

梁子湖浮游甲壳动物的生物多样性

许隆君, 陆鑫歆, 王忠锁*

(首都师范大学生命科学院, 北京 100048)

摘要:基于 2006 年 8 月至 2008 年 3 月对梁子湖浮游甲壳动物的采样调查, 记录了该湖区浮游甲壳动物 22 种, 隶属 9 科 18 属, 其中枝角类 (Cladocera) 16 种, 桡足类 (Copepoda) 6 种, 包括 9 属新记录。物种多样性季节性动态变化明显: 枝角类优势种在春、夏和秋冬季依次为透明溞 (*Daphnia hyalina*, 优势度 $Y = 0.80 \pm 0.01$), 小栉溞 (*Daphnia cristata*, $Y = 0.50 \pm 0.03$) 和长额象鼻溞 (*Bosmina longirostris*, $Y = 0.58 \pm 0.04$); 而桡足类优势种在夏、秋和冬春季依次为长江新镖水蚤 (*Neodiaptomus yangtsekiangensis*, $Y = 0.41 \pm 0.01$)、近邻剑水蚤 (*Cyclops vicinus*, $Y = 0.46$) 和特异荡镖水蚤 (*Neutrodiaptomus incongruens*, $Y = 0.65 \pm 0.18$)。浮游甲壳类个体密度以春季最高 (292 ± 85 ind/L), 夏、秋、冬季渐低 (依次为 169 ± 104)、 140 ± 53 、 120 ± 0 ind/L)。物种多样性冬春季较低 (物种数 $S \leq 12$, 丰富度指数 $D = 0.77$ 和 0.71 , 香农-威纳指数 $H = 1.79$ 和 1.45), 夏秋季较高 ($S \geq 17$, $D = 0.98$ 和 0.88 , $H = 1.78$ 和 1.83)。梁子湖浮游甲壳类动物多样性年际差异不显著, 表明湖区环境条件较为优越、稳定。

关键词:浮游甲壳动物; 多样性; 梁子湖; 动态

文章编号: 1000-0933 (2009) 12-6419-10 中图分类号: Q178 文献标识码: A

The biodiversity of crustacean zooplankton in Lake Liangzi

XU Long-Jun, LU Xin-Xin, WANG Zhong-Suo*

College of Life Sciences, Capital Normal University, Beijing 100048, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(12): 6419 ~ 6428.

Abstract: Crustacean zooplanktons were seasonally sampled at 11 sites in Lake Liangzi from August, 2006 to March, 2008. Totally 22 crustacean species, which were composed of 16 Cladocera species and six Copepoda species, were identified. These species belong to nine families and 18 genera, nine of which were recorded for the first time in this lake area.

Analysis of the species dominance index (Y), Shannon-Wiener diversity index (H), number of species (S), species richness index (D) and individual density (ind./L) revealed significant seasonal variation of the crustacean diversity. *Daphnia hyalina* ($Y = 0.80 \pm 0.01$), *Daphnia cristata* ($Y = 0.50 \pm 0.03$) and *Bosmina longirostris* ($Y = 0.58 \pm 0.04$) were the dominant Cladocera species in spring, summer and autumn-winter respectively. *Neodiaptomus yangtsekiangensis* ($Y = 0.41 \pm 0.01$), *Cyclops vicinus* ($Y = 0.46$) to *Neutrodiaptomus incongruens* ($Y = 0.65 \pm 0.18$) were the dominant Copepod species in summer, autumn and winter-spring respectively. Population density of Crustacean declined gradually from $292 (\pm 85, S.D.)$ to $169 (\pm 104)$, $140 (\pm 53)$ and $120 (\pm 0)$ through spring to winter.

Similarly, species diversity remained low in winter and spring ($S \leq 12$, $D = 0.77$ and 0.71 , $H = 1.79$ and 1.45 , respectively), but increased in summer and autumn ($S \geq 17$, $D = 0.98$ and 0.88 , $H = 1.78$ and 1.83 , respectively). Further analysis indicated that species composition and diversity indexes of Crustacean community were relatively stable between 2006 and 2007 summers (August), as well as between 2007 and 2008 springs (March). Our results indicated that Lake Liangzi was in good condition for Crustacean species.

基金项目:国家自然科学基金资助项目 (30570290); 北京市教委科技发展计划资助项目 (KM200610028009); 北京市优秀人才培养资助项目 (20061D0501600235); 北京创新研究基地资助项目

收稿日期: 2009-02-26; 修订日期: 2009-07-10

致谢: 中国科学院水生生物研究所向贤芬、虞功亮老师对浮游甲壳类动物分类鉴定给予了指导, 特此致谢。

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhongsuo@yahoo.com.cn

Key Words: pelagic crustacean; diversity; Lake Liangzi; dynamics

枝角类(Cladocera)和桡足类(Copepoda)为大型浮游动物,在水体生态系统中起着重要的作用。通过选择性捕食,浮游甲壳动物可以有效地调控浮游植物、原生动物甚至轮虫等小型浮游生物的物种组成、相对丰度和动态变化^[1]。同时其自身物种组成和丰度又直接影响着鱼类,尤其是滤食性鱼类幼体的存活和生长,进而对鱼类种群增长、时空格局乃至群落组成产生深刻的影响^[2~4]。因此研究枝角类、桡足类物种多样性组成并揭示其动态是相关鱼类生态学和渔业生态学研究的重要基础性工作^[5,6]。

梁子湖是长江中游典型的浅水型湖泊,拥有丰富的鱼类、浮游生物和水生植物资源^[7~9]。为合理开发和利用梁子湖渔业资源,20 世纪 50 ~ 60 年代曾对湖区主要鱼类生物学特征和渔业资源状况开展过深入研究^[10,11]。近十余年来的研究则集中于湖区水生植物多样性、分布格局与时空动态等领域^[12~15],而浮游动物研究却少见报道^[16]。

为了解梁子湖浮游动物多样性状况及其与湖区银鱼多样性结构的相关关系,作者在研究梁子湖银鱼多样性的过程中^[17,18],于 2006 ~ 2008 年同步开展了浮游甲壳动物多样性的调研工作。本文意在报道梁子湖枝角类和桡足类多样性现状,着力分析其物种组成及季节性动态特征,为该湖生态系统的科学管理提供决策支持。

