

doi: 10.7541/2021.2020.148

鄱阳湖不同水文期浮游生物群落结构特征和影响因素及水质评价

杨潇^{1,2} 马吉顺^{1,2} 张欢³ 周琼^{1,2}

(1. 华中农业大学水产学院, 农业农村部淡水生物繁育重点实验室, 武汉 430070; 2. 长江经济带大宗水生生物产业绿色发展教育部工程研究中心, 武汉 430070; 3. 南昌大学生命科学学院, 南昌 330031)

摘要: 为阐明鄱阳湖不同水文期浮游生物群落结构特征及其影响因素, 研究于2017年8月(丰水期)和12月(枯水期)在鄱阳湖湖区典型水域设置5个采样点进行浮游生物采样调查。研究期间共鉴定浮游植物8门75属186种, 丰水期与枯水期均以硅藻门和绿藻门为主。共鉴定浮游动物4类76种, 丰水期与枯水期均以原生动物和轮虫为主。方差分析显示: 浮游植物密度与生物量在不同水文期之间的差异均为极显著($P < 0.01$), 浮游动物丰水期密度高于枯水期, 但无显著差异($P > 0.05$), 浮游动物生物量($P < 0.05$)在不同水文期差异显著。冗余分析(RDA)显示: 丰水期透明度和浮游生物呈显著负相关关系, 电导率和浮游生物呈显著正相关。透明度、电导率与营养盐是影响丰水期浮游生物群落结构的主要环境因素, 枯水期水温和溶解氧是驱动鄱阳湖浮游生物群落生态分布的主要环境因素。基于Shannon-Wiener(H')、Margalef(d)和Pielou(J)等生物多样性指数的水质评价结果表明: 鄱阳湖研究区域水质状态处于寡污-中污之间。研究揭示了2个水文期对通江湖泊浮游生物的影响: 季节变化不改变湖泊浮游生物的物种组成及优势种, 但显著影响浮游生物的丰度及多样性。

关键词: 通江湖泊; 浮游生物; 群落结构; 环境因素; 水质评价; 冗余分析

中图分类号: Q145 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2021)05-1093-11



浮游生物是水生生态系统重要的参与者, 对维持水体食物网结构与功能的作用非常关键^[1]。其中, 浮游植物作为初级生产者, 其种类组成、群落结构和丰度变化是反映湖泊生态系统功能的重要指标^[2, 3]。浮游动物主要以浮游植物为食, 其本身又作为鱼类和水体无脊椎动物的饵料生物, 在调节湖泊初级生产力水平及渔业资源保护方面发挥着重要作用^[4, 5]。浮游生物群落结构易受水温、营养盐、溶氧和pH等湖泊环境因子的影响, 环境因素的变化会引起浮游生物的密度、生物量与多样性发生变动^[6]。在通江湖泊, 除各种影响湖泊浮游生物群落结构的常见因素外, 不同水文期的水位变化及湖泊面积差异巨大, 季节性水位变化通过改变水体营养状态导致浮游生物群落结构产生变化。因此, 水位变化也是影响湖泊生态系统功能的一个重要因素^[7, 8]。

湖泊在维持生态系统能量转移、信息传递及区域气候变化中具有特殊的生态作用^[9], 其中通江

湖泊由于具有复杂的出入流边界和物质交换频繁等特性^[10], 尤其对所连接河流的干流具有调蓄功能, 在维持所连接河流的生物多样性方面具有重要意义^[11]。鄱阳湖(115°55'—116°03' E, 29°05'—29°15' N)是长江中下游典型的通江湖泊, 也是我国第一大淡水湖^[12], 其地形复杂, 河湖交错, 汇纳修河、赣江、抚河、信江与饶河五大河流, 并与长江相连。受内河和长江洪水双重影响, 鄱阳湖周年内湖泊水位变化具有显著季节性差异^[13], 形成“丰水一片, 枯水一线”的独特水文景观。由于复杂的水文情势、特殊的地理位置及丰富的初级生产力, 鄱阳湖具有丰富的水生生物资源^[14]。近年来, 在人类活动的影响下, 鄱阳湖水生生物群落结构发生了显著的变化, 如: 水生植物植被和渔业资源衰退、藻类生物量增加和鱼类生物多样性下降。本研究在鄱阳湖湖区选取5个典型研究位置, 在2017年不同水文期对浮游生物进行系统调查, 旨在调查不同水文期鄱阳湖浮

收稿日期: 2020-06-22; 修订日期: 2020-12-24

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(31670459); 国家自然科学基金(31700403)资助 [Supported by the General Project of National Natural Science Foundation of China (31670459); the National Natural Science Foundation of China (31700403)]

作者简介: 杨潇(1996—), 女, 硕士; 主要从事渔业资源与环境研究。E-mail: 504297705@qq.com

通信作者: 周琼(1978—), 男, 博士, 教授; 主要从事渔业资源与环境研究。E-mail: hainan@mail.hzau.edu.cn

游生物的群落结构特征;通过多元统计分析揭示影响鄱阳湖水域不同水文期浮游生物群落结构的主要环境因素;基于浮游生物多样性指数对鄱阳湖水水质进行评价。本研究的开展将为通江湖泊的管理及江湖联通关系和稳态机制的研究提供基础数据和理论参考。

1 材料与方法

1.1 采样位置与时间

鄱阳湖丰水期通常在每年4—9月,枯水期为每年10月至次年3月。根据鄱阳湖水文、气候与环境特征,本研究于2017年8月(丰水期)和12月(枯水期)在鄱阳湖湖区进行浮游生物样品采集。在鄱阳湖湖区典型水域选择5个采样位置:吴城、星子、都昌、鄱阳和余干(图1),并在每个研究位置分别设置3个水质和浮游生物采样点。

