

东太湖不同水域浮游生物周年变化及鲢、鳙食性的研究

李倩倩¹, 黄鹤忠¹, 张群英¹, 王小林², 朱茂晓², 沈振华², 袁文成¹, 陆建明²

(1. 苏州大学 基础医学与生物科学学院, 苏州大学 水产研究所, 江苏 苏州 215123; 2. 江苏省太湖渔业管理委员会, 江苏 苏州 215004)

摘要: 2012年2~11月对东太湖不同水域浮游生物组成、数量、水质情况及水生植物密度进行了调查, 并对9月份太湖鲢、鳙的食性进行了研究。结果表明: 浮游动物和浮游植物多样性指数均为保护区>余山>老鼠山>漫山岛。水体浮游生物数量和综合营养状态指数均为漫山岛>老鼠山>余山>保护区。浮游植物总数量与蓝藻总数量、浮游动物总数量、富营养化因子呈正相关, 与水生植物密度呈负相关。9月份太湖鲢、鳙的肠内含物中浮游植物和浮游动物分别占食物数量的89.1%、70.6%和10.9%、29.4%, 其中蓝藻分别占74.5%、56%, 枝角类和轮虫分别占3.7%、13.4%和1.5%、11.5%; 鲢、鳙对蓝藻的选择性指数分别为1.42和1.07, 对轮虫和原生动物的选择性指数分别为0.13、1.27和1.30、0.40。本研究结果对揭示影响太湖浮游生物周年变化的环境因素以及通过鲢、鳙控制蓝藻具有一定的理论价值和指导意义。

关键词: 东太湖; 浮游生物; 多样性; 食性

中图分类号: Q179.1; S96 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3096(2013)10-0104-07

水体富营养化和蓝藻爆发是近年来中国平原浅水型湖泊普遍出现的环境问题, 太湖是中国五大淡水湖泊之一, 是一个典型的平原碟形浅水湖泊^[1], 2007年和2008年太湖蓝藻爆发十分严重, 近年来, 通过建立国家级种质资源保护区和大量放流鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙(*Aristichthys nobilis*)等一系列技术和管理措施, 其水体富营养化和蓝藻爆发问题得到了一定程度的控制, 但问题依然存在。相关研究表明, 沉水和浮叶植物能有效的提高水体透明度、降低营养盐浓度及抑制藻类生长^[2]; 太湖沉水植物对TN、TP的去除率分别为88.7%、99.1%^[3]; 鲢、鳙混养, 可以一定程度地去除水体中氮、磷等营养物质, 把蓝、绿藻的生物量控制在较低的水平, 从而控制和缓解水体富营养化的进程^[4-5]。有研究认为, 在自然条件下鲢主要摄食浮游植物, 而鳙则以浮游动物为主要食物^[6]。但也有研究表明, 太湖鲢、鳙以蓝藻为主要食物^[7], 巢湖鲢、鳙的饵料重叠系数为0.9867^[8]。鲢、鳙是滤食性鱼类, 其食物组成会因环境中浮游生物的变化而变化, 由于有关鲢、鳙肠内含物的食物成分与所在水体食物成分间关系的研究较少, 因此近年来不同学者对鲢、鳙食性的研究结果存在一定的分歧。另外, 有关太湖不同水域水草密度对水体理化和浮游生物影响的研究也未见报道。

作者针对太湖近年来建立国家级种质资源保护

区和大量放流鲢、鳙的实际, 通过调查东太湖不同水域浮游生物的周年变化以及研究鲢、鳙的食性, 来探讨水域水草密度对水体理化指标、浮游生物数量和组成的影响以及放流鲢、鳙对蓝藻等浮游生物的控制作用, 以期修复湖泊富营养化和控制蓝藻爆发提供一定的理论依据和实践指导。

1 材料和方法

1.1 采样时间和地点

根据水体中水生植物密度的多寡, 在东太湖选取4个采样点分别为: 东太湖的老鼠山(水生植物一般)、国家种质资源保护区(水生植物丰富)、余山(水生植物较丰富)、漫山岛水域(水生植物贫乏)。于2012年2~11月, 每月对各采样点进行浮游生物定性、定量和水生植物定量以及水质理化因子监测。

