

doi: 10.7541/2014.21

## 鄱阳湖国家级自然保护区浮游生物群落结构及空间分布

张 婷<sup>1</sup> 马行厚<sup>1</sup> 王桂苹<sup>1</sup> 李德亮<sup>1</sup> 金斌松<sup>2</sup> 秦海明<sup>2</sup>

(1. 湖南农业大学动物科学技术学院, 长沙 410128; 2. 南昌大学生命科学研究院流域生态学研究所, 南昌 330031)

**摘要:** 为评价春季大旱后鄱阳湖国家级自然保护区浮游生物现状, 对保护区所辖 8 个子湖及赣江和修河部分河段的浮游生物进行调查和分析。调查共发现浮游植物 53 属 97 种、浮游动物 23 属 42 种 (包括原生动物 13 种、轮虫 23 种、枝角类 3 种和桡足类 3 种), 其中大湖池和朱市湖是浮游生物种类数最多的 2 个子湖。各子湖及赣江和修河间浮游生物现存量差异较大, 其变化范围分别为 260—(8.18×10<sup>6</sup>) cells/L (浮游植物)、3630—73173 ind./L (浮游动物), 赣江以西区域的子湖和修河的浮游生物现存量显著高于赣江及其以东区域的子湖。调查水域优势度值 ( $Y$ ) 大于 0.02 的浮游生物包括蓝藻 1 种、绿藻 2 种、硅藻 5 种、原生动物 4 种及轮虫 5 种。浮游生物 Shannon-Wiener 多样性指数 ( $H'$ ) 和均匀度指数 ( $J$ ) 的最大值均分别为 2.41 和 0.96, 而其丰富度指数 ( $D_m$ ) 值均小于 3。3 种多样性指数综合评价表明, 保护区各子湖与修河和赣江水体受污染程度较轻, 除蚌湖和梅西湖外, 均处于中污状态。

**关键词:** 鄱阳湖; 浮游植物; 浮游动物; 群落结构; 空间分布

中图分类号: Q145<sup>+</sup>.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2014)01-0158-08

鄱阳湖国家级自然保护区 (115°55′-116°03′ E, 29°05′-29°15′ N) 位于长江中下游、江西省鄱阳湖西北部、赣江北支与修河下游交汇处<sup>[1, 2]</sup>, 该处河湖交错, 地形复杂, 生物多样性丰富。1983 年保护区经江西省人民政府批准建立, 1985 年晋升为国家级, 1992 年被列入“世界重要湿地名录”, 主要保护对象为珍稀候鸟及湿地生态系统。保护区管辖有蚌湖、沙湖、朱市湖、大湖池、常湖池、梅西湖、中湖池、大汉湖和象湖 9 个子湖及赣江和修河部分河段, 总面积 2.24×10<sup>8</sup> m<sup>2</sup>, 年降雨量 1350—2150 mm, 属亚热带季风性湿润气候<sup>[3-5]</sup>。近 30 年来, 人类不合理的开发导致鄱阳湖流域森林锐减、水土流失、旱涝频发、湿地减少、湖体萎缩等生态环境问题日益突出<sup>[5]</sup>。2011 年春季, 鄱阳湖流域遭遇 50 年一遇的大旱, 水域面积严重萎缩, 对流域内水生生物资源构成严重威胁。因此, 全面评价旱情缓解后保护区水环境状况, 对于分析干旱对保护区生态环境的影响具有重要意义。

浮游生物是水生态系统中重要的组成部分, 在水生态系统的物质循环、能量流动和信息传递过程中起着至关重要的作用<sup>[6]</sup>。浮游生物种类组成与物种多样性是衡量其群落结构特征的基础, 也是反映水体营养状况的重要指标。常用的多样性指数包括 Shannon-Wiener 多样性指数 ( $H'$ )、Margalef 丰富度指数 ( $D_m$ ) 和 Pielou 均匀度指数等 ( $J$ )<sup>[7, 8]</sup>。因多样性指数与水质的关系复杂, 受水体类型、计算方法和鉴定种类等多种因素的影响, 故通常同时选用 2 种及 2 种以上的指标来综合评价水质, 以确保评价结果的可靠性<sup>[7]</sup>。为评价春季大旱后鄱阳湖国家级自然保护区浮游生物现状, 本研究于大旱缓解后对保护区浮游生物进行综合调查, 以便为其生态环境保护提供基础资料。

### 1 材料与方法

#### 1.1 采样时间和采样样点设置

2011 年 8 月对鄱阳湖国家级自然保护区所辖

收稿日期: 2013-05-19; 修订日期: 2013-12-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(31000183、31100282、31260107)资助

作者简介: 张婷(1981—), 女, 湖北广水人; 博士, 副教授; 主要从事藻类生理生态学研究。E-mail: tingzh0517@163.com

通信作者: 李德亮, E-mail: lideliang80@aliyun.com

8 个子湖及赣江和修河部分河段的浮游生物进行采样调查, 共设置 15 个采样样点, 即蚌湖和大湖池各 3 个, 沙湖 2 个, 朱市湖、梅西湖、中湖池、大汉湖、象湖、赣江和修河分别各设 1 个 (图 1)。