1.2 样品采集与处理

浮游植物定性样品的采集使用25[#]浮游生物网在水体表层呈“∞”型缓慢拖行捞取,采集后转移至50 mL小方瓶中,加入4%的甲醛溶液进行固定。浮游植物定量样品在每个采样点分别从表层和底层

取等量的水样混合,然后从中取1 L水样置于1 L广口塑料瓶中,现场加入15 mL鲁哥氏液固定,并带回实验室静置48h后浓缩至50 mL,在10×40倍镜下进行物种鉴定^[15,16]。

浮游动物定性样品采用浮游生物定性样品观察鉴定,原生动物和轮虫的定量分析通过浮游植物定量样品完成鉴定并计数。由于通江湖泊浮游动物生物量偏低等原因,浮游甲壳动物定量样品使用5 L采水器采集20 L水样,通过13[#]浮游生物网过滤转移至50 mL样品瓶中,加入4%的甲醛溶液进行固定并带回实验室,在10×10倍显微镜下进行鉴定^[17,18]。

水体环境因子测定包括水温(WT)、pH、电导率(Cond)、溶解氧(DO)、总氮(TN)、总磷(TP)及氨氮(NH₄⁺-N)等,测定方法参照湖泊富营养化评价方法及分级标准^[19],采用美国YSI便携式水质分析仪现场测定水温、pH、电导率和溶氧。

1.3 数据处理

物种多样性指数 采用Shannon-Wiener 多样性指数、Margalef 物种丰富度指数和Pielou均匀度指数对物种多样性进行分析,计算公式为:

$$\text{Shannon-Wiener 指数 } H' = -\sum (N_i/N) \log_2 (N_i/N)$$

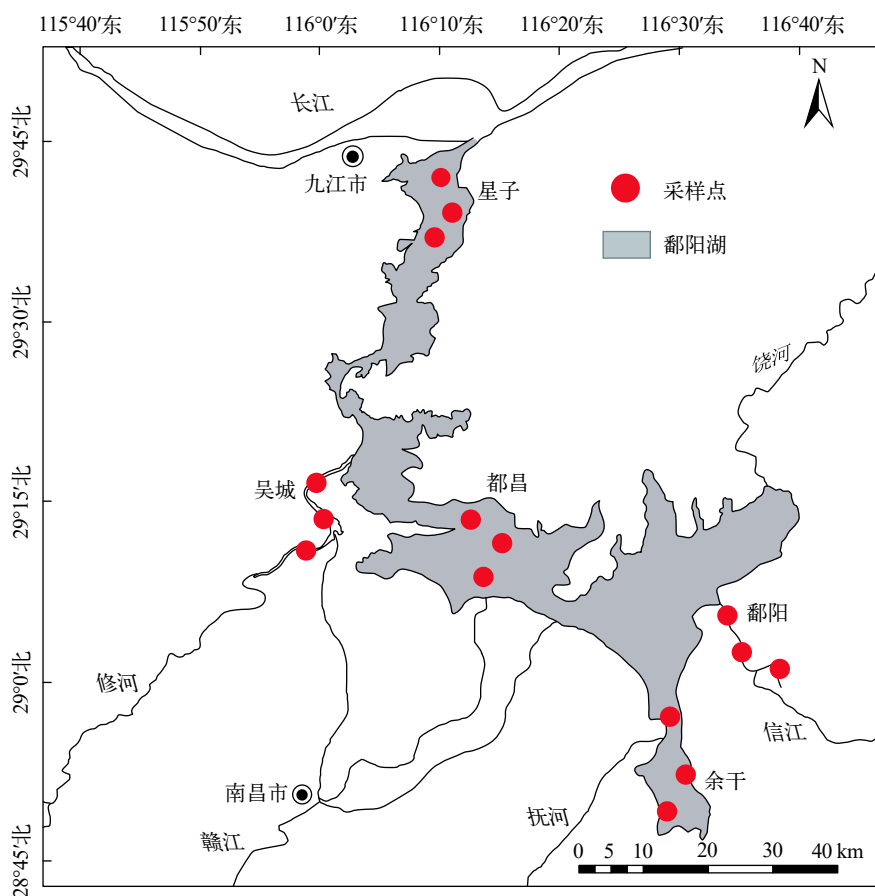


图1 鄱阳湖采样位置及各采样点分布

Fig. 1 The distribution of sampling sites of Poyang Lake

Margalef 指数 $d=(S-1)/\log_2 N$

Pielou 指数 $J=H'/\log_2 S$

式中, N_i 为 i 种的个体数, N 为所有种类总个体数, S 为物种数, 具体评价标准见表 1^[20-22]。

表 1 多样性指数评价标准

Tab. 1 Evaluation standard of diversity indices

多样性指数 Diversity indices	评价标准 Evaluation standard			
Shannon-Wiener index	0—1 重污	1—2 α - 中污	2—3 β - 中污	>3 寡污 或无污
Margalef index	0—1 重污	1—2 α - 中污	2—3 β - 中污	>3 寡污 或无污
Pielou index	0—0.3 重污	0.3—0.4 α -中污	0.4—0.5 β -中污	>0.5 寡污 或无污

优势种的确定 物种优势度计算公式

$$Y = (n_i/N) \times f_i$$

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 种在各采样点出现的频率。Y 值大于 0.02 为调查中的优势种^[23]。

统计分析 使用 CANOCO for Windows 4.5 软件对不同水文期浮游生物与环境因子进行排序分析。为了确定合适的分析模型, 首先对浮游生物种类数据进行去趋势分析 (Detrended correspondence analysis, DCA)。DCA 结果中, 如果这 4 个轴中梯度最长(最大值)超过 4, 选择单峰模型典范对应分析 (Canonical correspondence analysis, CCA) 更合适; 如果小于 3, 选择线性模型冗余分析 (Redundancy analysis, RDA) 比较合理; 如果介于 3—4, 单峰模型和线性模型都是合适的^[24]。单因素方差分析通过 SPSS 22.0 完成。