1.2 浮游生物调查

按照《内陆水域渔业资源调查手册》^[9]的方法采

收稿日期: 2013-02-19; 修回日期: 2013-06-17

基金项目: 农业部渔业种质资源保护项目(2012122); 苏州市科技支撑计划项目(SS201311)

作者简介: 李倩倩(1985-), 女, 河南兰考人, 硕士研究生, 主要从事水生生物生理研究, E-mail: liqianqian6126@163.com; 黄鹤忠, 通信作者, E-mail: suda-shui@163.com

集浮游植物和浮游动物样品,水样用鲁哥氏液固定,在实验室进行浮游生物定性、计数框定量检测^[10-11]。Shannon-Wiener 多样性指数(H')和 Pielou 均匀度指数(J)按下列公式计算:

$$H' = -\sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i$$

$$J = H' / \log_2 S$$

式中, S 为样品中的种类数; P_i 为第 i 种物种的个体数占总个体数的比例, $P_i = n_i/n$; n_i 为样品中第 i 种生物的个体数, n 为样品中生物总个体数。

1.3 水质的调查

在每个采样点,现场测定水深、透明度(SD)和 pH,采集水样并测定其总氮(TN)、总磷(TP)及高锰酸钾指数(CODMn)^[12],叶绿素 a(Chla)^[13];按如下公式计算综合营养状态指数^[14]:

$$I_{\Sigma} = \sum W_j I_j;$$

$$I_{\text{Chla}} = 10(2.5 + 1.086 \ln \text{Chla});$$

$$I_{\text{TP}} = 10(9.436 + 1.624 \ln \text{TP});$$

$$I_{\text{TN}} = 10(5.453 + 1.694 \ln \text{TN});$$

$$I_{\text{SD}} = 10(5.118 - 1.94 \ln \text{SD});$$

$$I_{\text{CODMn}} = 10(0.109 + 2.661 \ln \text{CODMn})$$

式中, I_{Σ} 表示综合营养状态指数; I_j 代表第 j 种参数的营养状态指数; W_j 为第 j 种参数的营养状态指数的相关权重^[15]。

1.4 水生植物的采集和生物量调查

依据每个采样点的水生植物覆盖度和多样性,采用长 0.5 m、宽 0.4 m、面积为 0.2 m² 的带网铁筐,在 4 个水域分别选取 5~10 个水生植物采样点,采集时将框内植物连根拔起,得完整植株,洗净、滤水后称其鲜质量^[16]。

1.5 鲢、鳙食物组成调查

2012 年 9 月,随机选取漫山岛水域捕获的鲢、鳙(平均体长分别为 39.46 cm ± 1.93 cm、41.72 cm ± 2.89 cm,平均体质量分别为 1099.20 g ± 182.66 g、1430.20 g ± 316.23 g)各 30 尾。将鲢、鳙消化道内的全部食物稀释至 50~100 mL,4% 甲醛固定,混合均匀后用 0.1 mL 浮游生物计数框计数^[8,10]。

选择性指数(E)用公式表示: $E = R_i/P_i$, 其中 R_i 为鱼消化道中第 i 种食物成分的百分数; P_i 为水环境中第 i 种食物成分的百分数;当 $E < 1$ 、 $E = 1$ 、 $E > 1$ 时,分别代表鱼对这种食物成分不易得或者不喜好、无选

择性、喜欢或易得。

1.6 数据处理

本文用 SPSS17.0 软件及 Excel 软件对试验数据进行处理。经 One-Way ANOVA 分析,采用 Duncan's 多重检验分析试验结果平均数的差异显著性,显著水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果