1 材料和方法

1.1 研究区域概况

梁子湖是长江中游的中型湖泊,位于 N30°03'54" ~ 30°20'12", E114°26'30" ~ 114°38'06",为武汉市江夏区和鄂州市共管水域。湖区属北亚热带气候区,气候条件季节性变化明显,雨热同季,降雨丰沛而又相对集中。年均降雨量 1663 mm,年均气温 17.4℃,年均水温 17.5℃,全年水温高于 10℃天数为 243d,无霜期 270d。该湖形态复杂,长 31.7 km,宽约 15km,湖心的梁子岛将水面分为东、西湖区。湖泊岸线曲折,发育系数达 5.80,湖汊、港、湾众多,生境异质性极高。湖底高程 20m,湖盆平坦,土质肥沃,水草丰茂,为典型的草型湖泊。中水位时面积为 304.3 km²,集水面积 3265 km²,湖水主要由南端的张桥河和金牛港及地表径流补充,经湖泊调蓄后由长港汇入长江。梁子湖水深为 1.2 ~ 4.2m,平均水深为 2.8m,透明度 0.3 ~ 1.4m, pH8.5 左右,适宜浮游甲壳类生活^[19]。

1972 年樊口闸建成后,该湖成为季节性通江湖泊:每年汛期(4 ~ 10 月份)闭闸,江湖阻隔,秋冬枯水季节开闸排水,江湖连通。受樊口闸的调蓄,湖区水位保持相对稳定,这为围网养殖提供了条件。2004 年后,湖区所有湖汊及绝大部分港、湾被相继围隔,成为私营养殖水面,公有敞水区仅限中央深水水域(图 1)。

1.2 样点设置

参考前人的工作经验^[16,20],本次调研共设置了 11 个采样点(图 1)。样点设置于可调查的公有敞水区,兼顾浮游动物和银鱼的生境选择和分布特点^[17],同时考虑风向、水流、底质、水草盖度和人为干扰等因素的影响。

1.3 样本的采集与处理

2006 年 8 月至 2008 年 3 月,于上述 11 个位点(图 1)采样 9 次,时间分别为 2006 年 8 月、2007 年 3、4、6、8、9、11 月和 2008 年 1、3 月。各月上旬采样。2007 年 3 月到 2008 年 1 月的调查意在了解浮游甲壳类动物区系的季节性动态,其中 3、4 月份为春季,6、8 月份为夏季,

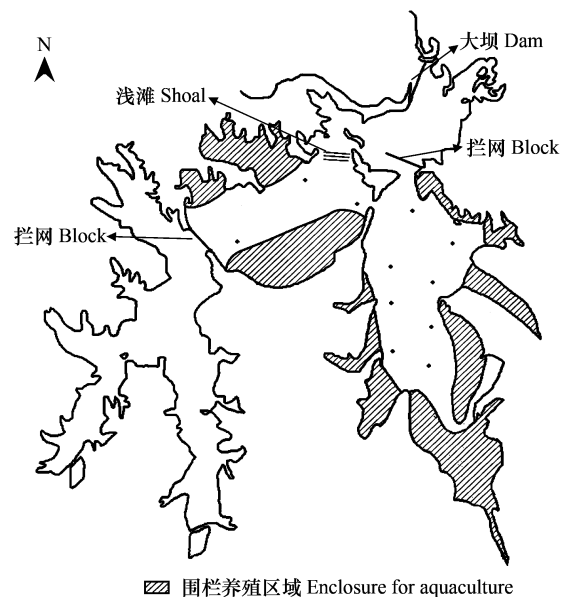


图 1 梁子湖湖区示意图;图中黑点表示调查位点

Fig. 1 Sketch map of Lake Liangzi, with illustration of sampling sites

9、11 月份为秋季,1 月份为冬季。而 2006 和 2007 年 8 月、2007 和 2008 年 3 月的调查则为了反映浮游甲壳类组成的年际关系。

样品采集遵循先定量后定性的原则,定量样品以有机玻璃采水器分层(0.5m 和 1.0m),取水各 10L,以 25 号浮游生物网(网目 64μm)过滤浓缩。定性样品以 13 号浮游生物网(网目 112μm)于水面拖取。样品加甲醛固定(浓度约 5%),分开保存。采样和保存方法依据《内陆水域渔业自然资源调查手册》^[21]进行。

枝角类和桡足类的种类鉴定分别参考蒋燮治与堵南山^[22]的《淡水枝角类志》和沈嘉瑞^[23]的《淡水桡足类志》。定性标本室内镜检用高倍镜(400 倍),定量标本镜检计数用低倍镜(40 倍)。充分摇匀浓缩水样后取 1mL 于 1mL 浮游生物计数框内镜检计数。每样重复 3 次,以均值推算原始密度。

1.4 数据分析

物种 i 的出现频率(f_i)定义为总镜检次数中某物种出现的几率,即: $f_i = 100 \times$ 观察到某物种的镜检次数/总镜检次数。

枝角类和桡足类的物种多样性指数选用物种数(S)、优势度值(Y)^[17]、个体密度(ind/L)、香农-威纳指数(H)、均匀性指数(J)和丰富度指数(D)表示。计算公式如下:

$$Y = f_i \cdot (n_i/N)$$
$$H = - \sum_{j=1}^N (P_i \cdot \ln P_i)$$
$$J = H/H_{\max} = H/\ln S$$
$$D = (S - 1)/\log_2 N$$

式中, n_i 为物种 i 的个体数, N 为所有种总个体数, P_i 为物种 i 的相对丰度($P_i = n_i/N$)。

各月份浮游甲壳类多样性特征数据取 11 个样点的平均值。一元回归和多元回归分析和其它统计检验以 Spss13.0 完成,其它数据处理以 Microsoft Excel 2007 完成。

2 结果与分析

2.1 物种组成及其季节性动态

本次调查共鉴定出枝角类 5 科 12 属 16 种,桡足类 4 科 6 属 6 种(表 1)。枝角类的仙达溞科(Sididae)、溞科(Daphniidae)、盘肠溞科(Chydoridae)占优势,各有 4 种,分别占枝角类物种总数的 25.0%。象鼻溞科(Bosminidae)占 18.8% ($S = 3$),薄皮溞科(Leptodoridae)占 6.3% ($S = 1$),这是唯一的掠食性枝角类动物。

桡足类的剑水蚤科(Cyclopidae)和镖水蚤科(Diaptomidae)各有 2 种(各占 33.3%)。而胸刺水蚤科(Centropagidae)和伪镖水蚤科(Pseudodiaptomidae)分别仅有 1 种(各占 16.7%,表 1)。