2 结果

2.1 鄱阳湖不同水文期浮游生物种类组成及优势种

丰水期浮游植物检测到硅藻门、蓝藻门、绿藻门、黄藻门、裸藻门、隐藻门、金藻门和甲藻门 8 个门类, 共 75 属 186 种, 以硅藻门和绿藻门为主。其中硅藻门 50 种, 占浮游植物总数的 26.88%; 绿藻门 72 种, 占浮游植物总数的 38.71%; 蓝藻门等其他 6 个门类占 34.41%。丰水期浮游植物优势种有 8 种, 分别为颗粒直链藻极狭变种 (*Melosira granulata* var. *angustissima*)、水华束丝藻 (*Aphanizomenon flos-aquae*)、拟短形颤藻 (*Oscillatoria subbrevis*)、小形色球藻 (*Chroococcus minor*)、细小平裂藻 (*Merismopedia minima*)、卷曲鱼腥藻 (*Anabaena circinalis*)、伪鱼腥藻 (*Pseudoanabaena* sp.) 和双对栅藻 (*Scenedesmus bijuga*)。枯水期浮游植物检测到

6 个门类, 分别为硅藻门、蓝藻门、绿藻门、黄藻门、裸藻门和隐藻门, 共 52 属 119 种, 仍以硅藻门和绿藻门为主。其中硅藻门 53 种, 占枯水期浮游植物总数的 44.54%; 绿藻门 43 种, 占浮游植物总数的 36.13%; 蓝藻门等其他门类占 19.33%。枯水期浮游植物优势种共 7 种, 分别为颗粒直链藻极狭变种、梅尼小环藻 (*Cyclotella meneghiniana*)、不定微囊藻 (*Microcystis incerta*)、双对栅藻、小球衣藻 (*Chlamydomonas microspheara*)、卵形衣藻 (*Chlamydomonas ovalis*) 和卵形隐藻 (*Cryptomonas ovata*)。

丰水期检测到浮游动物四大类群 75 种, 其中原生动物 33 种 (44%), 轮虫 29 种 (38.7%), 枝角类 7 种 (9.3%), 桡足类 6 种 (8%)。优势种为纤巧异尾轮虫 (*Trichocerca tenuior*)、针簇多肢轮虫 (*Polyarthra trigla*)、颈沟基合蚤 (*Bominopsis deitersi*)、简弧象鼻蚤 (*Bosmina coregoni*) 和广布中剑水蚤 (*Mesocyclops leuckarti*) 共 5 种。枯水期检测到浮游动物四大类 53 种, 其中原生动物 23 种 (43.4%), 轮虫 15 种 (28.3%), 枝角类 6 种 (11.3%), 桡足类 9 种 (17.0%)。优势种共 4 种, 分别为湖沼砂壳虫 (*Diffugia urceolata*)、简弧象鼻蚤、右突新镖水蚤 (*Neodiptomus schmackeri*) 和广布中剑水蚤 (表 2)。

2.2 鄱阳湖不同水文期浮游生物密度与生物量

浮游植物丰水期密度变化范围为 (16.30—57.56) $\times 10^6$ cells/L, 平均值为 34.38×10^6 cells/L; 枯水期密度变化范围为 (1.06—5.28) $\times 10^6$ cells/L, 平均值为 2.43×10^6 cells/L。通过方差分析, 鄱阳湖浮游植物密度在两个水文期差异极显著 ($F=13.778, P<0.01$)。浮游动物丰水期密度变化范围为 3191.70—7614.98 ind./L, 平均值为 6049.82 ind./L; 枯水期密度变化范围为 3052.11—6724.52 ind./L, 平均值为 4489.35 ind./L, 枯水期相比丰水期密度降低, 但无显著差异 ($F=2.314, P>0.05$, 图 2)。

浮游植物丰水期生物量最大值为 43.52 mg/L, 显著高于枯水期生物量最大值 (3.65 mg/L)。丰水期与枯水期生物量平均值分别为 27.90 和 2.15 mg/L, 浮游植物生物量在 2 个水文期差异极显著 ($F=16.034, P<0.01$)。浮游动物丰水期生物量最大值为 10.05 mg/L, 平均值为 5.74 mg/L。枯水期生物量最大值为 4.44 mg/L, 平均值为 1.45 mg/L, 浮游动物生物量在两个水文期差异极显著 ($F=6.397, P<0.05$, 图 3)。

2.3 不同水文期浮游生物群落结构与环境因子分析

如表 3 所示, 在 5 个监测位点中, 吴城的水温在 2 个水文期均高于其他 4 个采样点。在丰水期, 鄱阳和吴城的溶解氧较高, 都昌次之, 余干和星子较低,

在枯水期, 鄱阳的溶解氧浓度最高, 都昌和余干次之, 吴城和星子较低。不同水文期的溶解氧具有显著差异($P<0.01$)。余干TN和TP在枯水期处于最大值, 均高于同期其他4个采样点。所有监测点的水温、透明度和溶解氧在2个水文期差异显著($P<0.05$

或 $P<0.01$, 表 3)。虽然2个水文期的电导率、pH、TP、TN和 NH_4^+-N 在统计学上的差异并不显著, 但不同水文期间也有一定的波动。水体pH在7.37—8.29, 平均值为7.75, 整体上鄱阳湖水体偏碱性。TP与TN从丰水期到枯水期均有升高, 分别从丰水期

表 2 鄱阳湖不同水文期的浮游生物优势种

Tab. 2 Dominant species of plankton during different hydrological periods in Poyang Lake

