;其中,轮虫、枝角类和桡足类数量占总大型浮游动物数量的比重明显不同,轮虫年均密度为 338 个/L,其占总大型浮游动物数量的 72.4%。在贡湖湾,枝角类和桡足类占总大型浮游动物数量的比重较小,分别为 9.5% 和 18.1%(图 3A)。

贡湖湾大型浮游动物数量在大部分时间里以轮虫占优势,其季节变化如图 4 所示。除了 3、4、7、11 月以外,其他月份都以轮虫占优势。在贡湖湾,大型浮游动物最高密度出现在 2007 年 2 月,密度为 1 025 个/L,其中轮虫密度达 1 016 个/L。大型浮游动物最低密度出现在 2007 年 3 月,密度仅为 121 个/L(图 4A)。

2.4 大型浮游动物生物量

贡湖湾大型浮游动物年均生物量为 1.726 mg/L。轮虫在数量上占绝对优势,然而由于轮虫个体比较小,生物量相对就小。轮虫、枝角类和桡足类生物量分别为 0.688、0.472 和 0.566 mg/L,其所占大型浮游动物总生物量比例分别为 39.9%、27.3% 和 32.8%(图 3B)。

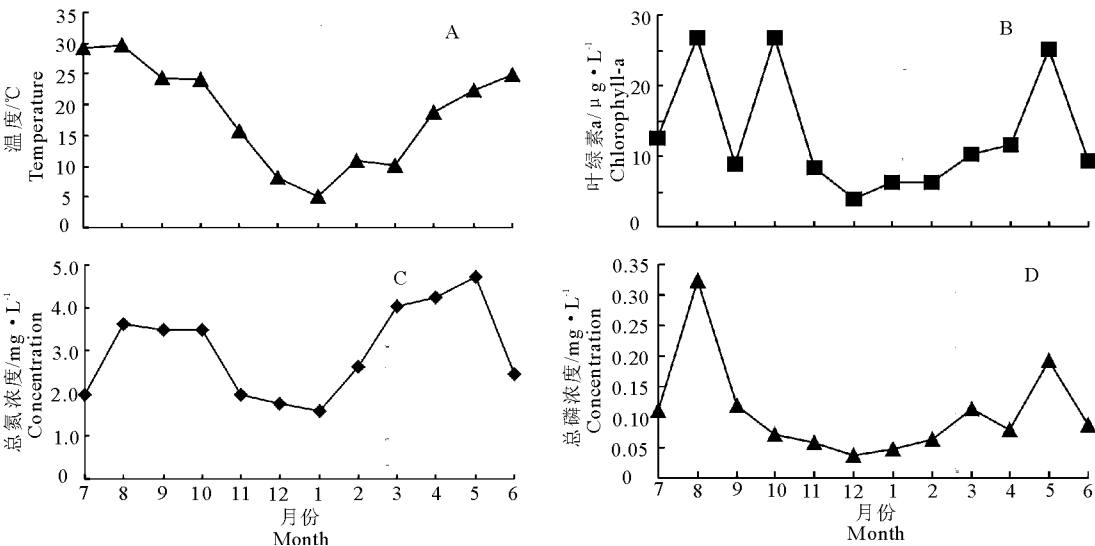


图2 贡湖湾 2006-07-2007-06 水温(A)、叶绿素 a(B)、总氮(C)和总磷(D)的周年变化
Fig. 2 Annual seasonal variation of water temperature(A), Chl-a(B), total nitrogen(C) and total phosphorus(D) in Gonghu Bay during Jul. 2006 – Jun. 2007

表1 贡湖湾浮游动物种类(2006-07-2007-06)

Tab.1 List of macrozooplankton species in Gonghu Bay during Jul. 2006 – Jun. 2007