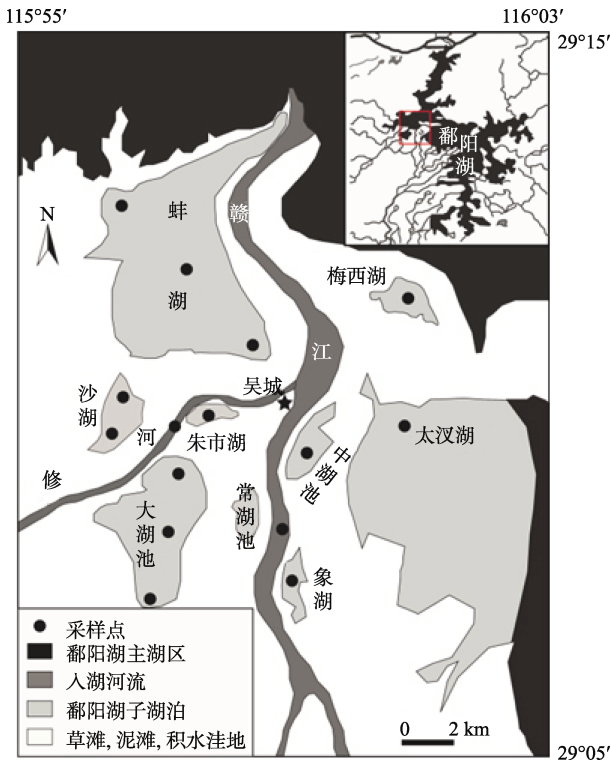


图 1 鄱阳湖国家级自然保护区采样样点示意图

Fig. 1 Sampling sites in the Poyang Lake National Nature Reserve

## 1.2 样品采集与分析

浮游生物定量样品采集于定性样品之前。浮游植物、原生动物和轮虫定量样品用 2.5 L 有机玻璃采水器采集, 水深在 3 m 以内时只采表层 (0.5 m) 水样, 水深大于 3 m 时则分层采样且各层等量混合成 1 个水样, 取 1 L 水样置于广口塑料瓶 (1 L) 中, 现场用 1% 体积的鲁哥氏液固定, 样品带回实验室后静置沉降 24h 以上, 沉淀浓缩后计数。枝角类和桡足类定量样品则采用 5 L 有机玻璃采水器采集 4 次获得, 再用 25<sup>#</sup> (网孔直径为 64 μm) 浮游生物网过滤浓缩, 最后将网头中的样品收集于 50 mL 样品瓶中, 现场用 5% 的福尔马林溶液固定, 样品带回实验室后继续静置沉降、浓缩后计数。浮游植物、浮游动物定性样品分别采用 25<sup>#</sup>、13<sup>#</sup> 浮游生物网在水面表层呈“∞”字形缓慢捞取, 并分别将网内浓缩液置于 100 mL 塑料水样瓶中, 现场分别用 1% 体积的鲁哥氏液、5% 的福尔马林溶液固定, 带回实验室镜检分类。

## 1.3 数据处理与分析<sup>[7]</sup>

α多样性的分析:

(1) 多样性指数 Shannon-Wiener 指数  $H' =$

$$-\sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

(2) 丰富度指数 Margalef 指数  $D_m = (S-1)/\ln N$

(3) 均匀度指数 Pielou 指数  $J = H'/\ln S$

上述式中  $p_i = n_i/N$ ,  $n_i$  为  $i$  种的个体数,  $N$  为所有种类总个体数,  $S$  为物种数。  $H' > 3$ , 清洁; 1—3, 中污; 0—1, 重污。  $D_m > 3$ , 清洁; 2—3, 轻污; 1—2, 中污; 0—1, 重污。  $J > 0.5$ , 清洁; 0.3—0.5, 中污; 0—0.3, 重污。

优势种的确定: 优势度值 ( $Y$ ) 大于 0.02 的种类确定为优势种。  $Y = (n_i/N) \times f_i$ , 式中  $n_i$  为  $i$  种的个体数,  $N$  为所有种类总个体数,  $f_i$  为第  $i$  种出现的频率。

统计分析: 本研究数据分析和图表绘制在 Origin Version 8.0 中进行, 空间格局分布图利用专业地理信息统计软件 ArcGIS 9.2 和 Photoshop CS 共同绘制。

## 2 结果

### 2.1 种类组成与水平分布

调查共检出浮游植物 6 门 53 属 97 种。其中, 以绿藻门种类数最多, 25 属 43 种 (44.33%); 硅藻门次之, 14 属 29 种 (29.90%); 蓝藻门位居第三, 8 属 14 种 (14.43%); 甲藻门 3 属 4 种, 裸藻门 1 属 4 种 (二者均为 4.12%); 隐藻门最少, 2 属 3 种 (3.09%)。共检出浮游动物 23 属 42 种。其中, 原生动物 13 种 (30.95%), 隶属于 3 目 6 属; 轮虫 23 种 (54.76%), 隶属于 6 科 12 属; 枝角类 3 种 (7.14%), 隶属于 3 科 3 属; 桡足类 3 种 (7.14%), 隶属于 2 科 2 属。

各子湖及赣江和修河的浮游植物种类数差异较大, 位于赣江以西和修河以南区域的大湖池和朱市湖是浮游植物种类数最多的 2 个子湖, 其中大湖池高达 44 种 (占总种类数的 45.36%)、朱市湖 36 种 (占总种类数的 37.11%); 位于赣江以西和修河以北区域的沙湖和蚌湖浮游植物种类数分别为 20 种 (占总种类数的 20.62%) 和 11 种 (占总种类数的 11.34%), 赣江浮游植物种类数与蚌湖相同; 位于赣江以东区域的中湖池、梅西湖、大汉湖、象湖以及修河浮游植物种类数均不足 10 种, 其中象湖仅 4 种 (占总种类数的 4.12%) (图 2a)。