水文期Period	门类Category		优势种Dominant species		优势度Dominance index	
丰水期 Wet season	浮游植物	硅藻门	颗粒直链藻极狭变种	<i>Melosira granulata</i> var. <i>angutissima</i>	0.04	
		蓝藻门	水华束丝藻	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	0.11	
			拟短形颤藻	<i>Oscillatoria subbrevis</i>	0.07	
			小形色球藻	<i>Chroococcus minor</i>	0.07	
			细小平裂藻	<i>Merismopedia minima</i>	0.09	
			卷曲鱼腥藻	<i>Anabaena circinalis</i>	0.02	
			伪鱼腥藻	<i>Pseudoanabaena</i> sp.	0.02	
			绿藻门	双对栅藻	<i>Scenedesmus bijuga</i>	0.02
		浮游动物	轮虫	纤巧异尾轮虫	<i>Trichocerca tenuior</i>	0.02
				针簇多肢轮虫	<i>Polyarthra trigla</i>	0.02
	枝角类		颈沟基合蚤	<i>Bominopsis deitersi</i>	0.04	
			筒弧象鼻蚤	<i>Bosmina coregoni</i>	0.25	
		桡足类	广布中剑水蚤	<i>Mesocyclops leuckarti</i>	0.10	
	枯水期 Dry season	浮游植物	硅藻门	颗粒直链藻极狭变种	<i>Melosira granulata</i> var. <i>angutissima</i>	0.03
			梅尼小环藻	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	0.02	
蓝藻门			不定微囊藻	<i>Microcystis incerta</i>	0.05	
绿藻门			双对栅藻	<i>Scenedesmus bijuga</i>	0.02	
			小球衣藻	<i>Chlamydomonas microsphaera</i>	0.04	
			卵形衣藻	<i>Chlamydomonas ovalis</i>	0.19	
隐藻门			卵形隐藻	<i>Cryptomonas ovata</i>	0.02	
浮游动物			原生动物	湖沼砂壳虫	<i>Diffugia urceolata</i>	0.02
		枝角类	筒弧象鼻蚤	<i>Bosmina coregoni</i>	0.09	
		桡足类	右突新镖水蚤	<i>Neodiaptomus schmackeri</i>	0.14	
			广布中剑水蚤	<i>Mesocyclops leuckarti</i>	0.05	

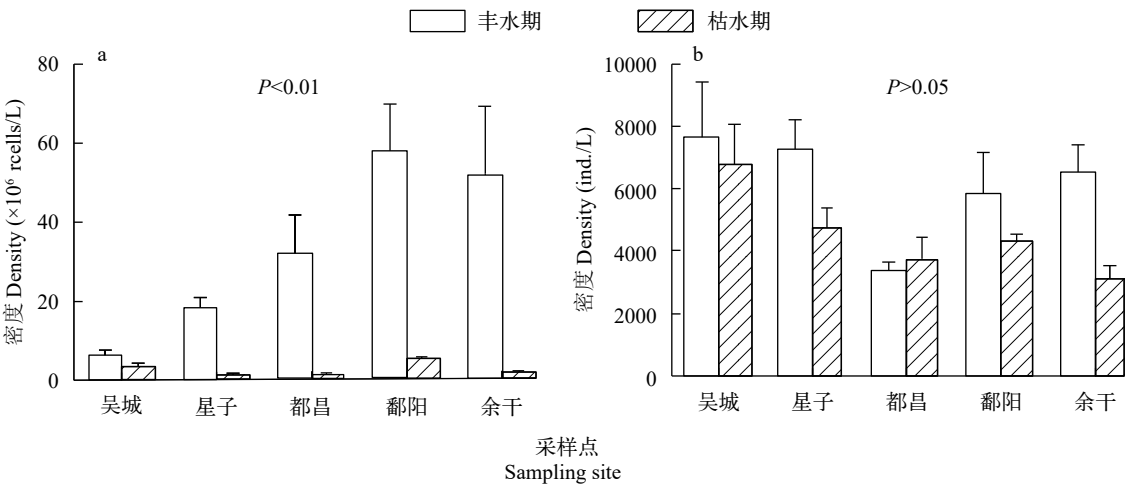


图 2 不同水文期浮游植物(a)和浮游动物(b)的密度
Fig. 2 The density of phytoplankton (a) and zooplankton (b) during different hydrologic periods

的0.04和1.13 mg/L升至枯水期的0.06和1.54 mg/L。

以浮游生物优势种的密度数为响应变量(代码见表 4), 进行去趋势分析(DCA)。丰水期和枯水期的DCA分析结果显示: 4个排序轴中最大的长度梯度分别为0.74和1.118, 表明线性模型冗余分析(RDA)能更好地解释鄱阳湖2个水文期环境因子对于浮游生物生态分布的驱动作用。

丰水期浮游生物优势种与环境因子RDA排序如图 4所示。“△”代表浮游植物,“○”代表浮游动物。前两个排序轴的特征值分别为0.464和0.274, 物种数据累计变化率的73.8%在轴1和轴2中被解释。浮游生物优势种大多集中在第三、第四象限,

与TP、pH和水温呈正相关, 与电导率、TN和氨氮等呈负相关。简弧象鼻溞与透明度呈正相关, 拟短形颤藻与电导率呈较强的正相关性。其中水温、电导率、pH、溶解氧、TN和NH₄⁺-N与轴一呈正相关, 电导率呈最大正相关, 相关性为0.8851, TN次之, 相关性为0.5197。透明度与轴一呈最大负相关, 相关性为0.7777。TP与轴二呈最大负相关, 相关性为0.6663。总体来看, 透明度、电导率和营养盐对丰水期浮游生物分布有较大影响。枯水期浮游生物优势种与环境因子RDA排序如图 5所示。轴一和轴二的特征值分别为0.739和0.231, 共解释了浮游生物功能群变异程度的97.4%。其中水温、电导