桡足类 Copepoda	角突网纹溞 <i>Ceriodaphnia cornuta</i>	螺旋龟甲轮虫 <i>Keratella cochlearis</i>
英勇剑水蚤 <i>Cyclops strennus</i>	多刺裸腹溞 <i>Moina macrocopa straus</i>	矩形龟甲轮虫 <i>Keratella quadrata</i>
跨立小剑水蚤 <i>Microcyclops varicans</i>	矩形尖额溞 <i>Alona rectangula</i>	曲腿龟甲轮虫 <i>Keratella valga</i>
中剑水蚤 <i>Mesocyclops</i> sp.	轮虫 Rotifera	长三肢轮虫 <i>Filinia longiseta</i>
指状许水蚤 <i>Schmackeria inopinus</i>	尾突臂尾轮虫 <i>Brachionus caudatus</i>	梳状疣毛轮虫 <i>Synchaeta pectinata</i>
中华窄腹剑水蚤 <i>Limnithona sinensis</i>	角突臂尾轮虫 <i>Brachionus angularis</i>	细异尾轮虫 <i>Trichocerca gracilis</i>
汤匙华哲水蚤 <i>Sinocalanus dorrii</i>	萼花臂尾轮虫 <i>Brachionus Calyciflorus</i>	针簇多肢轮虫 <i>Polyarthra trigla</i>
枝角类 Cladocera	裂足臂尾轮虫 <i>Brachionus diversicornis</i>	义角聚花轮虫 <i>Conochilus dossuarius</i>
透明溞 <i>Daphnia hyalina</i>	剪形臂尾轮虫 <i>Brachionus farficula</i>	大肚须足轮虫 <i>Euehlalns dilatata</i>
僧帽溞 <i>Daphnia cucullata</i>	镰形臂尾轮虫 <i>Brachionus falcatus</i>	真足哈林轮虫 <i>Harringia cupoda</i>
长刺溞 <i>Daphnia longispina</i>	蒲达臂尾轮虫 <i>Brachionus budapestiensis</i>	没尾无柄轮虫 <i>Ascomorpha ecaudis</i>
长额象鼻溞 <i>Bosmina longirostris</i>	壶状臂尾轮虫 <i>Brachionus urceus</i>	郝氏皱甲轮虫 <i>Ploesoma hudsoni</i>
短尾秀体溞 <i>Diaphanosoma brachyurum</i>	卜氏晶囊轮虫 <i>Asplanchna brightwelli</i>	

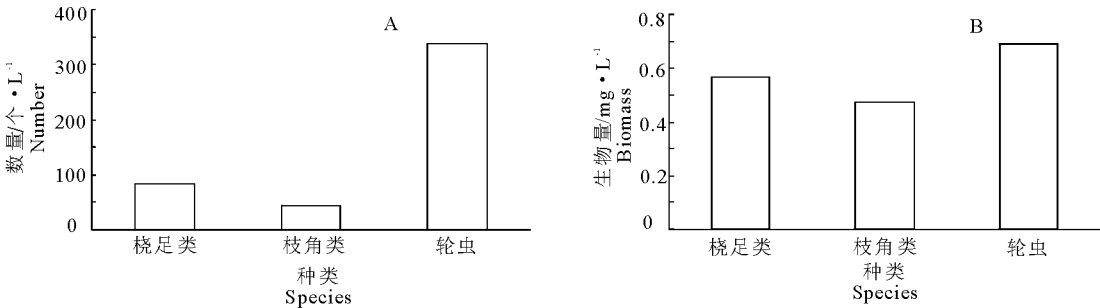


图3 贡湖湾 2006-07 – 2007-06 浮游动物年均数量 (A) 和生物量 (B)

Fig.3 Annual average number (A) and biomass (B) of macrozooplankton in Gonghu Bay during Jul. 2006 – Jun. 2007

贡湖湾大型浮游动物生物量的季节变化同大型浮游动物数量的季节变化类似,即秋季和冬季以轮虫占优势。其季节变化如图 4B 所示,除了 3、4、7、8、11 月以外,其他月份都以轮虫占优势。在贡湖湾,大型浮游动物最高生物量出现在 2006 年 7 月,为 3.55 mg/L,其中枝角类生物量为 2.331 mg/L;最低密度值出现在 2006 年 12 月,仅为 0.301 mg/L (图 4B)。

2.5 大型浮游动物优势种

在贡湖湾,大型浮游动物优势种为针簇多肢轮

虫 (*Polyarthra trigla*) 和萼花臂尾轮虫 (*Brachionus Calyciflorus*); 其中,针簇多肢轮虫年均密度为 99 个/L,占大型浮游动物总数的 22%;萼花臂尾轮虫年均密度为 49 个/L,占大型浮游动物总数的 11% (图 5)。针簇多肢轮虫最高密度出现在 2007 年 2 月,为 697 个/L;萼花臂尾轮虫最高密度出现在 2007 年 5 月,为 200 个/L。长额象鼻溞 (*Bosmina longirostris*) 是枝角类中年均密度最高的种类,其年均密度为 32 个/L,最高密度出现在 2006 年 7 月份,为 192 个/L (图 6)。