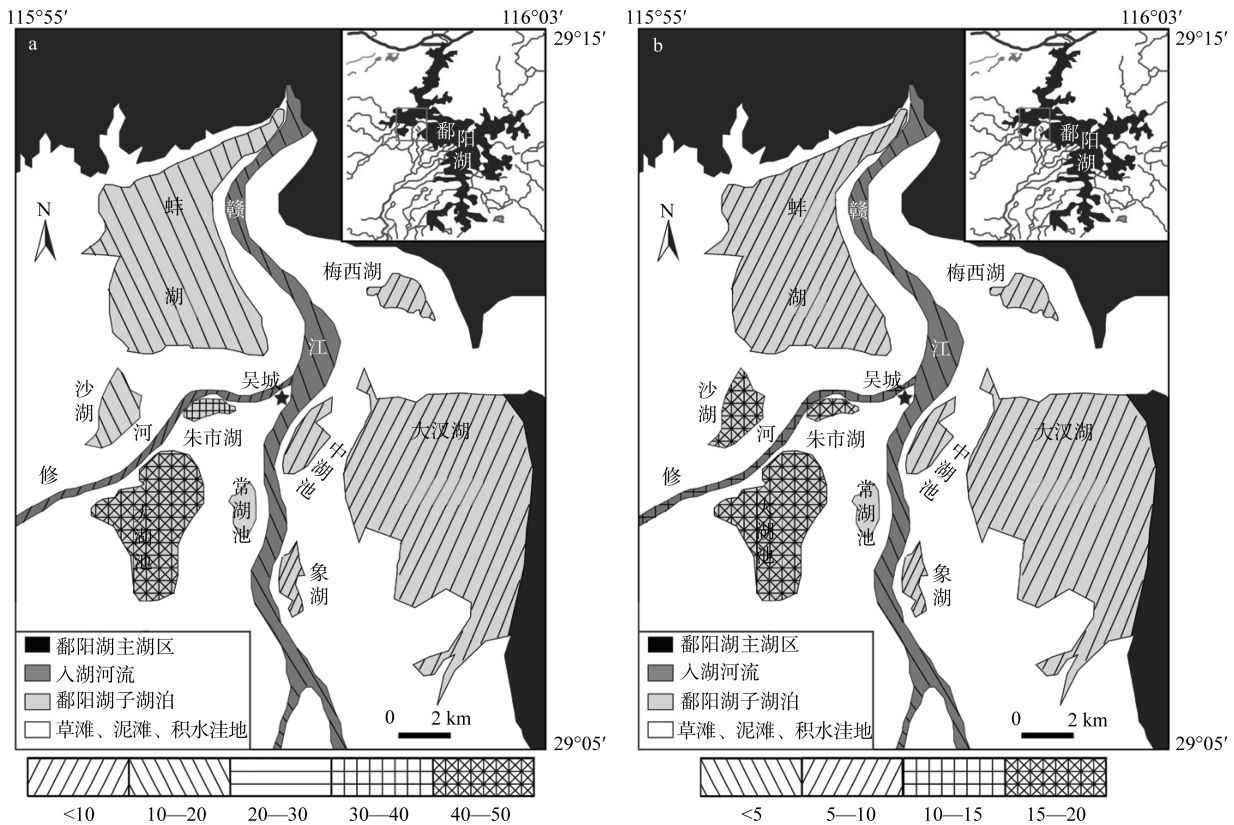


图 2 鄱阳湖国家级自然保护区浮游植物(a)和浮游动物(b)的水平分布

Fig. 2 Horizontal distribution of the number of phytoplankton (a) and zooplankton (b) in the Poyang Lake National Nature Reserve

同浮游植物相似,各子湖及赣江和修河的浮游动物种类数差异也较大。紧邻修河南北两岸的大湖池、朱市湖和沙湖是浮游动物种类数最多的 3 个子湖,其中大湖池 20 种(占总种类数的 47.62%)、朱市湖 18 种(占总种类数的 42.86%)、沙湖 17 种(占总种类数的 40.48%);修河浮游动物种类数略低于前三者,为 14 种(占总种类数的 33.33%);其余 5 个子湖浮游动物种类数均不超过 10 种,且中湖池(10 种)>蚌湖(9 种)>象湖(7 种)>梅西湖=大汉湖(6 种);赣江浮游动物种类数最少,仅 4 种(占总种类数的 9.52%)(图 2b)。

## 2.2 现存量与水平分布

各子湖及赣江和修河间浮游植物现存量(以细胞密度表示)的差异较大(图 3a)。紧邻修河的朱市湖、大湖池的浮游植物现存量相对较高,分别为  $8.18 \times 10^6$  和  $3.39 \times 10^6$  cells/L;沙湖、修河、蚌湖的次之,分别为  $1.57 \times 10^6$ 、 $1.49 \times 10^6$ 、 $1.21 \times 10^6$  cells/L;赣江的最低,仅为 260 cells/L。由此可见,在被调查的鄱阳湖国家级自然保护区内,赣江以西区域的子湖和修河的浮游植物现存量显著高于赣江及其以东

区域的子湖。各子湖及赣江和修河间浮游植物各门类的现存量也存在较大差异。梅西湖、大湖池、蚌湖、朱市湖和沙湖的蓝藻占较大比例,分别达到 75.22%、74.93%、72.89%、69.19% 和 47.78%;修河、象湖以硅藻为主,分别为 97.98%、71.49%;大汉湖则以绿藻为主,94.52%;中湖池各门类分布相对均匀,各占一定比例;赣江浮游植物细胞密度非常低,但仍以蓝藻为主。

各子湖及赣江和修河间浮游动物现存量(以丰度表示)也存在差异(图 3b)。赣江以西区域的子湖和修河的浮游动物现存量也显著高于赣江及其以东区域的子湖。在赣江以西的区域内,浮游动物丰度的大小顺序依次表现为:蚌湖(73173 ind./L) > 沙湖(42348 ind./L) > 朱市湖(25302 ind./L) > 修河(14392 ind./L) > 大湖池(10551 ind./L),其中,蚌湖、沙湖和大湖池以原生动物为主(98.32%、84.27% 和 67.45%),朱市湖和修河则以轮虫为主(82.57% 和 86.27%);在赣江及赣江以东的区域内,浮游动物丰度的大小依次为:大汉湖(7020 ind./L) > 象湖(6449 ind./L) > 中湖池(6420 ind./L) > 梅西湖



(5103 ind./L) > 赣江 (3630 ind./L), 其中, 中湖池以原生动物为主 (69.42%), 其余各子湖及赣江的原生动物与轮虫间无显著差异。各子湖及赣江和修河的枝角类和桡足类丰度较低, 朱市湖是数量最多的地方, 其枝角类和桡足类数量均仅为 63 ind./L。