2.1 浮游植物的种类组成和多样性

结果显示,4 个水域的浮游植物中蓝藻门占比均最高,优势种均为:铜绿微囊藻(*Microcystis aeruginosa*)、双突盘星藻(*Pediastrum duplex* Meyen)、尖针杆藻(*Synedra acus* var.);保护区浮游植物 32 种,其中蓝藻门 13 种占总数 40.6%,绿藻门 9 种占总数 28.1%,硅藻门 8 种占总数 25%,甲藻门、黄藻门各 1 种占总数 3.1%;余山浮游植物 31 种,其中蓝藻门 11 种占总数 35.4%,绿藻门、硅藻门各 8 种占总数 25.8%,甲藻门、黄藻门各 2 种,占总数 6.5%;老鼠山浮游植物 30 种,其中蓝藻门 13 种占总数 43.3%,绿藻门、硅藻门各 7 种占总数 23.3%,黄藻门 2 种占总数 6.5%,甲藻门 1 种占总数 3.2%;漫山岛浮游植物 16 种,其中蓝藻门 7 种占总数 43.7%,绿藻门 3 种占总数 18.7%,硅藻门 4 种占总数 25%,甲藻门和黄藻门各 1 种占总数 6.2%。

浮游植物的 Shannon-Wiener 多样性指数(H')及其 Pielou 均匀度指数(J)由高到低均依次为:保护区 > 余山 > 老鼠山 > 漫山岛(表 1)。

表 1 东太湖不同水域浮游生物多样性
Tab. 1 Diversity of plankton in different water area of the East Taihu Lake

水域	多样性指数(H')		均匀度指数(J)	
	浮游植物	浮游动物	浮游植物	浮游动物
老鼠山	2.43	2.44	0.29	0.34
保护区	2.75	2.76	0.36	0.42
余山	2.51	2.48	0.31	0.31
漫山岛	2.21	2.18	0.28	0.28

2.2 浮游植物的分布特点

由图 1 和图 2 可以看出,各水域浮游植物密度与蓝藻密度的月变化趋势基本一致,东太湖不同水域周年浮游植物密度和蓝藻密度均为漫山岛 > 老鼠山 > 余山 > 保护区;除保护区以外的其他水域其月变化趋

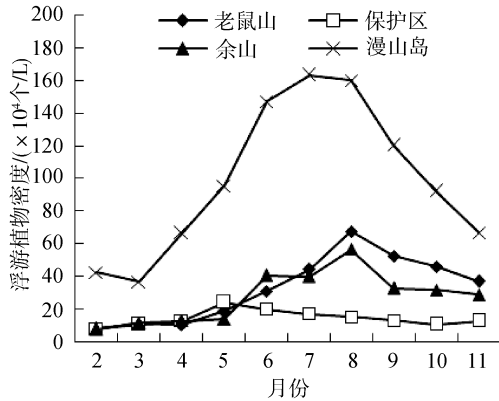


图1 东太湖不同水域浮游植物密度月变化

Fig. 1 Monthly variation of phytoplankton quantity in different water area of the East Taihu Lake

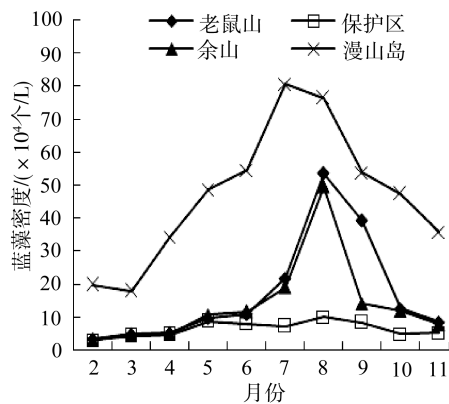


图2 东太湖不同水域蓝藻密度月变化

Fig. 2 Monthly variation of cyanobacteria quantity in different water area of the East Taihu Lake

势基本一致,均呈现出自3~4月起逐渐升高,至7~8月份达到最高,之后又逐渐下降的规律,而保护区的浮游植物密度和蓝藻密度在各月份中始终处于最低水平。

2.3 浮游动物的种类组成和多样性

结果显示,保护区浮游动物30种,其中桡足类、轮虫各12种占总数40.0%,枝角类、原生动物各3种占总数10.0%;余山浮游动物28种,其中桡足类10种占总数35.7%,轮虫9种占总数32.1%,枝角类5种占总数23.8%,原生动物4种占总数14.3%;老鼠山浮游动物24种,桡足类9种占总数37.5%,轮虫10种占总数41.7%,枝角类3种占总数12.5%,原生动物2种占总数8.3%;漫山岛浮游动物22种,桡足类、轮虫各9种占总数40.9%,枝角类、原生动物各2种占总数9.1%。4个水域浮游动物优势种均为:沟渠异足猛水蚤(*Canthocamptus staphylinus*)、柯氏象鼻溞(*Bosmina coregoni* Baird)、矩形龟甲轮虫(*Keratella*