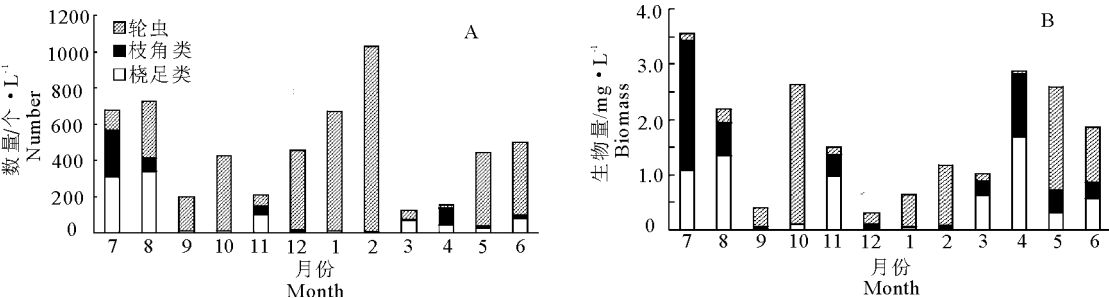


图4 贡湖湾 2006-07 – 2007-06 浮游动物数量 (A) 和生物量 (B) 的周年变化

Fig.4 Annual seasonal variation of macrozooplankton number (A) and biomass (B) in Gonghu Bay during Jul. 2006 – Jun. 2007

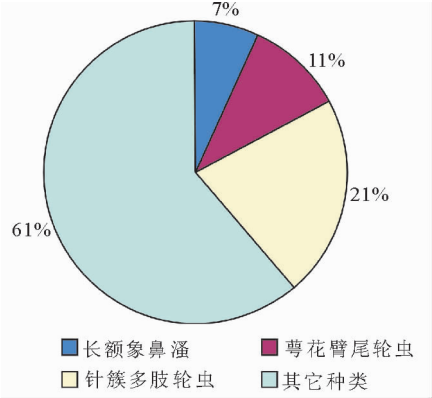


图5 贡湖湾 2006-07 - 2007-06 浮游动物优势种比例

Fig.5 The percentage of the dominant species of macrozooplankton in Gonghu Bay during Jul. 2006 – Jun. 2007

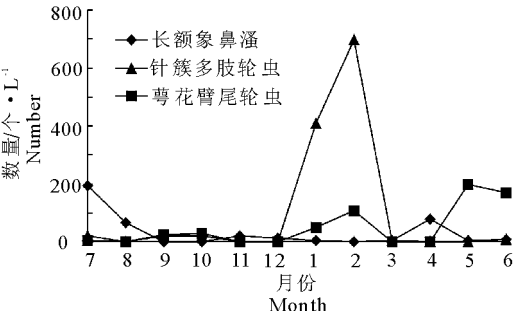


图6 贡湖湾 2006-07 - 2007-06 浮游动物主要种的数量变化

Fig.6 The seasonal variation of abundance of macrozooplankton dominant species in Gonghu Bay during Jul. 2006 – Jun. 2007

2.6 浮游动物密度和生物量与理化指标相关分析

Pearson 相关分析表明,轮虫数量与颗粒悬浮物浓度显著负相关($r = -0.603, P < 0.05$),与桡足类生物量也显著负相关($r = -0.670, P < 0.05$);枝角类数量与桡足类数量和桡足类生物量极显著正相关($r = 0.799, P < 0.01; r = 0.803, P < 0.01$),而与轮虫生物量显著负相关($r = -0.606, P < 0.05$);桡足类数量与水温 and 总磷显著正相关性(相关系数均为 $r = 0.596, P < 0.05$),桡足类数量和枝角类生物量极显著正相关($r = 0.776, P < 0.01$)。详见表2。

3 讨论

本研究从2006年7月至2007年6月对太湖贡湖湾大型浮游动物进行了1周年的调查。研究表明,贡湖湾大型浮游动物以轮虫为优势类群,其不仅在年均数量上占优势,而且在1周年中的大部分月份占优势。可能的原因主要有以下几个方面。

表2 大型浮游动物数量与生物和非生物因子的相关分析
Tab.2 Pearson correlation analysis between abundance of macrozooplankton and biotic and abiotic factors