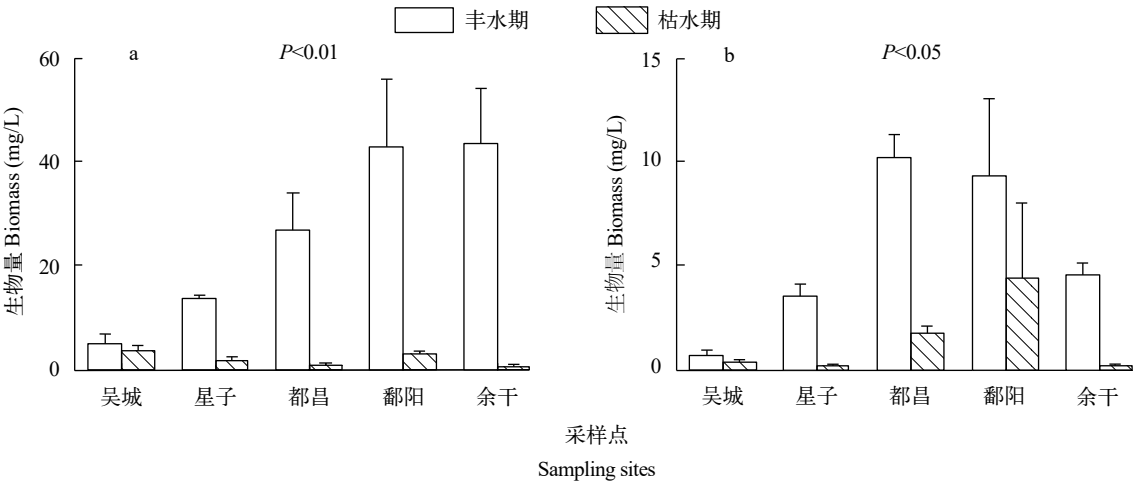


图 3 不同水文期浮游植物(a)和浮游动物(b)生物量

Fig. 3 The biomass of phytoplankton (a) and zooplankton (b) during different hydrologic periods

表 3 鄱阳湖丰水期与枯水期的环境因子特征

Tab. 3 Characteristics of environmental factors during wet and dry seasons in Poyang Lake

水文期 Period	采样点 Sampling site	水温 WT(°C)	透明度 Transparency(m)	电导率 Cond(μs/cm)	pH	溶解氧 DO(mg/L)	TP (mg/L)	TN (mg/L)	NH ₄ ⁺ -N (mg/L)
丰水期Wet season	吴城	30.46	0.49	142.68	7.75	7.42	0.03	1.59	0.29
	星子	29.67	0.50	110.80	7.53	6.82	0.03	1.21	0.29
	都昌	31.50	0.58	101.40	7.76	7.40	0.04	0.95	0.29
	鄱阳	31.53	0.53	92.47	8.29	7.46	0.04	0.83	0.20
	余干	31.33	0.30	133.40	7.82	7.02	0.06	1.06	0.30
	平均	30.90	0.48	116.15	7.83	7.22	0.04	1.13	0.27
枯水期Dry season	吴城	13.03	0.33	106.13	7.98	8.01	0.06	1.75	0.27
	星子	11.80	0.38	145.07	7.64	7.82	0.05	1.91	0.3
	都昌	8.23	0.33	105.77	7.66	9.40	0.05	1.11	0.15
	鄱阳	8.47	0.24	88.97	7.65	10.54	0.03	0.91	0.08
	余干	8.90	0.39	101.1	7.37	9.12	0.09	2.03	0.36
	平均	10.09	0.33	109.41	7.66	8.98	0.06	1.54	0.23
t检验		P<0.01	P<0.05	P>0.05	P>0.05	P<0.01	P>0.05	P>0.05	P>0.05
丰水期×枯水期									

注: P<0.05和P<0.01表示差异性显著
Note: P<0.05 and P<0.01 indicate significant difference

表 4 RDA排序图中的浮游生物物种及其编号

Tab. 4 The species and codes of plankton for RDA analysis

编号Code	物种Species	编号Code	物种Species
sp1	颗粒直链藻极狭变种 <i>Melosira granulata</i> var. <i>angustissima</i>	sp12	筒弧象鼻溞 <i>Nauplius</i>
sp2	水华束丝藻 <i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	sp13	广布中剑水蚤 <i>Mesocyclops leuckarti</i>
sp3	拟短形颤藻 <i>Oscillatoria subbrevis</i>	sp14	梅尼小环藻 <i>Cyclotella meneghiniana</i>
sp4	小形色球藻 <i>Chroococcus minor</i>	sp15	不定微囊藻 <i>Microcystis incerta</i>
sp5	细小平裂藻 <i>Merismopedia minima</i>	sp16	小球衣藻 <i>Chlamydomonas microspheara</i>
sp6	卷曲鱼腥藻 <i>Anabaena circinalis</i>	sp17	卵形衣藻 <i>Chlamydomonas ovalis</i>
sp7	伪鱼腥藻 <i>Pseudoanabaena</i> sp.	sp18	卵形隐藻 <i>Cryptomonas ovata</i>
sp8	双对栅藻 <i>Scenedesmus bijuga</i>	sp19	湖沼砂壳虫 <i>Diffugia urceolata</i>
sp9	纤巧异尾轮虫 <i>Trichocerca tenuior</i>	sp20	右突新镖水蚤 <i>Neodiaptomus schmackeri</i>
sp10	针簇多肢轮虫 <i>Polyarthra trigla</i>		
sp11	颈沟基合溞 <i>Bominopsis deitersis</i>		