quadrata)、螺形龟甲轮虫(*Keratella cochlearis*)。浮游动物的H由高到低依次为:保护区>余山>老鼠山>漫山岛(表1)。

2.4 浮游动物的分布特点

由图3显示,东太湖不同水域浮游动物密度的月变化趋势基本一致,由春季到夏季密度逐渐增加,之后逐渐减少;4个水域浮游动物密度由大到小依次为:漫山岛>老鼠山>余山>保护区,其中在全年最高月份(8月份)的浮游动物密度分别为:546.1、516.6、512.0、438.4个/L。

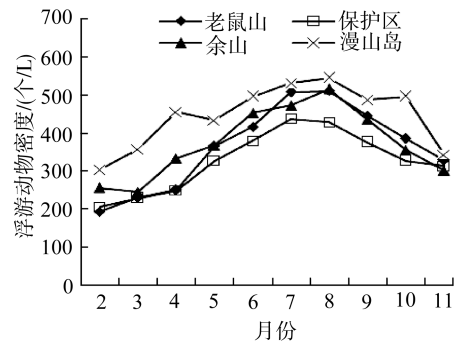


图3 东太湖不同水域浮游动物密度月变化

Fig. 3 Monthly variation of zooplankton quantity in different water area of the East Taihu Lake

2.5 水质理化状况和水生植物密度

2~11月对东太湖4个水域的水质理化状况和水生植物密度进行跟踪检测的结果见表2。保护区的 COD_{Mn} 、Chla含量均比其他3个水域低,但差异不显著($P>0.05$);保护区的TN含量显著低于老鼠山和漫山岛($P<0.05$),而TP含量显著低于漫山岛($P<0.05$),透明度显著高于漫山岛($P<0.05$)。综合营养状态指数分析结果显示,漫山岛处于轻度富营养化状态,老鼠山和余山处于中营养状态,保护区处于贫营养状态。

东太湖4个水域的水生植物密度均存在显著性差异,由高到低依次为保护区>余山>老鼠山>漫山岛($P<0.05$)。

2.6 鲢、鳙的食物组成

鉴定出鲢、鳙肠内含物中的浮游植物有15种,其中:蓝藻门6种,绿藻门3种,硅藻门4种,黄藻门2种。

对鲢、鳙肠内含物中浮游动物的检测结果表明,轮虫有6种,其中螺形龟甲轮虫、矩形龟甲轮虫占优势;枝角类中柯氏象鼻溞占优势;除了中华似铃壳虫以外,桡足类和原生动物多为碎片,未鉴别出种类。

表 2 东太湖水质理化因子和水生植物密度
Tab. 2 Physical and chemical factors of the water and aquatic plant density of East Taihu Lake

指标	东太湖水域			
	老鼠山	保护区	余山	漫山岛
COD _{Mn} (mg/L)	1.41 ± 0.16 ^a	1.22 ± 0.58 ^a	1.28 ± 0.67 ^a	1.73 ± 0.15 ^a
TN(mg/L)	0.865 ± 0.014 ^b	0.486 ± 0.017 ^a	0.652 ± 0.026 ^a	1.207 ± 0.018 ^c
TP(mg/L)	0.037 ± 0.002 ^{ab}	0.021 ± 0.001 ^a	0.029 ± 0.003 ^{ab}	0.065 ± 0.004 ^b
Chla(mg/L)	4.76 ± 0.43 ^a	3.65 ± 0.35 ^a	4.22 ± 0.46 ^a	5.39 ± 0.57 ^a
SD(m)	0.49 ± 0.07 ^{ab}	0.71 ± 0.11 ^b	0.63 ± 0.09 ^{ab}	0.42 ± 0.06 ^a
pH	7.59 ± 0.17 ^a	7.40 ± 0.15 ^a	7.63 ± 0.29 ^a	7.62 ± 0.23 ^a
水深(m)	2.10 ± 0.11 ^a	1.78 ± 0.19 ^a	1.87 ± 0.15 ^a	2.20 ± 0.18 ^a
营养状态指数	46.37	29.56	43.86	56.18
营养级别	中营养	贫营养	中营养	轻度富营养化
水生植物密度(g/m ²)	516.53 ± 16.5 ^b	1058.28 ± 20.6 ^d	857.83 ± 29.3 ^c	315.67 ± 26 ^a