项目	轮虫数量	枝角类数量	桡足类数量
轮虫数量	1	-0.521	-0.475
枝角类数量	-0.521	1	0.799 **
桡足类数量	-0.475	0.799 **	1
总氮	-0.305	-0.065	0.094
总磷	-0.105	0.314	0.596 *
水温	-0.118	0.416	0.596 *
氨氮	0.350	-0.559	-0.451
透明度	0.560	-0.383	-0.455
叶绿素 a	-0.084	0.208	0.439
颗粒悬浮物	-0.603 *	0.394	0.393
轮虫生物量	0.811 **	-0.606 *	-0.426
枝角类生物量	-0.575	0.922 **	0.776 **
桡足类生物量	-0.670 *	0.803 **	0.887 **
溶解氧	-0.235	0.304	0.406
K ⁺	0.187	0.304	0.520
Na ⁺	-0.387	0.417	0.418
Ca ²⁺	-0.328	0.241	0.215
Mg ²⁺	-0.321	-0.181	-0.282

注: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

3.1 鱼类捕食压力对浮游动物的影响

鱼类捕食是影响浮游动物群落结构的重要因素之一,其结果通常使小型浮游甲壳动物和轮虫在浮游动物群落中占优势(Korponail et al,1997; Xie & Yang,2000; Yang et al,2005)。有研究表明,鲢(*Coilia ectenes taihuensis*)在太湖2002年总渔获量中占64%,表明鲢是太湖的优势鱼类(刘恩生等,2005);而鲢主要以大型浮游动物为食物(刘恩生等,2007)。水生植物可以作为大型浮游动物躲避鱼类捕食的避难所(Jeppesen et al,1998; Scheffer,1999; Ryszard et al,2005);然而野外观测显示,贡湖湾北部构成大片水草区的沉水植物群落在2006年基本消失,只剩下零星的马来眼子菜(朱广伟,2008);大面积水生植物的消失大大增加了大型浮游动物被鱼类捕食的机率。鲢对大型浮游动物的摄食压力可能是太湖贡湖湾小型浮游动物(如针簇多肢轮虫、萼花臂尾轮虫)成为优势种的重要原因。

3.2 浮游动物种群之间的竞争

影响浮游动物群落结构的因素很多,其中重要因素包括不同浮游动物类群间的抑制和竞争,如大型浮游甲壳动物对轮虫的抑制作用。其抑制作用主要有2种形式,一是通过食物竞争,大型溞类对食物的滤食能力比轮虫强,轮虫在竞争中处于劣势;其次是机械损伤,当轮虫进入大型溞类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(Couch

et al,1999)。研究表明,在大型溞类(≥ 1.2 mm)和桡足类存在的情况下,即使食物资源很丰富,轮虫通常不会在淡水浮游动物群落中占优势(Lair,1990; Pace et al,1998; Yoshida et al,2000)。本次研究中,贡湖湾浮游甲壳动物的年均密度为128个/L,而同期在太湖的梅梁湾,浮游甲壳动物的年均密度为295个/L(杨桂军等,2008b);相比较而言,在贡湖湾浮游甲壳动物对轮虫的抑制能力要小。相关分析表明,枝角类数量与轮虫生物量呈显著负相关($r = -0.606, P < 0.05$)(表2);故大型浮游甲壳动物对轮虫的抑制作用小可能也贡湖湾轮虫成为优势类群的重要原因之一。

综上所述,轮虫是贡湖湾大型浮游动物的优势类群;鱼类的捕食压力和大型浮游甲壳动物的抑制影响可能是导致贡湖湾轮虫占优势的主要原因。

志谢:野外采样和实验室工作得到了王洪艳、李宽意、陈非洲、秦奎梅、邓建明、王媛媛的大力协助,在此表示衷心的感谢!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数据。

参考文献

- 陈雪梅.1981.淡水桡足类生物量的计算[J].水生生物学集刊,7(3):398-408.
- 黄祥飞,胡春英.1986.淡水常见枝角类体长-体重回归方程式[A].甲壳动物学论文(第1辑)[C].北京:科学出版社:147-157.
- 蒋楚治,堵南山.1979.中国动物志·淡水枝角类[M].北京:科学出版社.
- 金相灿,屠清瑛.1990.湖泊富营养化调查规范[M].北京:中国环境科学出版社.
- 刘恩生,刘正文,鲍传和,等.2007.太湖鲢鱼和鳊鱼的食物组成及相互影响分析[J].湖泊科学,19(4):451-456.
- 刘恩生,刘正文,陈伟民,等.2005.太湖鲢鱼渔获量变化及与生物环境间相关关系的研究[J].湖泊科学,17(4):340-345.
- 沈嘉瑞.1979.中国动物志·节肢动物门·甲壳纲·淡水桡足类[M].北京:科学出版社.
- 王家辑.1961.中国淡水轮虫志[M].北京:科学出版社.
- 杨桂军,秦伯强,高光,等.2008a.太湖不同湖区轮虫群落结构季节变化的比较研究[J].环境科学,29(10):63-69.
- 杨桂军,潘宏凯,刘正文,等.2008b.太湖不同富营养水平湖区浮游甲壳动物季节变化的比较研究[J].中国环境科