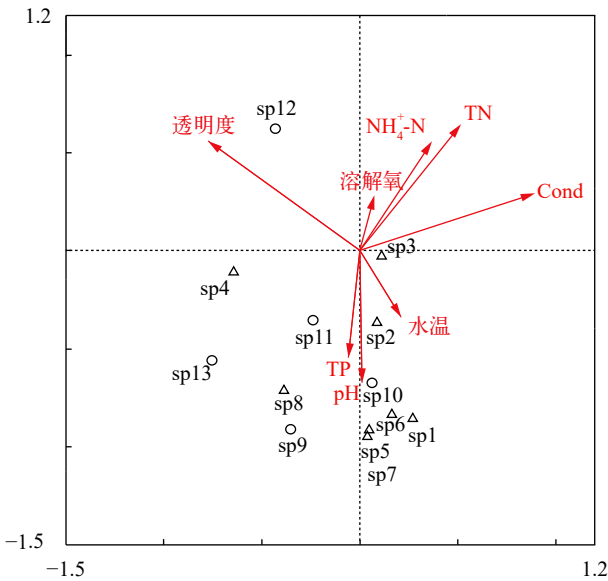


图 4 丰水期浮游生物优势种与环境因子的RDA排序图

Fig. 4 RDA analysis of dominant plankton species and environmental factors during wet season

“△”代表浮游植物,“○”代表浮游动物

Triangles and circles represent phytoplankton and zooplankton, respectively

率、透明度、TN、TP和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 与轴一呈负相关,水温呈最大负相关,相关性为0.7224。pH与溶解氧与轴一呈正相关,溶解氧相关性为0.8886呈最大正相关。浮游生物优势种主要集中于排序图右侧,与溶解氧呈正相关,与水温、透明度和TN等呈负相关。颗粒直链藻极狭变种与TN有较强的正相关性,湖沼砂壳虫与水温呈显著正相关。水温和溶解氧对枯水期浮游生物分布有较大影响。

2.4 浮游生物多样性分析

浮游植物Shannon-Wiener多样性指数(H')为2.96—4.39,均值为3.95。Margalef丰富度指数(d)为

3.59—6.52,均值为4.98。Pielou均匀度指数(J)为0.58—0.89,均值为0.76。3种指数对应水质类型均为寡污或无污(图 6)。

浮游动物Shannon-Wiener多样性指数(H')为2.06—3.51。Margalef丰富度指数(d)值为1.59—3.51。2种指数对应水质类型为β-中污。全年Pielou均匀度指数(J)值为0.50—0.89,污染等级为寡污或无污。浮游动物多样性指数低于浮游植物,综合浮游动物多样性评价鄱阳湖水质为寡污-β-中污(图 7)。

3 讨论

3.1 鄱阳湖不同水文期浮游生物群落结构特征

在调查期间,鄱阳湖浮游植物在丰水期与枯水

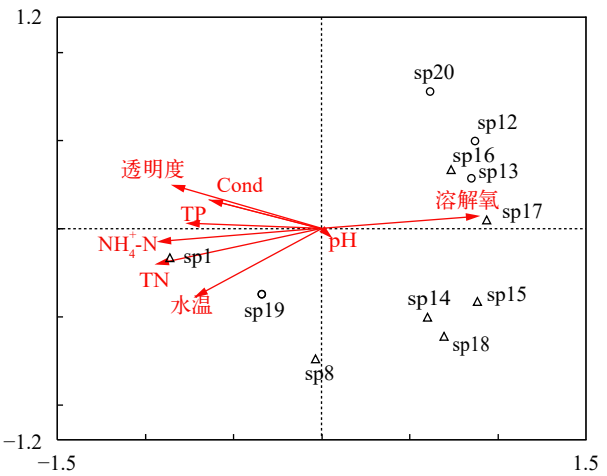


图 5 枯水期浮游生物优势种与环境因子RDA排序图

Fig. 5 RDA analysis of dominant plankton species and environmental factors during dry season

“△”代表浮游植物,“○”代表浮游动物

Triangles and circles represent phytoplankton and zooplankton, respectively

期均以硅藻门和绿藻门为主,在2个水文期均出现了中、富营养型水体的指示种类颗粒直链藻极狭变种与双对栅藻^[25],这与张婷等^[12]在2011年开展的鄱阳湖水域浮游生物调查结果类似。丰水期绿藻数量占比较大,枯水期硅藻门种类与数量占比大幅提高,这可能是因为硅藻多为冷水性物种,而绿藻多喜欢生长在温暖的水体中^[26]。国内多条河流及湖泊的浮游动物研究结果均表明原生动物和轮虫为优势类群^[27,28],且浮游动物优势种因受环境条件影响,季节变化明显^[29]。在本研究中,浮游动物主要为轮虫和原生动物,全年的原生动物和轮虫物种数比例超过70%。浮游动物在丰水期与枯水期仅有2种共同的优势种类,表明浮游动物优势种的季节变化显著。浮游生物密度与生物量在不同水文期存在差异,除了水温的影响外,这极可能与水位波动有关^[30]。研究表明,水位波动会对湖泊的状态产生影响^[31]。丰水期水位上涨、水量增加,对营养

物质产生稀释作用,并提高丰水期的水体透明度水平;在枯水期,鄱阳湖在经历退水之后处于相对静水环境,相对丰水期具有较高的养分。原生动物和轮虫能够摄食腐殖质,分解有机物质^[32],丰水期浮游动物大量增长的原因极可能是在丰水期湖边周围的大片湿地被淹没之后,很多湿地植物碎屑进入湖泊被分解,从而成为原生动物和轮虫的主要食物来源之一。在本研究中不同水文期的浮游植物、浮游动物的密度与生物量均有明显差异,丰水期浮游生物生物量明显高于枯水期,除了水温因素的影响外,可能与季节性水位变化驱动的理化环境变化密切相关。