注：数据为 2~11 月各指标所测值的平均数和标准差。同行数据标注不同字母表示差异显著($P<0.05$)

2.7 鲢、鳙的食物比例

表 3 显示, 鲢的肠内含物中浮游植物占食物数量的 89.1%, 浮游动物占食物数量的 10.9%, 浮游植物中蓝藻占食物的数量最大(74.5%), 浮游动物中原生动物占食物的数量最大(5%)。鳙的肠内含物中浮游植物占食物数量的 70.6%, 浮游动物占食物数量的 29.4%, 浮游植物中也是蓝藻占食物的数量最大(56.0%), 浮游动物中枝角类和轮虫占比最大, 分别为 13.4%和 11.5%。

表 3 鲢、鳙肠内含物中浮游生物数量分数
Tab. 3 Quantity percentage of plankton in intestinal of *H. molitrix* and *A. nobilis*

鱼	浮游生物数量(%)							
种类	蓝藻	绿藻	硅藻	黄藻	桡足类	枝角类	轮虫	原生动物
鲢	74.5	7.5	2.6	4.5	0.7	3.7	1.5	5.0
鳙	56.0	5.9	7.9	0.8	1.9	13.4	11.5	2.6

2.8 鲢、鳙对水体浮游生物的选择性

由表 4 显示, 鲢对浮游植物的选择性大于鳙, 而鳙对浮游动物的选择性大于鲢。鲢、鳙对浮游植物中蓝藻门的选择性指数最高分别为 1.42、1.07, 对浮游动物中轮虫和原生动物的选择性指数分别为 0.13、1.27 和 1.30、0.40。

3 讨论

3.1 浮游生物与水体环境因子间的关系

本实验结果显示, 4 个水域浮游生物总数量均表现出由春季到夏季数量逐渐增加, 之后逐渐减少的趋势。保护区浮游生物的多样性最高、浮游生物的数量最少, 营养程度最低; 而漫山岛浮游生物的多

表 4 鲢、鳙对水体浮游生物的选择性指数
Tab. 4 The selective index of plankton for *H. molitrix* and *A. nobilis*

食物种类	选择性指数(E)	
	鲢	鳙
蓝藻门	1.42	1.07
铜绿微囊藻	1.53	1.30
水花霸绿微囊藻	0.05	0.42
细胶鞘藻	1.79	1.74
最小胶球藻	0.72	0.32
膨胀胶球藻	2.00	1.30
绿藻门	0.42	0.04
格孔单突盘星藻	0.42	0.04
硅藻门	0.06	0.70
尖针杆藻	0.04	1.42
华美双菱藻	0.07	0.10
黄藻门	0.22	0.06
普通黄丝藻	0.22	0.06
枝角类	0.11	0.37
柯氏象鼻溞	0.11	0.37
轮虫	0.13	1.27
矩形龟甲轮虫	0.31	0.34
螺形龟甲轮虫	0.04	1.78
原生动物	1.30	0.40
中华似铃壳虫	1.30	0.40

样性最低、浮游生物的数量最多, 其富营养化最高, 这与谢平等^[18]对武汉东湖富营养化水体浮游生物多样性与浮游生物密度相互关系的研究结果相似。一般而言, 水质状况较好的水体, 藻类种类数较多且种间比较均匀, 因而 H 较大, 均匀度指数(J)较高;