- 学,28(1):27-32.
- 章宗涉,黄祥飞.1991.淡水浮游生物研究方法[M].北京:科学出版社.
- 朱广伟.2008.太湖富营养化现状及原因分析[J].湖泊科学,20(1):21-26.
- 诸葛燕.1997.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.
- Couch K M, Burns C W, Gilbert J J.1999. Contribution of rotifers to the diet and fitness of *Boeckella* (Copepoda: Calanoida) [J]. Freshwater Biology, 41: 107-118.
- Jeppesen E, Lauridsen T L, Kairesalo T, et al.1998. Impact of submerged macrophytes on fish-zooplankton interactions in lakes. In: The Structuring Role of Submerged Macrophytes in Lakes [M]. Springer-Verlag, New York:91-114.
- Korponail J, Mátyás K, Paulovits G, et al.1997. The effect of different fish communities on the cladoceran plankton assemblages of the KisBalaton Reservoir, Hungary [J]. Hydrobiologia, 360: 211-221.
- Lair N.1990. Effects of invertebrate predation on the seasonal succession of a zooplankton community: A two year study in lake Aydat, France[J]. Hydrobiologia, 198: 1-12.
- Pace M L, Cole J J, Carpenter S R.1998. Trophic cascades and compensation: differential responses of microzooplankton in whole - Lake experiments[J]. Ecology, 79: 138-152.
- Qin B Q.2008. Taihu Lake, China-Dynamics and Environmental Change[M]. Springer.
- Ryszard K W, Ainen K V, Horppila J, et al.2005. Impacts of a submerged plant (*Elodea canadensis*) on interactions between roach (*Rutilus rutilus*) and its invertebrate prey communities in a lake littoral zone [J]. Freshwater Biology, 50: 262-276.
- Scheffer M.1999. The effect of aquatic vegetation on turbidity; How important are the filter feeders? [J]. Hydrobiologia, 408/409: 307-316.
- Xie P, Yang Y.2000. Long-term changes of a copepod community (1957-1996) in a subtropical Chinese lake densely stocked with planktivorous filter-feeding silver and bighead carp[J]. Journal of Plankton Research, 22(9): 1757-1778.
- Yang Y F, Huang X F, Liu J K, et al.2005. Effects of fish stocking on the zooplankton community structure in a shallow lake in China[J]. Fisheries Management & Ecology, 12(2): 81-89.
- Yoshida T, Ban S, Takenouchi T, et al.2000. Top down control of population dynamics of the dominant rotifers in two mesotrophic Lakes in Hokkaido, Japan[J]. Archiv für Hydrobiologie, 148: 481-498.

Seasonal Variations of Macrozooplankton Community in Gonghu Bay of Lake Taihu

ZHONG Chun-ni¹, YANG Gui-jun², GAO Ying-hai², WANG Li-jun²

(1. Wuxi Taihu Lake Management Co. , Ltd. ,Wuxi 214016, China;

2. School of Environment and Civil Engineering, Jiangnan University 214122, China)

Abstract: A study on seasonal variations of macrozooplankton community in Gonghu Bay in Lake Taihu, was conducted from Jul. 2006 to Jun. 2007. Thirty-five macrozooplankton species were identified in Gonghu Bay respectively. The annual average density and biomass of macrozooplankton were 467 ind/L and 1.726 mg/L in Gonghu Bay respectively. In Gonghu Bay, *Polyarthra trigla* was dominant species, with annual average density 99 ind/L, constituting 22% of the total macrozooplankton; *Brachionus calyciflorus* was also dominant species, with annual average density 49 ind/L, representing 11% of the total macrozooplankton. The correlation analysis indicated that there were significant negative correlations between the abundance of rotifer and concentration of suspended solids ($r = -0.603, P < 0.05$) and between the abundance of rotifer and the biomass of copepod ($r = -0.670, P < 0.05$); the abundance of cladoceran was notably negatively related to the biomass of rotifer ($r = -0.606, P < 0.05$); the abundance of copepod was significantly positively related to water temperature ($r = 0.596, P < 0.05$), total phosphorous ($r = 0.596, P < 0.05$) and the biomass of cladoceran ($r = 0.776, P < 0.01$).

Key words: Lake Taihu; Gonghu Bay; macrozooplankton; community structure