3.2 环境因子对鄱阳湖不同水文期浮游生物群落结构的影响

鄱阳湖与长江及5条入湖河流形成了复杂的江湖生态系统,受各种水文与理化环境因素的影响较大^[33]。在本研究中,鄱阳湖浮游生物的群落结构在丰水期与枯水期差异显著。丰水期的RDA排序图显示,电导率、透明度和营养盐对浮游生物群落结构有重要影响。电导率能够反映水体中各种离子的总含量^[34],陆地植物、土壤有机物质和树叶碎片因丰水期水位上涨被冲入河流,经过水体中微生物的分解,对水体中电导率产生直接影响^[35]。许海等^[36]表明,氮和磷等营养盐是藻类生长的物质基础。浮游植物的生长需要吸收利用营养盐^[37],丰水期浮游植物数量增多,对营养盐利用需求增大,是导致营养盐浓度下降的主要原因之一。在丰水期,虽会有外源性营养输入,但同时长江水流及五条入湖河流与鄱阳湖湖水混合,稀释了水体中的营养物质。季鹏飞等^[38]在对长江中下游湖泊水体氮磷比时空变化的研究中表明,当外来水对湖水产生稀释时,水体中的磷污染物也得到稀释,使水体中TP含量降低,同时丰水期水温升高对水体进行反硝化脱氮产生推进作用,TN浓度下降,二者共同作用下使TN/TP并未产生明显变化,其水环境更有利于浮游生物的生长。丰水期鄱阳湖水位上升,入湖流量增大,水位剧烈波动对湖水的冲刷导致湖泊沉积物再悬浮^[39],高浓度悬浮物会影响浮游植物生长并直接对浮游动物摄食产生阻碍作用,从而影响浮游生物的群落结构^[40]。

枯水期的RDA排序结果表明,水温和溶解氧是影响浮游生物群落结构的主要环境因子。不同的浮游植物群落有不同的最适水温,Elliott等^[41]的研究表明,水温在15℃左右时浮游植物群落中硅藻为优势种群,30℃左右时以绿藻为主。本研究枯水期水温在9—13℃,适合喜低温的硅藻生长繁殖,枯水

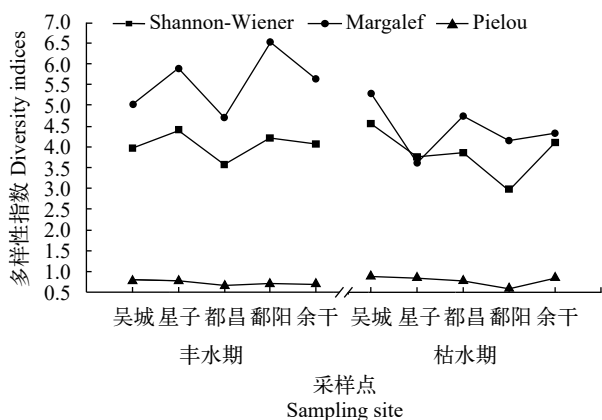


图6 不同水文期浮游植物多样性指数

Fig. 6 Diversity indices of phytoplankton during different hydrological periods

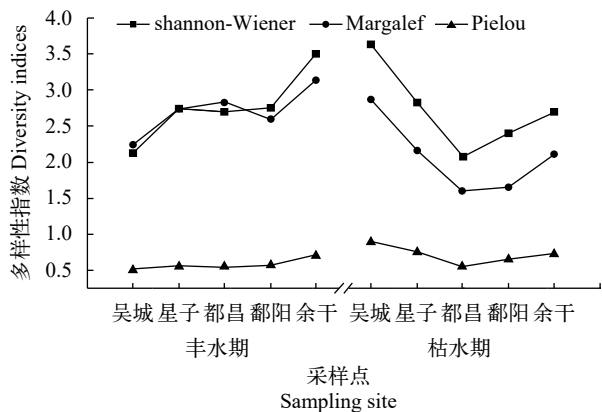


图7 不同水文期浮游动物多样性指数

Fig. 7 Diversity indices of zooplankton during different hydrological periods

期浮游植物的群落结构特征表明硅藻占比较大(优势种群)。且在本研究的RDA分析中,绿藻门中的双对栅藻与水温呈正相关,大部分硅藻与隐藻则与水温呈负相关。浮游动物的生长、代谢与水温有密切关系,当水温发生变化时,浮游动物的群落结构与密度分布也随之产生变化^[42]。聂雪等^[43]对鄱阳湖的研究表明,当水温较低时浮游动物密度也较低,且随着水温的持续降低,枝角类数量减少甚至消失。溶解氧是水生生物生存的必要条件之一,其含量高低可作为水生生物是否适应水体环境的象征^[44]。俞焰等^[45]对溶解氧与水体中浮游植物生长的关系的研究指出,溶解氧对浮游植物的影响体现在它们之间的相互作用上,浮游植物通过光合作用释放氧气,增加水体溶解氧含量;当溶解氧含量较低时则会抑制浮游植物的生长。本研究中丰水期溶解氧与枯水期有极显著差异($P < 0.01$),枯水期溶氧浓度较丰水期高,原因极可能是枯水期浮游动物数量低于枯水期,浮游动物整体活动弱于枯水期,需氧量减少,导致水中溶解氧浓度升高。这与王硕等^[46]的研究结果类似。