以上类群中,常年发生的有枝角类的盘肠溞科、象鼻溞科的象鼻溞属(*Bosmina*)和桡足类的胸刺水蚤科、伪镖水蚤科、镖水蚤科的荡镖水蚤属(*Neutrodiaptomus*)和桡足类无节幼体等(表 2)。其它种类季节性变化明显:枝角类中的薄皮溞科、仙达溞科、溞科的网纹溞属(*Ceriodaphnia*)、象鼻溞科的基合溞属(*Bosminopsis*)和桡足类镖水蚤科的新镖水蚤属(*Neodiaptomus*)仅发生于夏、秋两季。剑水蚤科的两属发生于不同的 3 季,剑水蚤属(*Cyclops*)发生于春、秋、冬季,中剑水蚤属(*Mesocyclops*)发生于春、夏、秋季。溞科溞属(*Daphnia*)的小栉溞(*Daphnia cristata*)在夏、秋两季出现,同属的透明溞(*Daphnia hyalina*) 在春、秋、冬 3

表 1 梁子湖枝角类、桡足类物种组成
Table 1 Species composition of Cladocera and Copepoda in Lake Liangzi

类别 Class	数量 Amount	
	属 Genus	种 Species
枝角类 Cladocera	12	16
薄皮溞科 Leptodoridae	1	1
仙达溞科 Sididae	3	4
溞科 Daphniidae	2	4
象鼻溞科 Bosminidae	2	3
盘肠溞科 Chydoridae	4	4
桡足类 Copepoda	6	6
剑水蚤科 Cyclopidae	2	2
胸刺水蚤科 Centropagidae	1	1
伪镖水蚤科 Pseudodiaptomidae	1	1
镖水蚤科 Diaptomidae	2	2

季出现。小栉溞和透明溞存在明显的消长关系:秋季二者共分布,冬、春季小栉溞消失而透明溞出现率增大($f > 50\%$),夏季小栉溞出现率增大($f = 100\%$),而透明溞消失(表2)。

表2 枝角类和桡足类物种的季节性发生频率

Table 2 Seasonal occurrence of the Cladocera and Copepoda species

物种 Species	发生频率 Incidence of occurrence (%)			
	春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn	冬 Winter
枝角类 Cladocera				
金氏薄皮溞 <i>Leptodora kindti</i>	—	31.3	52.1	—
短尾秀体溞 <i>Diaphanosoma brachyurum</i>	—	89.6	68.8	—
长肢秀体溞 <i>D. leuchtenbergianum</i>	—	78.1	39.6	—
大洋洲壳腺溞 <i>Latonopsis australis</i>	—	22.9	22.9	—
双棘伪仙达溞 <i>Pseudosida bidentata</i>	—	22.9	22.9	—
小栉溞 <i>Daphnia cristata</i>	—	100.0	83.3	—
透明溞 <i>Daphnia hyalina</i>	100.0	—	50.0	50.0
方形网纹溞 <i>Ceriodaphnia quadrangula</i>	—	83.3	34.4	—
美丽网纹溞 <i>C. pulchella</i>	—	84.4	33.3	—
长额象鼻溞 <i>Bosmina longirostris</i>	99.0	39.6	100.0	50.0
筒弧象鼻溞 <i>B. coregoni</i>	100.0	91.7	100.0	50.0
颈沟基合溞 <i>Bosminopsis deitersi</i>	—	35.4	20.8	—
直额弯尾溞 <i>Camptocercus rectirostris</i>	43.8	2.1	4.2	2.1
肋形尖额溞 <i>Alona costata</i>	54.2	50.0	39.6	21.9
龟状笔纹溞 <i>Graptoleberis testudinaria</i>	53.1	16.7	31.3	21.9
圆形盘肠溞 <i>Chydorus sphaericus</i>	59.4	32.3	39.6	22.9
桡足类 Copepoda				
近邻剑水蚤 <i>Cyclops vicinus</i>	100.0	—	50.0	26.0
广布中剑水蚤 <i>Mesocyclops leuckarti</i>	5.2	99.0	51.0	—
神秘华哲水蚤 <i>Sinocalanus mystrophorus</i>	100.0	15.6	20.8	50.0
球状许水蚤 <i>Schmackeria forbesi</i>	27.1	72.9	76.0	4.2
长江新镖水蚤 <i>Neodiaptomus yangtsekiangensis</i>	—	50.0	70.8	—
特异荡镖水蚤 <i>Neutrodiaptomus incongruens</i>	100.0	49.0	1.0	50.0
幼体 Nauplius	100.0	100.0	100.0	50.0

2.2 物种多样性的季节性动态

浮游甲壳动物物种数(S)夏、秋两季较高(18种),冬、春两季较低(12种,图2, a-I)。枝角类种数变动与甲壳类总数变动基本一致,表现为夏、秋高(14种)而冬、春低(7种,图2, a-II)。桡足类却表现出不同的变动规律:夏、秋两季物种数少,秋季后期增,冬季回落,春季小幅上升(图2, a-III)。

枝角类物种数在9月份最多(15种),其次是6、8月份(各14种),而1、3月份(冬春季)最少(7种,图2, a-II)。桡足类则在11月份最多(6种),其次是3、4月份(5种),而8、9月份最少(各3种,图2, a-III)。多元回归分析结果表明,枝角类对浮游甲壳动物物种数的季节性变化贡献显著($F = 56.58, P = 0.001$)。

多样性指数的季节性变化规律与物种数变动规律基本一致,表现为夏、秋两季高于冬、春两季(图2, b)。春季最低,4月份为全年最低点($D = 0.69, H = 1.43, J = 0.46$)。夏季升高($D = 0.98, H = 1.79, J = 0.58$)。秋季最高($D = 0.88, H = 1.83, J = 0.59$),其中9月份达全年最大值($D = 0.97, H = 1.95, J = 0.63$)。冬季又复下降($D = 0.77, H = 1.79, J = 0.58$)。

2.3 优势种组成的季节性动态

枝角类优势种在春季(3~4月份)为透明溞($Y = 0.80 \pm 0.01$)、夏季(6~8月份)为小栉溞($Y = 0.50 \pm 0.03$)、早秋(9月份)为筒弧象鼻溞($Y = 0.47$)而晚秋后(11月份后)为长额象鼻溞($Y = 0.58 \pm 0.04$,图2c)。