### 2.3 优势种

本次鄱阳湖国家级自然保护区调查浮游植物的优

势种为蓝藻门的水华鱼腥藻 (*Anabaena flos-aquae*), 绿藻门的四尾栅藻 (*Scenedesmus quadricauda*) 和双对栅藻 (*S. bijuga*), 硅藻门的颗粒直链藻最窄变种 (*Melosira granulata* var. *angustissima*)、颗粒直链藻 (*M. granulata*)、螺旋颗粒直链藻 (*M. granulata* var. *angustissima* f. *spiralis*)、尖针杆藻 (*Synedra acus*) 和钝脆杆藻 (*Fragilaria capucina*)。

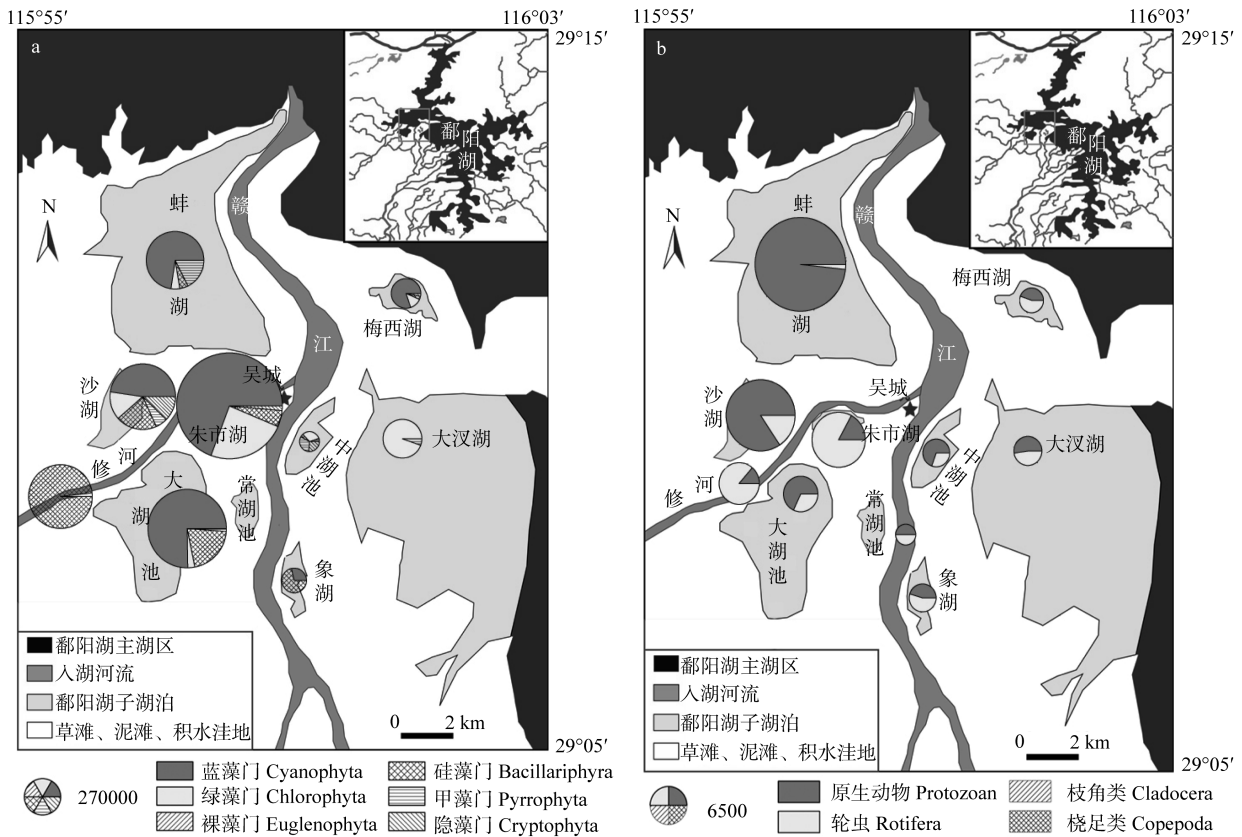


图 3 鄱阳湖国家级自然保护区浮游植物(a)细胞密度(cells/L)和浮游动物(b)丰度(ind./L)

Fig. 3 Cell density of phytoplankton (a) and abundance of zooplankton (b) in the Poyang Lake National Nature Reserve

浮游动物也存在明显的优势种, 其中原生动物 4 种、轮虫 5 种, 即紫晶喇叭虫 (*Stentor amethystinus*)、片口砂壳虫 (*Diffugia lobostoma*)、盘状匣壳虫 (*Centropyxis discoides*)、绿急游虫 (*Strombidium viride*)、裂足臂尾轮虫 (*Brachionus diversicornis*)、肛突臂尾轮虫 (*B. bennini*)、罗氏异尾轮虫 (*Trichocerca rousseletii*)、长刺异尾轮虫 (*T. longiseta*)、盖氏晶囊轮虫 (*Asplanchna girodide*)。

### 2.4 物种多样性

浮游植物 Shannon-Wiener 多样性指数 ( $H'$ )、均匀度指数 ( $J$ ) 和丰富度指数 ( $D_m$ ) 的变化范围分别为 0.81—2.41、0.38—0.96 和 0.30—2.9。其中,

梅西湖和赣江的多样性指数  $H'$  值小于 1, 其余各子湖和修河的  $H'$  值均介于 1—3; 浮游植物的均匀度较好,  $J$  值均大于 0.3 ( $J > 0.5$  的水体占 70%, 赣江、大湖池和梅西湖的  $J$  值介于 0.3—0.5); 但丰富度较差,  $D_m$  值均小于 3, 且  $D_m$  值小于 1 的水体占 60% (表 1)。