按地表水质量分类标准, H' 0~1 为重污染, 1~3 为中污染, 大于 3 为轻污染或无污染; J 0~0.3 为重污染, 0.3~0.5 为中污染, 0.5~0.8 为轻污染或无污染^[17]。本研究中, 由浮游生物 H' 来评价东太湖各水域的水质状况显示, 保护区、余山、老鼠山、漫山岛分别处于轻污染或无污染、中污染、中污染、中污染; 由浮游生物 J 来评价, 则分别处于轻污染或无污染、中污染、中污染、中污染。由此看出, 太湖浮游生物均匀度指数较低的原因主要是蓝藻在浮游生物中占有绝对数量造成的, 因此减少太湖蓝藻密度是修复太湖水质的关键。若按综合营养状态指数评价, 以上东太湖各水域水质分别处于贫营养、中营养、中营养、轻度富营养; 如按地表水环境质量标准 (GB3838-2002) 的湖泊总磷指标评价, 则以上东太湖各水域水质分别处于 Ⅲ类、Ⅲ类、Ⅲ类、Ⅲ类水质标准。尽管不同的评价指标对水质的评价结果存在一定的差异, 但以上评价结果提示我们, 大幅减少水体中的蓝藻密度、提高浮游生物的多样性以及降低含量是改善太湖水质的重要因素, 今后应加大研究力度, 采用相应的措施来修复太湖污染或富营养化水域的水质。

本研究结果表明, 东太湖 4 个不同水域浮游植物总数量与蓝藻总数量、浮游动物总数量、总氮、总磷、 COD_{Mn} 均呈正相关; 其中, 与蓝藻总数量、浮游动物总数量、总磷、 COD_{Mn} 的相关性更密切, 且

随水域富营养化增强相关性越大(表 5)。这可说明以下几点: (1) 随着太湖水域浮游植物数量的不断增加, 蓝藻所占的比例也随之增高; (2) 太湖浮游植物总数量与浮游动物总数量呈正相关, 且随富营养化增强其相关性越大, 这种浮游动物数量随着浮游植物数量同步增长的现象, 暗示着太湖浮游动物数量可能偏低, 未对浮游植物的数量起到抑制作用。(3) 浮游植物的生长、繁殖依赖于环境中的氮、磷和有机物等营养物质, 其中磷和有机物对浮游植物的生长、繁殖的促进作用更为明显, 有关磷对藻类, 尤其对蓝藻生长的作用已有报道^[19], 但有机物质对浮游植物或蓝藻的生长、繁殖促进作用的机制还未见有报道, 值得进一步研究。

本研究结果还表明, 水生植物密度与水体浮游植物总数量呈负相关(表 5), 这是由于水生植物和浮游藻类在营养物质和光能的利用上是竞争者, 前者个体大、生命周期长, 吸收和储存营养盐的能力强, 因而能很好地减低水体营养盐和光照强度并抑制浮游藻类的生长^[20]。另外, 某些水生植物能向水中分泌萜类、类固醇等化学物质来抑制藻类的生长。例如: 石菖蒲根系可向水体分泌化学物质, 从而破坏浮游植物的叶绿素 a , 显著影响其光合速率^[21]。沉水植物金鱼藻的化感物质有较强的抑藻效果^[22]。因此, 增加太湖水域水生植物密度是修复太湖水质的有效途径之一。

表 5 各水域浮游植物数量月变化与环境因子间的相关系数

Tab. 5 Correlation coefficient between monthly variation of phytoplankton quantity and environmental factors

	蓝藻总数量	浮游动物总数量	水生植物密度	总氮	总磷	COD_{Mn}
老鼠山浮游植物数量	0.869	0.880	-0.415	0.156	0.883	0.971
保护区浮游植物数量	0.729	0.535	-0.598	0.303	0.608	0.324
余山浮游植物数量	0.824	0.874	-0.319	0.623	0.799	0.659
漫山岛浮游植物数量	0.966	0.882	-0.652	0.285	0.924	0.896

3.2 鲢、鳙对太湖水体浮游生物的选择性

关于鲢、鳙对食物的选择性, 不同学者的研究结果有所不同。周洁等^[23]研究表明, 鲢、鳙对食物并无主动选择的能力; 而牟洪民等^[5]的研究表明, 鲢对蓝藻门的浮游植物有较大的选择性。本实验研究结果表明, 鲢、鳙对浮游植物中蓝藻门的选择性指数最高分别为 1.42、1.07, 对浮游动物中轮虫和原生动物的选择性指数分别为 0.13、1.3 和 1.27、0.4。尽管鲢对原生动物的选择性指数接近蓝藻门, 但是由于原生动物在鲢的食物组成中占的比例远小于蓝藻, 因