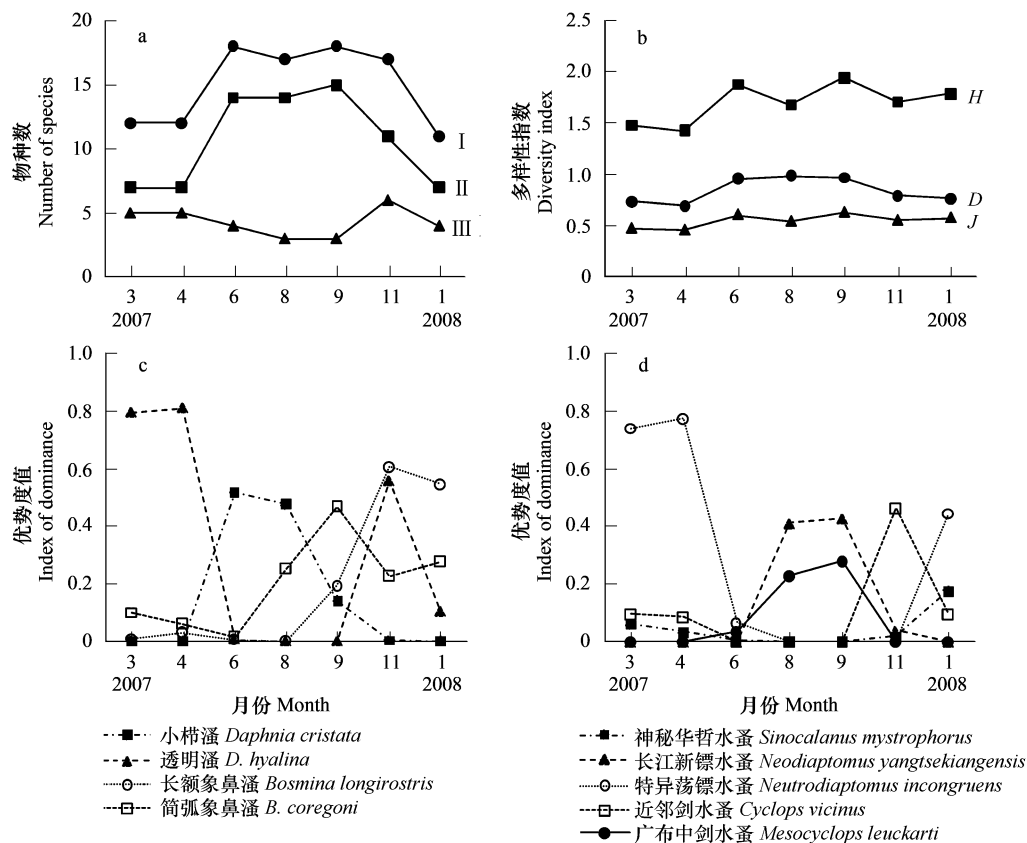


图2 梁子湖浮游甲壳动物物种多样性特征季节性动态

Fig 2 Seasonal dynamics of the diversity characteristics of Crustacean species in Lake Liangzi

I. 甲壳类 Crustacean; II. 枝角类 Cladocera; III. 桡足类 Copepoda

桡足类中冬春季(1~4月份)的优势种为特异荡镖水蚤($Y = 0.44 \pm 0.77$)、夏秋季(8~9月份)为长江新镖水蚤($Y = 0.42 \pm 0.01$)而晚秋季(11月份)变为近邻剑水蚤($Y = 0.46$,图2,d)。

2.4 浮游甲壳动物个体密度及其季节性动态

梁子湖的浮游甲壳动物的个体密度春夏季较高、秋冬季较低,波动于96~352 ind/L之间。其峰值出现在4月份和8月份,分别达到352 ind/L和242 ind/L(图3a)。

枝角类在冬春季节密度较高,为浮游甲壳动物的优势类群($P_i = 0.64 \sim 0.77$),为4月份甲壳类密度峰值的主要贡献者($P_i = 0.68$,图3a)。桡足类为夏秋季浮游甲壳类的主要组成类群($P_i = 0.30 \sim 0.81$),为8月份甲壳类密度峰值的决定成分($P_i = 0.81$,图3a)。

枝角类的透明溞为冬春季节的优势种,平均占枝角类个体总数的67%,长额象鼻溞对6月份后枝角类个体密度的增加贡献显著($P = 0.007$),其它溞个体密度较为稳定(图3b)。

桡足类中的特异荡镖水蚤为春季优势种($P_i = 0.76$),贡献于桡足类春季密度高峰的形成($P = 0.001$)。长江新镖水蚤($P_i = 0.42$)和广布中剑水蚤($P_i = 0.26$)在夏秋季节的高密度为桡足类秋季高密度的主要原因($P < 0.001$,图3c)。

2.5 浮游甲壳动物数量特征的年际比较

2006年和2007年夏季(8月份)梁子湖浮游甲壳动物区系组成基本一致。甲壳类物种数(图4a)和个体密度(图4b)以及枝角类(图4c)和桡足类(图4d)各科个体密度等均未表现出明显差异(除溞科个体密度外)。

2007和2008年春季(3月)的浮游甲壳类的物种组成(图4e)和个体密度(图4f)未见明显差异。除溞科

外枝角类和桡足类分科个体密度值也无明显变化(图4g,h)。说明梁子湖浮游甲壳动物的多样性组成处于基本稳定的状态。

3 讨论

3.1 物种多样性特征

本次调查共检出浮游甲壳类 22 种,物种数偏低。与近期流域内邻近水体相比,梁子湖浮游甲壳类物种数低于巢湖、东湖和南漪湖等^[5,24,25]。究其原因应该与本文的样点设置和湖泊自身的特点有关。从样点设置看,因受围栏养殖的影响,本文的样点主要集中于中央敞水区,未能覆盖近岸带浅水区和相对静水的湖汉、湖湾。本次调查的 11 个调查位点间的浮游甲壳类物种组成并不存在显著差异(因而未作空间格局分析)。所以说采样生境的单一应该是所得物种数少的主要原因。

从湖泊自身环境特点看,梁子湖浮游甲壳动物物种组成变化与湖泊草型化过程密切相关^[26]。本次调查新记录到枝角类 6 属、桡足类 3 属,但历史记录中的枝角类和桡足类各有 1 属本次未能检测到(表 3)。从这些物种的环境适应性看,新记录的类群多为喜居草丛生境的类群,如枝角类中的基合溞属(*Bosminopsis*)、壳腺溞属(*Latonopsis*)、伪仙达溞属(*Pseudosida*)、弯尾溞属(*Camptocercus*)、尖额溞属(*Alona*)和笔纹溞属(*Graptoleberis*)以及桡足类中的许水蚤属(*Schmackeria*)、荡镖水蚤属(*Neutrodiaptomus*)和中剑水蚤属(*Mesocyclops*)。而本次未发现的历史记录裸腹溞属(*Moina*)和真剑水蚤属(*Eucyclops*)则为浅水近岸带的常见类群。这种区系组成的变化一方面受调查位点生境单一性的影响,另一方面也反映出梁子湖过去 50 多年内的草型化过程加剧^[13]。