浮游动物 Shannon-Wiener 多样性指数 ( $H'$ )、均匀度指数 ( $J$ ) 和丰富度指数 ( $D_m$ ) 的变化范围分别为 0.19—2.41、0.09—0.96 和 0.37—2.04。其中, 蚌湖和沙湖的多样性指数  $H'$  值小于 1, 其余各子湖及赣江和修河的  $H'$  值均介于 1—3; 蚌湖的均匀度指数  $J$  值最小仅 0.09, 沙湖的  $J$  值 0.34, 其

余各子湖及赣江和修河的  $J$  值均大于 0.5; 浮游动物的丰富度也较差,  $D_m$  值均小于 3, 且赣江、大湖池、梅西湖、蚌湖和象湖的  $D_m$  值均小于 1 (表 1)。

相对于 Shannon-Wiener 多样性指数和均匀度

指数, 用丰富度指数评价水质的结果较重。3 种多样性指数综合评价表明, 保护区各子湖与修河和赣江水体受污染程度较轻, 除蚌湖和梅西湖外, 均处于中污状态 (表 1)。

表 1 鄱阳湖国家级自然保护区浮游生物多样性指数及其水质评价  
Tab. 1 Diversity indices of plankton and water quality evaluation in the Poyang Lake National Nature Reserve

调查区域 Survey area	蚌湖 Lake Banghu	沙湖 Lake Shahu	朱市湖 Lake Zhushihu	大湖池 Lake Dahuchi	梅西湖 Lake Meixihu	中湖池 Lake Zhonghuchi	大湖湖 Lake Dachahu	象湖 Lake Xianghu	修河 Xiu River	赣江 Gan River
浮游植物 Phytoplankton										
$H'$	1.44	2.41	2.25	1.61	0.81	1.88	1.39	1.54	1.15	0.9
水质	中污	中污	中污	中污	重污	中污	中污	中污	中污	重污
Water quality										
$J$	0.6	0.8	0.63	0.42	0.45	0.9	0.86	0.96	0.64	0.38
水质	清洁	清洁	清洁	中污	中污	清洁	清洁	清洁	清洁	中污
Water quality										
$D_m$	0.71	1.43	2.2	2.9	0.39	0.59	0.3	0.32	0.35	1.8
水质	重污	中污	轻污	轻污	重污	重污	重污	重污	重污	中污
Water quality										
浮游动物 Zooplankton										
$H'$	0.19	0.93	2.41	2.15	1.7	1.92	1.46	1.51	2.39	1.33
水质	重污	重污	中污	中污	中污	中污	中污	中污	中污	中污
Water quality										
$J$	0.09	0.34	0.83	0.72	0.95	0.83	0.81	0.78	0.91	0.96
水质	重污	中污	清洁	清洁	清洁	清洁	清洁	清洁	清洁	清洁
Water quality										
$D_m$	0.62	1.41	1.68	2.04	0.59	1.03	0.56	0.68	1.36	0.37
水质	重污	中污	中污	轻污	重污	中污	重污	重污	中污	重污
Water quality										

### 3 讨论

#### 3.1 种类组成的变化特征

保护区曾在 1996—1997 年对其所辖水域水生生物资源进行一次全面的调查<sup>[2,9]</sup>。调查共记录到浮游植物 50 种, 隶属 7 门 31 属。其中硅藻门的种类最多, 共 21 种 (42.0%); 其次是绿藻门, 有 17 种 (34.0%); 蓝藻门 5 种 (10.0%)、裸藻门 3 种、隐藻门 2 种、金藻门和甲藻门各 1 种。共记录到浮游动物 47 种, 其中原生动物 14 种、轮虫 20 种、枝角类 8 种和桡足类 5 种。与上次调查结果相比, 2011 年 8 月保护区水域浮游植物种类数 (97 种) 增加近 1 倍, 主要体现在绿藻门 (44.3%) 和蓝藻门 (14.4%) 的种类数增幅显著, 硅藻门 (29.9%) 的比例反而下降。由此可见, 近 15 年间保护区水域夏季浮游植物群落结构发生了显著变化, 种类数显著增加, 且种类组成已由硅藻为主逐步演替为绿藻为主, 类似的结果在武汉梁子湖区已有报道<sup>[10]</sup>。与浮游植物不同, 浮游动物的种类数略有减

少, 但仍以轮虫和原生动物为主, 其变化不显著。将保护区各子湖及赣江和修河的浮游生物种类数进行比较, 位于修河两岸的大湖池、朱市湖和沙湖是浮游生物种类数最多的 3 个子湖。浮游生物的群落结构变化应该是水体理化环境 (太阳辐射、水体温度、无机营养盐等) 和生物环境 (鱼类等的牧食) 综合影响的结果<sup>[11]</sup>, 但导致鄱阳湖国家级自然保护区水域浮游生物群落结构演替的具体环境因子则有待于进一步分析。

#### 3.2 现存量的变化特征

与浮游生物种类数的空间分布特征相似, 浮游植物现存量 (以细胞密度表示) 最大的 3 个子湖也是大湖池、朱市湖和沙湖, 其蓝藻均占较大比例, 分别达到 69.19%、74.93% 和 47.78%。通常来说, 浮游植物细胞密度可以反映水体富营养化程度<sup>[12, 13]</sup>。蓝藻作为耐污性较强的种类, 其细胞密度越高, 表明水体富营养化程度越严重<sup>[14]</sup>。尽管保护区各子湖及赣江和修河的浮游植物细胞密度均未超过  $9 \times 10^6$  cells/L ( $10-40 \times 10^6$  cells/L 为中营养型<sup>[13]</sup>), 但梅西湖