此, 太湖鲢的主要食物是蓝藻; 而尽管太湖鳙对轮虫等浮游动物的选择性指数要略大于蓝藻, 但由于蓝藻在水域环境中具有绝对数量优势, 因而, 太湖鳙的主要食物组成也是蓝藻。从鲢、鳙食物组成的分析结果显示, 太湖鲢、鳙的肠内含物中浮游植物和浮游动物分别占食物数量的 89.1%、70.6%和 10.9%、29.4%, 其中蓝藻分别占 74.5%、56.0%。枝角类和轮虫分别占 3.7%、13.4%和 1.5%、11.5%。这与 2007 年刘恩生^[7]对太湖鲢、鳙食物组成研究结果蓝藻门的微囊藻约占鲢、鳙食物体积比的 90%以

上相似。由于鳙肠内含物中浮游动物占比要高于鲢,而浮游动物的营养价值比浮游植物的高,因此,这可能是近年来太湖鳙的生长快于鲢的原因之一。本研究结果提示,为控制太湖蓝藻的爆发应加大鲢、鳙的放流数量,同时应适当加大鲢的放流比例。

4 结论

(1) 东太湖水体浮游植物表现出由春季到夏季数量逐渐增加,之后逐渐减少的趋势,4个季节蓝藻所占数量比例均最高。东太湖浮游植物的数量变化与蓝藻总数量、浮游动物总数量、总磷、COD_{Mn}显著正相关。大幅减少水体中的蓝藻密度、提高浮游生物的多样性以及降低总磷含量是改善太湖水质的重要途径。

(2) 东太湖保护区水生植物密度最高,富营养化最低;而漫山岛水生植物密度最低,其富营养化最高。因此,为缓解太湖的富营养化进程,在控制外源氮、磷污染同时,应恢复和保护水生植物。

(3) 鲢对浮游植物的选择性较大,鳙对浮游动物的选择性较大,为控制太湖蓝藻的爆发应加大鲢、鳙的放流数量,同时应适当加大鲢的放流比例。

参考文献:

- [1] 王苏民, 奚鸿身. 中国湖泊志[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 16-17, 22-23, 80-113.
- [2] 魏华, 成水平, 柴培宏, 等. 2009年秋季武汉大东湖北湖水系水生植物调查[J]. 湖泊科学, 2011, 23(3): 401-408.
- [3] 包先明, 丁卓丽, 祝朋飞, 等. 不同沉水植物在太湖污染底泥上适应性生长过程及水体氮磷的响应[J]. 土壤通报, 2007, 6: 1191-1195.
- [4] 崔福义, 林涛, 马放, 等. 水体治理中鲢鳙生物操纵作用的实验研究[J]. 南京理工大学学报, 2004, 28(6): 668-672.
- [5] 牟洪民, 姚俊杰, 方贵镇, 等. 贵阳红枫湖鲢、鳙的食性研究[J]. 淡水渔业, 2012, 42(3): 44-49.
- [6] 倪达书, 蒋燮治. 花鲢和白鲢的食性问题[J]. 动物学报, 1954, 6(1): 59-71.
- [7] 刘恩生, 鲍传和, 曹萍, 等. 太湖鲢、鳙的食物组成及渔获量变化原因分析[J]. 水利渔业, 2007, 27(4): 72-74.
- [8] 刘恩生, 鲍传和, 杨启超, 等. 巢湖鲢、鳙在富营养化条件下的食物组成分析[J]. 水生生态学报, 2009, 2(3): 27-31.
- [9] 张觉民, 何志辉. 内陆水域渔业资源调查手册[M]. 北京: 中国农业出版社, 1991: 12-175.
- [10] 韩茂森, 束蕴芳, 等. 中国淡水生物图谱[M]. 北京: 海洋出版社, 1995: 2-132.
- [11] 周凤霞, 陈剑虹. 淡水微型生物图谱[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 35-178.
- [12] 国家环境保护总局. 水与废水监测分析方法[M]. 第四版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 38-47, 200-284.
- [13] 杨彩根, 宋学宏, 孙丙耀, 等. 浮游植物叶绿素 a 含量简易测定方法的比较[J]. 海洋科学, 2007, 31(1): 6-9.
- [14] 郝友亮, 马启敏, 周华, 等. 东昌湖水体富营养化研究[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(10): 63-66.
- [15] 王鹤扬. 综合营养状态指数法在陶然亭湖富营养化评价中的应用[J]. 环境科学与管理, 2012, 37(9): 188-194.
- [16] 雷泽湘, 徐德兰, 黄沛生, 等. 太湖沉水和浮叶植被及其水环境效应研究[J]. 生态环境, 2006, 15(2): 239-243.
- [17] 沈韞芬, 章宗涉, 龚循矩, 等. 微生物监测新技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990, 13-135.
- [18] 谢平, 诸葛燕, 高村典子, 等. 水体富营养化对浮游生物群落多样性的影响[J]. 水生生物学报, 1996, 增刊: 20.
- [19] Xiong J L, Mei X G, Liu J S, et al. Comparative studies on community structure, biodiversity of plankton and zoobenthos in four lakes of different trophic states in China[J]. Asian Fisheries Science Journal, 2003, 16, 16(4): 361-372.
- [20] Scheffer M. The effect of aquatic vegetation on turbidity; how important are the filter feeders?[J]. Hydrobiologia, 1999, 408/409: 307-316.
- [21] 何池全, 叶居新. 石菖蒲克藻效应的研究[J]. 生态学报, 1999, 19(5): 754-758.
- [22] Elisabeth M G, Daniela E, Enik I. Allelopathic activity of *Ceratophyllum demersum* L. and *Najas marina* ssp. intermedia (Wolfgang) Casper[J]. Hydrobiologia, 2003, 506-509(1-3): 583-589.
- [23] 周洁, 林峰. 鲢、鳙的食性及其对藻类的消化利用[J]. 水生生物学报, 1990, 14(2): 170-175.