水质条件的变化对浮游甲壳类物种组成影响显著。浮游甲壳动物对水质变化反应敏感而快速,但不同物种对水污染的敏感性不同^{①[27]},如象鼻溞常生活于贫污性水体,而剑水蚤则多出现在中污性水体^[27-29]。可见,浮游甲壳类的区系组成蕴涵着水环境质量的信号,反映出水质状况及变化趋势^[30]。田中正明等曾报道水体营养水平升高过程中广布中剑水蚤和长额象鼻溞密度增大的现象^[31],Hurlbert 等也发现水体富营养化过程中剑水蚤密度升高而哲水蚤密度下降^[32,33]。本文的调查显示梁子湖浮游甲壳类中象鼻溞、剑水蚤和哲水蚤共存,且各具一定的优势种。

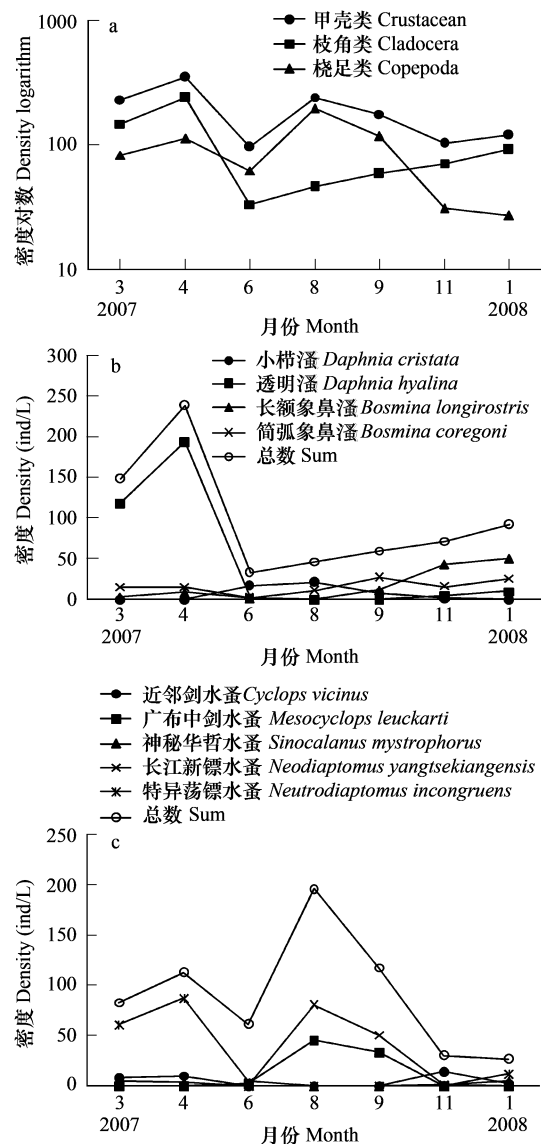


图 3 浮游甲壳动物个体密度的季节性变化

Fig. 3 Seasonal dynamics of individual density of Crustacean

表 3 梁子湖浮游甲壳类属数历史变化

Table 3 Historical change of pelagic Crustacean genus in Lake Liangzi

类群 Sort	总数 Total	历史* History	新记录 New record
枝角类 Cladocera	13	7	6
桡足类 Copepoda	7	4	3

* 历史数据引自王祖熊(1959) Data cited from Wang (1959)

① 刘爱芬. 受污染水体修复过程中浮游动物的种群变动及其生态学意义. 博士学位论文, 2007. 1~146.