(75.22%)、大湖池、蚌湖 (72.89%)、朱市湖和沙湖等 5 个子湖以及赣江均以蓝藻为主, 说明保护区水域夏季的水质存在向富营养水平演变的趋势。

保护区水域浮游动物的现存量 (以丰度表示) 均超过 3000 ind./L, 显著大于 1997 年夏季的调查结果 (最大值为 707 ind./L)<sup>[9]</sup>, 主要表现在小型的轮虫、原生动物数量大幅增加, 浮游动物的种群结构趋向于小型化, 类似的结果在湖泊和水库中均已报道<sup>[15, 16]</sup>。已有的研究表明, 浮游动物群落结构组成趋向小型化, 除受本身演替规律影响外, 主要是受浮游植物等饵料生物的上行效应以及鱼类摄食的下行效应影响<sup>[17]</sup>。此外, 温度的升高也可能是导致大型浮游动物丰度降低的原因之一<sup>[15]</sup>, 但导致鄱阳湖浮游动物群落结构小型化趋势的具体原因还有待于进一步研究。与此同时, 在全球气候变暖的大背景下, 研究水温对鄱阳湖国家级自然保护区浮游生物群落结构的影响具有重要意义。

### 3.3 优势种与生物多样性的变化特征

浮游植物是对水质变化较敏感的一类生物<sup>[18]</sup>, 已作为评价水体营养等级的重要环境指示生物<sup>[19]</sup>。通过浮游植物的水样分析, 调查水域夏季的优势种为水华鱼腥藻、四尾栅藻、双对栅藻、颗粒直链藻最窄变种、颗粒直链藻、螺旋颗粒直链藻、尖针杆藻和钝脆杆藻, 主要是中、富营养型水体的指示种类<sup>[13]</sup>。浮游植物是水体中重要的初级生产者, 其群落结构特征常作为水环境评价的重要指标<sup>[20]</sup>。一般而言, 清洁的水体中浮游植物群落多样性指数高, 而污染水体的浮游植物多样性指数低<sup>[21]</sup>。保护区水域夏季浮游植物 Shannon-Wiener 多样性指数 ( $H'$ ) 值均小于 3 ( $H' > 3$ , 清洁), 其中梅西湖和赣江的  $H'$  值小于 1 (0—1, 重污)。但  $\alpha$  多样性指数是描述群落内多样性的指数, 与丰富度和均匀度也密切相关<sup>[22]</sup>。梅西湖浮游植物的均匀度较好 ( $J = 0.45$ , 中污), 但其丰富度很低 ( $D_m = 0.39$ , 重污); 相反, 赣江浮游植物的均匀度不高 ( $J = 0.38$ ), 但其丰富度较好 ( $D_m = 1.8$ , 中污)。由此可见, 梅西湖浮游植物群落多样性降低主要是由物种丰富度减少所致, 而赣江浮游植物群落多样性不高则主要与物种均匀度不高有关。依据浮游植物 Shannon-Wiener 多样性指数判断, 保护区其余水域均处于中污状态, 反映了均匀度和丰富度综合作用的结果。

浮游动物是水体中重要的生物组成部分, 起着

非常重要的调控作用, 其动态变化控制着初级生产力的节律、规模和归宿<sup>[23]</sup>, 其多样性也是水域生态系统服务功能的重要评价指标之一。保护区水域夏季浮游动物的优势种既有喜寡营养的片口砂壳虫, 也有紫晶喇叭虫、裂足臂尾轮虫、肛突臂尾轮虫、罗氏异尾轮虫、长刺异尾轮虫、盖氏晶囊轮虫等中、富营养化的指示种类<sup>[24—26]</sup>。与浮游植物相似, 保护区水域夏季浮游动物 Shannon-Wiener 多样性指数 ( $H'$ ) 值也均小于 3, 但  $H'$  值小于 1 的水体是蚌湖 ( $H' = 0.19$ ) 和沙湖 ( $H' = 0.93$ )。其中, 蚌湖浮游动物的均匀度 ( $J = 0.09$ ) 和丰富度 ( $D_m = 0.62$ ) 均较低, 而沙湖丰富度较好 ( $D_m = 1.41$ )、均匀度不高 ( $J = 0.34$ )。均匀度反映的是群落内各物种分布的均匀程度<sup>[27]</sup>, 夏季较低的均匀度可能是引起蚌湖和沙湖浮游动物多样性指数低的主要原因之一。浮游动物是水生食物链 (网) 的关键环节, 其群落结构不仅制约着浮游植物的群落结构及种群丰度, 而且对鱼、虾等水生生物资源产生着直接或间接的影响<sup>[28]</sup>, 对水禽生境也起着重要的作用。鄱阳湖是我国最早列入国际重要水禽生境名录的湿地保护区之一, 也是我国最大的淡水渔业资源产区<sup>[5]</sup>。因此, 维护好鄱阳湖国家级自然保护区的浮游生物多样性, 对珍稀鸟类、鱼类种质资源的保护及种群的维持有重要意义。尽管利用浮游动物群落多样性评价水质状况和应用浮游植物进行评价存在一定差异, 但大多数的结果一致, 均显示保护区部分水域浮游生物多样性较低, 一些富营养化的指示种类频频出现。

致谢:

感谢湖南农业大学动物科学技术学院陈兵和张健在样品采集中给予的帮助。

参考文献:

- [1] Ge G, Li E X, Wu H P, et al. Invasive plants in the national nature reserve of Lake Poyang [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2010, 22(1): 93—97 [葛刚, 李恩香, 吴和平, 等. 鄱阳湖国家级自然保护区的外来入侵植物调查. 湖泊科学, 2010, 22(1): 93—97]
- [2] Cai H S, Zhu D H, Zhang X L, et al. Dynamics analysis of the ecological capacity in Poyang Lake nature reserve based on RS and GIS [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(11): 4751—4757 [蔡海生, 朱德海, 张学玲, 等. 鄱阳湖自然保护区生态承载力. 生态学报, 2007, 27(11): 4751—4757]
- [3] Wu J T. Evaluation of the wetland ecosystem of the Poyang Lake national nature reserve in Jiangxi Province [J]. *Journal*