Annual variation of plankton in different water area of the East Taihu Lake and feeding habits of *Hypophthalmichthys molitrix* and *Aristichthys nobilis*

LI Qian-qian¹, HUANG He-zhong¹, ZHANG Qun-ying¹, WANG Xiao-lin², ZHU Mao-xiao², SHEN Zhen-hua², YUAN Wen-cheng¹, LU Jian-ming²

(1. School of Medicine and Life Sciences, Medical College of Soochow University, Fisheries Research Institute of Soochow University, Suzhou 215123, China; 2. Taihu Lake Fishery Administer Committee of Jiangsu Province, Suzhou 215004, China)

Received: Feb.,19,2013

Key words: the East Taihu Lake; plankton; diversity; feeding habits

Abstract: The composition, quantity of the plankton and the density of aquatic plant in different water area of the East Taihu Lake were investigated from February to November in 2012, and the feeding habits of *Hypophthalmichthys molitrix* and *Aristichthys nobilis* in September in the Taihu Lake were studied. The results showed that the order of phytoplankton and zooplankton's diversity index in four water areas was Protection Zone>Yushan>Mouse Mountain>Manshandao. The order of quantity of plankton and trophic lever index in the four water areas was Manshandao>Mouse Mountain>Yushan>Protection Zone. The total quantity of phytoplankton had a positive correlation with the total quantity of cyanobacteria. The total quantity of zooplankton and the eutrophication factors, however, has a negative correlation with the aquatic plant density. In September, the percentages of the phytoplankton and zooplankton in total fed quantity contained in the intestinal of *H. molitrix* or *A. nobilis* in the Taihu Lake were 89.1% or 70.6% and 10.9% or 29.4%, respectively, and the percentage of cyanobacteria was 74.5% or 56%, and that of cladocerans and rotifers were 3.7% or 13.4% and 1.5% or 11.5%, respectively. The selective index of cyanobacteria for *H. molitrix* or *A. nobilis* was 1.42 or 1.07, and that of cladocerans and rotifers was 0.13 or 1.27 and 1.3 or 0.4, respectively. The results of this study have theoretical value and great significance to reveal the effect of environmental factors on annual variation of plankton and to control cyanobacteria through *H. molitrix* and *A. nobilis* in the Taihu Lake.

(本文编辑: 梁德海)