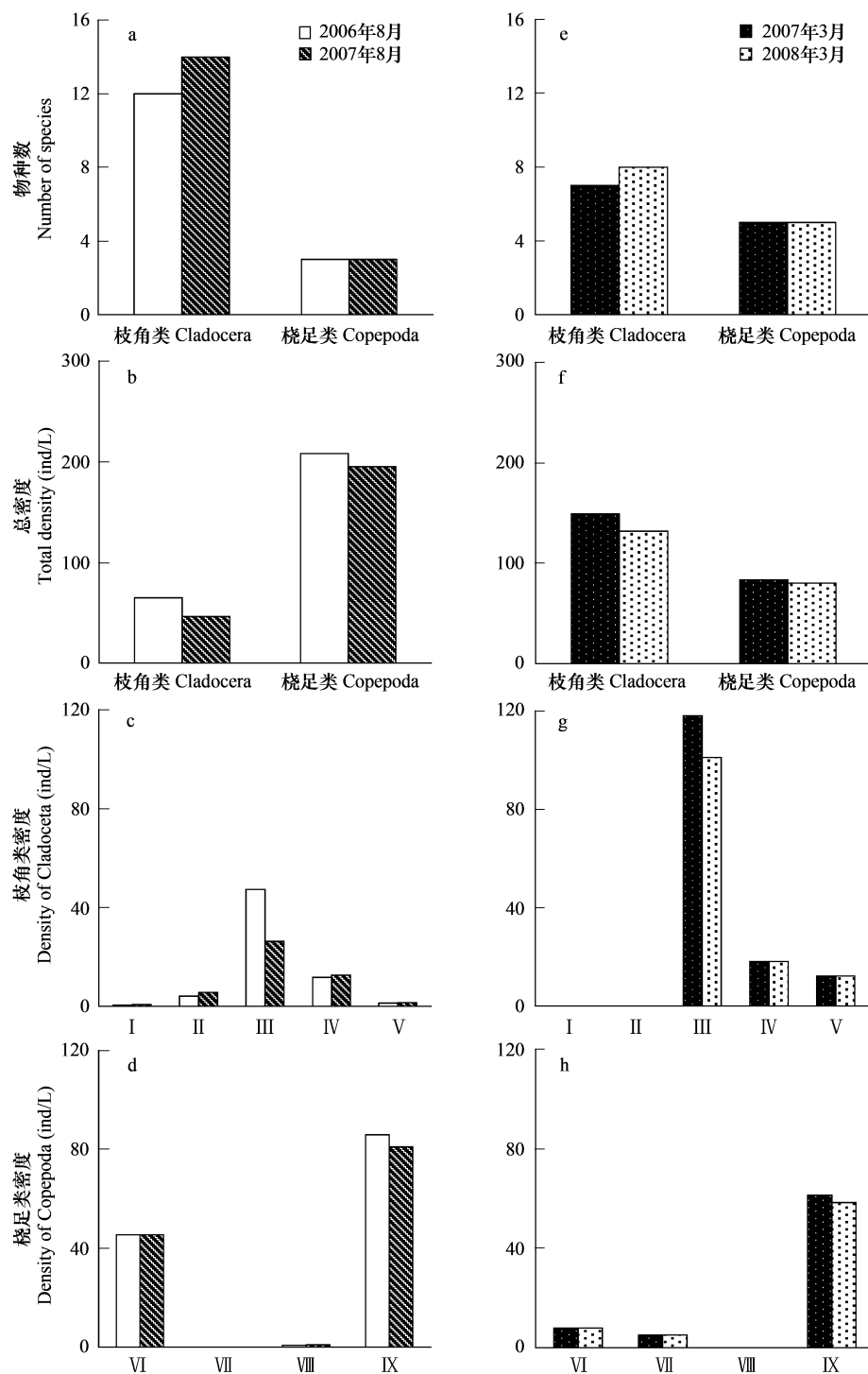


图4 浮游甲壳类物种多样性年际间比较

Fig. 4 Comparison of Crustacean species diversity among years

I. 薄皮蚤科 Leptodoridae; II. 仙达蚤科 Sididae; III. 蚤科 Daphniidae; IV. 象鼻蚤科 Bosminidae; V. 盘肠蚤科 Chydoridae; VI. 剑水蚤科 Cyclopidae; VII. 胸刺水蚤科 Centropagidae; VIII. 伪镖水蚤科 Pseudodiaptomidae; IX. 镖水蚤科 Diaptomidae

与历史数据相比,梁子湖哲水蚤密度下降而剑水蚤密度上升,同时长额象鼻蚤成为枝角类的优势种。此外,浮游甲壳类动物的物种多样性参数进一步提供了水质变化的生物指标。当水体水质退化时,相对敏感的物种首先出现衰退,表现为种群减小、个体相对丰度降低,而耐受力较强的物种会因生态释放而导致密度和优势度的

增大并因此而导致浮游甲壳类总数量的升高^[34]。但因总的物种数的减小和均匀性的降低,浮游甲壳类的物种多样性往往会降低。与 20 世纪 50 年代相比,本次调查在浮游甲壳动物数量上明显增多,当为梁子湖水质退化的重要表现^[16]。而与鄱阳湖和太湖相比,梁子湖浮游甲壳类物种多样性相对较高^[32,35],所以,梁子湖当前的水质状况基本处于轻度富营养化水平。

3.2 物种多样性动态

浮游甲壳动物是许多鱼类特别是滤食性鱼类的主要食料,其多样性水平和个体密度高低(或生物量)与鱼类区系相关密切,同时对渔产力具有直接影响^[36~39]。梁子湖浮游甲壳动物的年均个体密度达 186 ind/L,高于 20 世纪 80 年代中期武汉东湖年均 112 ind/L 的生产力^[40]。所以,该湖泊属于高生产力水体,具有较高的渔产潜力。

滤食性鱼类的选择性捕食会直接改变浮游甲壳类动物的多样性结构。适口性高的类群会因捕食力度增大而减少,从而表现出相对丰度冬春高、夏秋低的季节性变化规律,而适口性低的浮游甲壳类则会表现出相反的丰度动态^[41~47]。相对丰度的变化导致多样性指数、均匀度指数和优势度指数等群体多样性参数的相应变动。本文结果部分显示,枝角类和桡足类有明显的季节优势交替变化,具体表现在冬春季枝角类数量多,夏秋季桡足类数量多。究其原因,除与二者繁殖温度差异相关外,彼此间的竞争和滤食性鱼类的选择性捕食压力应该是重要的影响因素^[2,3]。滤食性鱼类越多,大型浮游动物的频率越低,反之,则越高^[34]。梁子湖鲢、鳙鱼放养对浮游甲壳类多样性结构的动态变化影响明显。湖区鲢、鳙鱼于 4 月份投放,8 月份达生长高峰,12 月份以后基本捕捞出水,因此鲢鳙放养对浮游甲壳类的捕食压力主要在夏秋季^[48]。由于鲢鳙混养对枝角类的选择性捕食力度更大,因此在夏秋季节梁子湖枝角类数量被控制在较低的水平,而在鲢鳙捕食压力减小的冬春季节则迅速增长,并在鲢鳙投放前夕达到数量高峰。枝角类的抑制意味着桡足类竞争压力的减小,这应该是夏秋季桡足类数量居高的原因。而冬春季桡足类密度的下降可能在一定程度上决定于枝角类数量增长所带来的竞争压力。

梁子湖浮游甲壳类动物多样性组成的年际特征比较结果显示,2006~2007 年夏季以及 2007~2008 年春季湖区浮游甲壳类物种组成和多样性特征均没有明显的差异。由此反映出湖区环境条件较为稳定。

References:

- [1] Zheng Z. Plankton introduction. Beijing: Science Press, 1964.
- [2] Huang X F. Zooplankton. In: Liu J K ed. Study on ecology in Lake Dong (1st). Beijing: Science Press, 1990. 115—119.
- [3] Li C H, Huang X F. Species succession of Cladocera in Lake Donghu in relation to various ecological factors. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1992, 16 (2): 101—112.
- [4] Xie P, Yang Y. Long-term changes of Copepoda community (1957—1996) in a subtropical Chinese lake stocked densely with planktivorous filter feeding silver and bighead carp. *Journal of Plankton Research*, 2000, 22 (9): 1757—1778.
- [5] Lu M, Xie P. Studies on the structure of crustacean zooplankton in houhu region of Lake Donghu, Wuhan. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1965, 4 (5): 133—144.
- [6] Lu M, Xie P. Comparative study on crustacean zooplankton communities in different areas in Lake Donghu, Wuhan. *Oceanologia Et Limnologia Sinica*, 2002, 3 (2): 174—181.
- [7] Liu J K. The natural environment and fishery resources in Lake Liangzi. In: Liu J K ed. The Essays collection from the western Pacific fisheries research of the second plenary meeting. Beijing: Science Press, 1959. 52—54.
- [8] Ge J W, Mei W J, Liu S X, *et al.* The biodiversity research of wetland natural reserve in Lake Liangzi, Hubei Forestry Science and Technology, 2003, (S1): 38—43.
- [9] Zhan C W, Yu D, Wu Z H, *et al.* The community ecology of aquatic plant in the water-land ecotone of Lake Liangzi. *Acta Phytocologica Sinica*, 2001, 25 (5): 573—580.
- [10] Zhu N S, Chen H S. On the food and feeding habits of *elopichthys bambusa* in Liang-tze Lake. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1959, 3 (1): 262—271.
- [11] Cao W X. A biological study of *magalobrama amblycephala* and *m. terminalis* of Liang-tse Lake. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1960, 4 (1): 57—78.
- [12] Wang W M, Yang G R, Fan Q X, *et al.* Aquatic vegetation in Liangzi Lake. *Journal of Huangzhong Agricultural University*, 1994, 13 (3): 281

—290.