- of *Natural Resources*, 1994, **9**(4): 333—340 [吴江天. 江西鄱阳湖国家级自然保护区湿地生态系统评价. 自然资源学报, 1994, **9**(4): 333—340]
- [4] Zhu L, Zhao Y W, Liu L M. Protective utilization and function estimate of wetlands ecosystem in Poyang Lake [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, **18**(2): 196—200 [朱琳, 赵英伟, 刘黎明. 鄱阳湖湿地生态系统功能评价及其利用保护对策. 水土保持学报, 2004, **18**(2): 196—200]
- [5] Jin B S, Nie M, Li Q, *et al.* Basic characteristics, challenges and key scientific questions of the Poyang Lake Basin [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2012, **21**(3): 268—275 [金斌松, 聂明, 李琴, 等. 鄱阳湖流域基本特征、面临挑战和关键科学问题. 长江流域资源与环境, 2012, **21**(3): 268—275]
- [6] Liu J K. *Advanced Hydrobiology* [M]. Beijing: Science Press, 1999, 214 [刘健康. 高级水生生物学. 北京: 科学出版社, 1999, 214]
- [7] Zhang T, Li L, Song L R. Annual dynamics of phytoplankton abundance and community structure in the Xionghe Reservoir [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, **29**(6): 2971—2979 [张婷, 李林, 宋立荣. 熊河水库浮游植物群落结构的周年变化. 生态学报, 2009, **29**(6): 2971—2979]
- [8] Li D L, Zhang T, Xiao T Y, *et al.* Phytoplankton's community structure and its relationship with environmental factors in an aquaculture lake, Datong Lake of China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2012, **23**(8): 2107—2113 [李德亮, 张婷, 肖调义, 等. 大通湖浮游植物群落结构及其与环境因子关系. 应用生态学报, 2012, **23**(8): 2107—2113]
- [9] Wu Y H. Study on the Poyang Lake National Nature Reserve in Jiangxi Province [M]. Beijing: China Forestry Press, 2004 [吴英豪. 江西鄱阳湖国家级自然保护区研究. 北京: 中国林业出版社, 2004, 15-20]
- [10] Xia S, Zhang Q, Liu G X, *et al.* Ecological influences of phytoplankton community in an experimental man-made lake [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2013, **37**(4): 295—305 [夏爽, 张琪, 刘国祥, 等. 人工试验湖泊浮游藻类群落的生态学研究. 水生生物学报, 2013, **37**(4): 295—305]
- [11] Song X L, Liu Z W, Pan H K, *et al.* Phytoplankton community structure in Meiliang Bay and Lake Wuli of Lake Taihu [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2007, **19**(6): 643—651 [宋晓兰, 刘正文, 潘宏凯, 等. 太湖梅梁湾与五里湖浮游植物群落的比较. 湖泊科学, 2007, **19**(6): 643—651]
- [12] Wang Y, Liu L S, Shu J M, *et al.* Community structure of phytoplankton and the water quality assessment in Lake Baiyangdian [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2011, **23**(4): 575—580 [王瑜, 刘录三, 舒俭民, 等. 白洋淀浮游植物群落结构与水质评价. 湖泊科学, 2011, **23**(4): 575—580]
- [13] Kuang Q J, Ma P M, Hu Z Y, *et al.* Study on the evaluation and treatment of lake eutrophication by means of algae biology [J]. *Journal of Safety and Environment*, 2005, **5**(2): 87—91 [况琪军, 马沛民, 胡征宇, 等. 湖泊富营养化的藻类生物学评价与治理研究进展. 安全与环境学报, 2005, **5**(2): 87—91]
- [14] Wang Z H, Lin Q Q, Hu R, *et al.* Pollution by blue-green algae (Cyanophyta) in reservoirs of Guangdong Province and water quality evaluation [J]. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2004, **12**(2): 117—123 [王朝辉, 林秋奇, 胡韧, 等. 广东省水库的蓝藻污染状况与水质评价. 热带亚热带植物学报, 2004, **12**(2): 117—123]
- [15] Chen G R, Lei Z X, Tan Z, *et al.* Influence on Metazoan zooplankton by environmental factors in Urban lakes in Guangzhou Province [J]. *Journal of Hydroecology*, 2011, **3**(4): 28—32 [陈光荣, 雷泽湘, 谭镇, 等. 环境因子对广东城市湖泊后生浮游动物的影响. 水生态学杂志, 2011, **3**(4): 28—32]
- [16] Fang Y H, Chang X L, Huang D M, *et al.* Constructional characteristics of zooplankton community at Longtan reservoir of the Hongshui River [J]. *Journal of Hydroecology*, 2011, **32**(5): 50—54 [方艳红, 常秀玲, 黄道明, 等. 红水河龙滩水库浮游动物群落结构特征. 水生态学杂志, 2011, **32**(5): 50—54]
- [17] Zheng X Y, Wang L Q, Gai J J, *et al.* Dynamic and community structure of zooplankton in Dianshan Lake [J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2009, **44**(5): 78—85 [郑小燕, 王丽卿, 盖建军, 等. 淀山湖浮游动物的群落结构及动态. 动物学杂志, 2009, **44**(5): 78—85]
- [18] Hong S, Chen J S. Structure characteristics of aquatic community from the main rivers in China [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2002, **26**(3): 295—305 [洪松, 陈静生. 中国河流水生生物群落结构特征探讨. 水生生物学报, 2002, **26**(3): 295—305]
- [19] Su Y, Wen H, Wang D W, *et al.* Analysis on the key water quality factors to phytoplankton community in Wujingang Region of Taihu Lake [J]. *Environmental Science*, 2011, **32**(7): 1945—1951 [苏玉, 文航, 王东伟, 等. 太湖武进港区域浮游植物群落特征及其主要水质污染影响因子分析. 环境科学, 2011, **32**(7): 1945—1951]
- [20] Suikkanen S, Laamanen M, Huttunen M. Long-term changes in summer phytoplankton communities of the open northern Baltic Sea [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2007, **71**(3-4): 580—592
- [21] Zhang W, Wang W D, Wang L Q, *et al.* Phytoplankton community structure in Shijiuyang constructed wetland of Jiaxing, Zhejiang Province of East China in winter [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, **22**(9): 2431—2437 [张玮, 王为东, 王丽卿, 等. 嘉兴石臼漾湿地冬季浮游植物群落结构特征. 应用生态学报, 2011, **22**(9): 2431—2437]
- [22] Deng J M, Cai Y J, Chen Y W, *et al.* Structure of phytoplankton community and its relationship with environment factors in Lake Honghu [J]. *Journal of Lake Science*, 2010, **22**(1): 70—78 [邓建明, 蔡永久, 陈宇炜, 等. 洪湖浮游植物群落结构及其与环境因子的关系. 湖泊科