- [13] Chen Z Y, Lei Z X, Zhou J, *et al.* Monthly quantitative and biomass dynamics of six submerged macrophytes populations in Liangzi Lake. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2000, 11 (6): 582—588.
- [14] GE J W, Cai Q H, Liu J K, *et al.* The present situation and evaluation of plant diversity of Lake Liangzihu wetland. *China Environmental Science*, 2003, 23 (5): 451—456.
- [15] Peng Y H, Jian Y X, Ni L Y. Diversity Study of Aquatic Plants in Lake Liangzi of Hubei Province, China. *Journal of Central South Forestry University*, 2005, 12 (6): 60—64.
- [16] Wang Z X. A limnological survey of Lake Liangze. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1959, 3 (1): 352—368.
- [17] Zhang Y L. The phylogenetic biogeography of Salangidae. In: Zhang G X ed. *Scientific treatise on systematic and evolutionary zoology* (2nd). Beijing Science and Technology Press of China, 1993, 65—77.
- [18] Wang Z S, Chen M H, Lü C, *et al.* Species diversity and spatio-temporal distribution patterns of icefishes (Salangidae) in Poyang Lake. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26 (5): 1337—1344.
- [19] Wang S M, Dou H S. *China lakes*. Beijing: Science Press, 1998.
- [20] Yang Y F, Huang X F. Community analysis of crustacean zooplankton in main culture areas of Lake Donghu, Wuhan. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 3 (2): 318—325.
- [21] Zhang J M, He Z H. *The surveys of natural resources in inland water fisheries*. Beijing: China Agriculture Press, 1991.
- [22] Jiang S C, Du N H. *Fauna sinica crustacea freshwater cladocera*. Science Press, 1979. 79—262.
- [23] Shen C J. *Fauna sinica crustacea freshwater copepoda*. Beijing: Science Press, 1979. 34—423.
- [24] Wang F J, Hu Z Q, Tang J, *et al.* Evaluation of water quality and the type of nourishment in the eastern zone of Lake Chaohu by means of zooplankton. *Ecological Science*, 2006, 25 (6): 550—553.
- [25] Chen L J, Peng Z R, Sun J P, *et al.* Diversity of the zooplankton in Nanyi Lake of Anhui. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2005, 33 (4): 14—17.
- [26] Qiu D R, Wu Z B. On the decline and restoration of submerged vegetation in eutrophic shallow lakes. *Journal of Lake Sciences*, 1997, 9 (1): 82—88.
- [27] Xu M Q. Relationship between change in zooplankton community and water quality of Jingmi canal and Beijing sewage stream. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 1993, 13 (3): 347—354.
- [28] Margalef D R. Information the oryin ecology. *CenSystem*, 1958, 3 (1): 36—71.
- [29] Wang Y Y, Li X B, Wu B, *et al.* Notes on zooplankton in Dishui Lake. *Journal of Shanghai Normal University (Natural Sciences)*, 2008, 37 (2): 167—172.
- [30] Xu M Q. Evaluation of self-purification efficiency of Fuhe stream-baiyangdian lake through zooplankton. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1996, 20 (3): 212—220.
- [31] Tian Z Z M. A biological indicator of crustaceans-Cladocerans. *Water Treatment Technology*, 1978, 19 (12): 17—22.
- [32] Yang G J, Pan H K, Liu Z W, *et al.* A comparative study on seasonal variations of crustaceans in the different lake areas in Lake Taihu. *China Environmental Science*, 2008, 28 (1): 27—32.
- [33] Hurlbert W H, Mulla M S. Impacts of mosquito fish (*Gambusia affinis*) predation on plankton communities. *Hydrobiologia*, 1981, 83(1): 125—151.
- [34] Yang Y F, Chen X M, Huang X F. Ecological changes of copepods in Lake Donghu, Wuhan. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1994, 18 (4): 334—340.
- [35] Wang J Q, Wu J P, Yu Y B, *et al.* The specific list, quantitative distribution and change of zooplankton in the season of spring and autumn in Poyang Lake. *Journal of Lake Sciences*, 2003, 15 (4): 345—352.
- [36] Brooks J, Dodson S. Predation, body size and composition of plankton. *Science*, 1965, 150: 28—35.
- [37] Duncan T K. Life history of *Almyracuma proximoculi* Jones and Burbanck, 1959 (Crustacea: Cumacea) from intertidal fresh-water springs on cape cod, Massachusetts. *Journal of Crustacean Biology*, 1984, 4 (3): 356—374.
- [38] Mavuti K M. Ecology and role of zooplankton in the fishery of Lake Naivasha. *Hydrobiologia*, 1990, 208 (1): 131—140.
- [39] Herzig A. *Leptodora kindtii*; efficient predator and preferred prey item in Neusiedler Sea, Austria. *Hydrobiologia*, 1995, 307 (1): 273—282.
- [40] Huang X F, Chen X M, Wu Z T, *et al.* Studies on the changes in abundance and biomass of zooplankton in Lake Donghu, Wuhan. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1984, 8 (3): 345—358.
- [41] Carpenter S R, Kitchell J F. *The trophic cascade in lakes*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1993.
- [42] Korponai J, MgyBs K, Paulovits G, *et al.* The effect of different fish communities on the Cladoceran plankton assemblages of the KisBalaton Reservoir, Hungary. *Hydrobiologia*, 1997, 360 (1): 211—221.
- [43] Xie P, Yang Y. Long-term changes of a copepod community (1957—1996) in a subtropical Chinese lake densely stocked with planktivorous filter-feeding silver and bighead carp. *Journal of Plankton Research*, 2000, 22 (9): 1757—1778.
- [44] Yang Y F, Huang X F, Liu J K, *et al.* Effects of fish stocking on the zooplankton community structure in a shallow lake in China. *Fisheries Management and Ecology*, 2005, 12 (2): 81—89.

- [45] Yang Y F, Huang X F. The influence of silver carp and bighead on the zooplankton community structure. *Journal of Lake Sciences*, 1992, 4 (3): 78—86.
- [46] Lu M. Experimental study of impacts of filter-feeding silver carp on Crustacean community. *Journal of Wuhan Institute of Science and Technology*, 2002, 15 (1): 72—75.
- [47] Robert J R, Uwe K. Effects of a filter-feeding fish [silver carp, *Hypophthalmichthys molitrix* (Val.)] on phyto-and zooplankton in a mesotrophic reservoir: results from an enclosure experiment. *Freshwater Biology*, 2002, 47 (12): 2337—2344.
- [48] Liu H Q, Xie H G, Huang S W, *et al.* On the scales annuli formation of silver and bighead carps in Lake Donghu, with special reference to the problem of rational size of “seedlings” at the time of stocking. *Journal of Fisheries of China*, 1982, 6 (2): 129—138.

参考文献:

- [1] 郑重. 浮游生物学概论. 北京: 科学出版社, 1964.
- [2] 黄祥飞. 浮游动物. 见: 刘建康主编. 东湖生态学研究(一). 北京: 科学出版社, 1990. 115~119.
- [3] 李纯厚, 黄祥飞. 略论武汉东湖枝角类种类演替及其与生态因子的关系. *水生生物学报*, 1992, 16 (2): 101~112.
- [5] 鲁敏, 谢平. 武汉东湖后湖区浮游甲壳动物群落结构的研究. *水生生物学报*, 2002, 3 (2): 123~129.
- [6] 鲁敏, 谢平. 武汉东湖不同湖区浮游甲壳动物群落结构的比较. *海洋与湖沼*, 2002, 3 (2): 174~181.
- [7] 刘建康. 梁子湖的自然环境及其渔业资源问题. 太平洋西部渔业研究委员会第二次全体会议论文集. 北京: 科学出版社, 1959. 52~54.
- [8] 葛继稳, 梅伟俊, 刘胜祥, 等. 梁子湖湿地自然保护区生物多样性研究. *湖北林业科技*, 2003, (S1): 38~43.
- [9] 詹存卫, 于丹, 吴中华, 等. 梁子湖水-陆交错区水生植物群落生态学研究. *植物生态学*, 2001, 25 (5): 573~580.
- [10] 朱宁生, 陈宏溪. 梁子湖中鳊鱼的食性. *水生生物学报*, 1959, 3 (1): 262~271.
- [11] 曹文宣. 梁子湖的团头鲂与三角鲂. *水生生物学报*, 1960, 4 (1): 57~78.
- [12] 王卫民, 杨干荣, 樊启学, 等. 梁子湖水生植被. *华中农业大学学报*, 1994, 13 (3): 281~290.
- [13] 陈中义, 雷泽湘, 周进, 等. 梁子湖六种沉水植物种群数量和生物量周年动态. *水生生物学报*, 2000, 11 (6): 582~588.
- [14] 葛继稳, 蔡庆华, 刘建康, 等. 梁子湖湿地植物多样性现状与评价. *中国环境科学*, 2003, 23 (5): 451~456.
- [15] 彭映辉, 简永兴, 倪乐意. 湖北省梁子湖水生植物的多样性. *中南林学院学报*, 2005, 12 (6): 60~64.
- [16] 王祖熊. 梁子湖湖沼学资料. *水生生物学集刊*, 1959, 3 (1): 352~368.
- [17] 张玉玲. 银鱼科鱼类系统生物地理学初步研究. 见: 张广学主编. 系统进化动物学论文集(第2集). 北京: 中国科学技术出版社, 1993. 65~77.
- [18] 王忠锁, 陈明华, 吕偲, 等. 鄱阳湖银鱼多样性及其时空格局. *生态学报*, 2006, 26 (5): 1337~1344.
- [19] 王苏民, 窦鸿身主编. 中国湖泊志. 北京: 科学出版社, 1998.
- [20] 杨宇峰, 黄祥飞. 武汉东湖主要养殖水域的浮游甲壳动物群落分析. *生态学报*, 2002, 3 (2): 318~325.
- [21] 张觉民, 何志辉. 内陆水域渔业自然资源调查手册. 北京: 农业出版社, 1991.
- [22] 蒋燮治, 堵南山. 中国动物志节肢动物门甲壳纲淡水枝角类. 北京: 科学出版社, 1979. 79~262.
- [23] 沈嘉瑞. 中国动物志节肢动物门甲壳纲淡水桡足类. 北京: 科学出版社, 1979. 34~423.
- [24] 王凤娟, 胡子全, 汤洁, 等. 用浮游动物评价巢湖湖区的水质和营养类型. *生态科学*, 2006, 25 (6): 550~553.
- [25] 陈立婧, 彭自然, 孙家平, 等. 安徽南漪湖浮游动物的物种多样性研究. *贵州农业科学*, 2005, 33 (4): 14~17.
- [26] 邱东茹, 吴振斌. 富营养化浅水湖泊沉水水生植被的衰退与恢复. *湖泊科学*, 1997, 9 (1): 82~88.
- [27] 许木启. 京密运河-北京排污河浮游动物群落变化与水质关系的研究. *环境科学学报*, 1993, 13 (3): 347~354.
- [29] 王延洋, 李晓波, 吴波, 等. 上海滴水湖浮游动物研究初报. *上海师范大学学报: 自然科学版*, 2008, 37 (2): 167~172.
- [30] 许木启. 从浮游动物群落结构与功能的变化看府河-白洋淀水体的自净效果. *水生生物学报*, 1996, 20 (3): 212~220.
- [31] 田中正明. 作为指示生物的甲壳类—枝角类. *水处理技术*, 1978, 19 (12): 17~22.
- [32] 杨桂军, 潘宏凯, 刘正文, 等. 太湖不同湖区浮游甲壳动物季节变化的比较. *中国环境科学*, 2008, 28 (1): 27~32.
- [34] 杨宇峰, 陈雪梅, 黄祥飞. 武汉东湖桡足类的生态学演变. *水生生物学报*, 1994, 18 (4): 334~340.
- [35] 王金秋, 吴建平, 於燕斌, 等. 春秋两季都阳湖浮游动物的编目、数量分布与变动. *湖泊科学*, 2003, 15 (4): 345~352.
- [40] 黄祥飞, 陈雪梅, 伍焯田, 等. 武汉东湖浮游动物数量和生物量变动的研究. *水生生物学集刊*, 1984, 8 (3): 345~358.
- [45] 杨宇峰, 黄祥飞. 鲢鳙对浮游动物群落结构的影响. *湖泊科学*, 1992, 4 (3): 78~86.
- [46] 鲁敏. 滤食性鲢鱼对浮游甲壳动物群落影响的实验研究. *武汉科技学院学报*, 2002, 15 (1): 72~75.
- [48] 刘伙泉, 谢洪高, 黄尚务, 等. 略论武昌东湖鲢鳙鱼种的年轮形成及湖泊放养的规格问题. *水产学报*, 1982, 6 (2): 129~138.