- 学, 2010, 22(1): 70—78]
- [23] Guo P Y, Shen H T, Liu A C, *et al.* The species composition, community structure and diversity of zooplankton in Changjiang estuary [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(5): 892—900 [郭沛涌, 沈焕庭, 刘阿成, 等. 长江河口浮游动物的种类组成、群落结构及多样性. 生态学报, 2003, 23(5): 892—900]
- [24] Ma X F, Xiong B X, Wang W M, *et al.* Zooplankton in Daoguanghe Reservoir, Hubei Province [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2005, 24(1): 63—67 [马徐发, 熊邦喜, 王卫民, 等. 道观河水库浮游动物的群落结构与物种多样性. 华中农业大学学报, 2005, 24(1): 63—67]
- [25] 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 [J]. *Ecologic Science*, 2006, 25(6): 550—553 [王凤娟, 胡子全, 汤洁, 等. 用浮游动物评价巢湖东湖区的水质和营养类型. 生态科学, 2006, 25(6): 550—553]
- [26] Ji Y, Zhang J, Sun X Q, *et al.* Spatio-temporal distribution characteristics of zooplankton and water quality assessment in middle and lower reaches of Ganjiang River [J]. *Journal of Hehai University (Natural Sciences)*, 2012, 40(5): 509—513 [计勇, 张洁, 孙晓秋, 等. 赣江中下游浮游动物时空分布特征及水质综合评价. 河海大学学报(自然科学版), 2012, 40(5): 509—513]
- [27] Zhang H F, Chen Y N, Chen Y P, *et al.* Species quantity change and ecosystem dynamics in the lower reaches of Tarim River [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2004, 23(4): 21—24 [张宏峰, 陈亚宁, 陈亚鹏, 等. 塔里木河下游植物群落的物种数量变化与生态系统动态研究. 生态学杂志, 2004, 23(4): 21—24]
- [28] Liu Z S, Wang C S, Zhang Z N, *et al.* Seasonal dynamics of zooplankton and microzooplankton grazing impact in Sanmen Bay, China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(12): 3931—3941 [刘镇盛, 王春生, 张志南, 等. 三门湾浮游动物的季节变动及微型浮游动物摄食影响. 生态学报, 2006, 26(12): 3931—3941]

## COMMUNITY STRUCTURE AND SPATIAL DISTRIBUTION OF PLANKTON IN THE POYANG LAKE NATIONAL NATURE RESERVE, CHINA

ZHANG Ting<sup>1</sup>, MA Xing-Hou<sup>1</sup>, WANG Gui-Ping<sup>1</sup>, LI De-Liang<sup>1</sup>, JIN Bin-Song<sup>2</sup> and QIN Hai-Ming<sup>2</sup>

(1. College of Animal Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;  
2. Center for Watershed Ecology, Institute of Life Science, Nanchang University, Nanchang 330031, China)

**Abstract:** To evaluate the plankton characteristics of the Poyang Lake National Nature Reserve after the drought occurred in spring 2011, the community structure and spatial distribution of plankton in the Poyang Lake National Nature Reserve were investigated and analyzed in August, 2011. A total of 97 phytoplankton and 42 zooplankton species were identified, which belonged to 49 and 23 genera, respectively. The zooplankton were consisted of 13 species of protozoa, 23 species of rotifera, 3 species of cladocera and 3 species of copepoda. The numbers of plankton species in Lake Dahuchi and Zhushihu were more than that of the other lakes and rivers. The abundances of plankton among each lake and river were significantly different, and varied from 260 to  $8.18 \times 10^6$  cells/L for phytoplankton and 3630 to 73173 ind./L for zooplankton, respectively. The results showed that the abundances of plankton in Xiu River and the lakes that located at the west of Gan River, were significantly higher than that of Gan River and the other lakes. Statistical analysis indicated that the dominant species of phytoplankton in the Poyang Lake National Nature Reserve were *Anabaena flos-aquae*, *Scenedesmus quadricauda*, *S. bijuga*, *Melosira granulata* var. *angustissima*, *M. granulata*, *M. granulata* var. *angustissima* f. *spiralis*, *Synedra acus* and *Fragilaria capucina*, while the dominant species of zooplankton were *Stentor amethystinus*, *Difflugia lobostoma*, *Centropyxis discoides*, *Strombidium viride*, *Brachionus diversicornis*, *B. bennini*, *Trichocerca rousseleti*, *T. longiseta* and *Asplanchna girodide*. The maximum values of diversity indices ( $H'$ ) and evenness ( $J$ ) of both phytoplankton and zooplankton were 2.41 and 0.96, respectively. The values of abundance ( $D_m$ ) of plankton were both less than 3. Evaluated with the diversity indices ( $H'$ ), evenness ( $J$ ) and abundance ( $D_m$ ) of plankton, the water qualities of lakes and rivers in the Poyang Lake National Nature Reserve were  $\beta$ -type of pollution, except Lake Banghu and Meixihu.

**Key words:** Poyang Lake; Phytoplankton; Zooplankton; Community structure; Spatial distribution