3.3 基于浮游生物多样性指数的水质评价

物种多样性既能反映群落结构的基本情况,也能揭示水质状况,因此,浮游生物的多样性指数被广泛应用到各种水体的水质评价中^[47]。在本研究中,鄱阳湖丰水期和枯水期浮游植物的生物多样性指数(Shannon-Wiener、Margalef和Pielou)年均值处于较高水平,显示鄱阳湖各采样点的水质为寡污或无污。这表明鄱阳湖浮游植物种类多,且各种类个体数量分布均匀^[48]。相比而言,浮游动物的生物多样性指数年均值较浮游植物低,Shannon-Wiener指数和Margalef指数处于2—3,显示水体污染类型为 β -中污,Pielou指数均大于0.5,表明浮游动物分布相对均匀,但丰富度较浮游植物低。从浮游动物的种类组成来看,鄱阳湖全年以原生动物和耐污性较高的轮虫为主,群落结构比较简单。Shannon-Wiener指数反映了群落物种内部和种间分布的特性,Margalef指数反映了群落中种类和个体的丰富度程度^[46]。丰水期Shannon-Wiener指数和Margalef指数数值高于枯水期,表明丰水期水质状况优于枯水期。其原因极可能是在丰水期长江水补给鄱阳湖,与湖水混合后水体交换速度加快,江水对鄱阳湖水体产生净化作用,同时增加浮游生物的多样性。丰水期吴城浮游动物丰度高于其他采样点,但多样性指数低于其他采样点,原因可能是修河与赣江汇入鄱阳湖并带入一些污染物,使吴城附近水域污染物增多,对浮游动物丰度产生显著影响^[49]。枯水期鄱

阳和都昌多样性指数显示其水域处于 β -中污状态,黄冬凌等^[50]在对湖泊与出入水质关联性研究中表明,信江和抚河流域污染排放严重,对鄱阳湖水质影响较大。而鄱阳与都昌处于鄱阳湖东南部,临近饶河和信江,因此相较于其他采样点多样性指数明显偏低。综合浮游生物多样性指数的评价结果来看,鄱阳湖全年水质属于寡污-中污类型。

4 结论

(1)鄱阳湖丰水期共鉴定浮游植物186种,浮游动物76种;枯水期鉴定浮游植物119种,浮游动物54种。浮游植物在不同水文期均以硅藻门和绿藻门为主,浮游动物以原生动物和轮虫为优势种群。(2)鄱阳湖浮游生物群落结构在不同水文期变化显著,浮游植物密度与生物量在不同水文期之间的差异均为极显著,浮游动物丰水期密度高于枯水期,但无显著差异,浮游动物生物量在不同水文期差异显著。(3)透明度、电导率和营养盐是影响鄱阳湖丰水期浮游生物群落结构的主要环境因素,影响枯水期浮游生物群落结构的主要环境因素为水温和溶解氧。(4)基于生物多样性指数对鄱阳湖进行水质评价,结果表明鄱阳湖水质为寡污-中污状态。

参考文献:

- [1] Rubin M A, Leff L G. Nutrients and other abiotic factors affecting bacterial communities in an Ohio River (USA) [J]. *Microbial Ecology*, 2007, **54**(2): 374-383.
- [2] Wen H X, Peng S, Huang B, *et al.* Species composition and diversity of phytoplankton in Erhai Lake [J]. *Pearl River*, 2017, **38**(8): 84-87. [文红星, 彭松, 黄斌, 等. 洱海浮游植物种类组成及多样性分析 [J]. *人民珠江*, 2017, **38**(8): 84-87.]
- [3] Stephen R, James F, James R, *et al.* Cascading trophic interactions and lake productivity [J]. *Limnology and Oceanography Bulletin*, 1985, **35**(10): 634-639.
- [4] Nie X, Hu X R, Liu G H, *et al.* Species diversity of zooplankton and water quality biological assessment in a sub-lake of Poyang Lake [J]. *Journal of Nanchang University (Natural Science)*, 2018, **42**(2): 161-167. [聂雪, 胡旭仁, 刘观华, 等. 鄱阳湖子湖泊浮游动物多样性及水质生物评价 [J]. *南昌大学学报(理科版)*, 2018, **42**(2): 161-167.]
- [5] Cai Y, Lu X X, Ba Q S, *et al.* Plankton community structure in Jingpo Lake and the relationship with environmental factors [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2019, **50**(1): 116-128. [蔡阳, 陆欣鑫, 巴秋爽, 等. 镜泊湖春、夏两季浮游生物群落结构及其与环境因子的关系 [J]. *海洋与湖沼*, 2019, **50**(1): 116-128.]
- [6] Pérez J R, Loureiro S, Menezes S. Assessment of water quality in the Alqueva Reservoir (Portugal) using bioas-

- says [J]. *Environmental Science & Pollution Research*, 2010, **17**(3): 688-702.
- [7] Stefanidis K, Papastergiadou E. Effects of a long term water level reduction on the ecology and water quality in an eastern Mediterranean lake [J]. *Knowledge & Management of Aquatic Ecosystems*, 2013, **411**(5): 1-14.
- [8] O'Farrell, Izaguirre I, Chaparro G, *et al.* Water level as the main driver of the alternation between a free-floating plant and a phytoplankton dominated state: a long-term study in a floodplain lake [J]. *Aquatic Sciences*, 2011, **73**(2): 275-287.
- [9] Qin B Q, Gao G, Hu W P. Reflections on the theory and practice of Shallow Lake ecosystem restoration [J]. *Journal of Lake Science*, 2005, **17**(1): 9-16. [秦伯强, 高光, 胡维平. 浅水湖泊生态系统恢复的理论与实践思考 [J]. *湖泊科学*, 2005, **17**(1): 9-16.]
- [10] Huang A P. Characteristics and response mechanism of hydrology and hydrodynamics and eutrophication in Poyang Lake [D]. Beijing: China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2018: 1-2. [黄爱平. 鄱阳湖水文水动力特征及富营养化响应机制研究 [D]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2018: 1-2.]
- [11] Xie P. Ecological impacts of Three Gorges Dam on lakes Dongting and Poyang [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2017, **26**(10): 1607-1618. [谢平. 三峡工程对两湖的生态影响 [J]. *长江流域资源与环境*, 2017, **26**(10): 1607-1618.]
- [12] Zhang T, Ma H H, Wang G P, *et al.* Community structure and spatial distribution of plankton in the Poyang Lake national nature reserve, China [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2014, **38**(1): 158-165. [张婷, 马行厚, 王桂莘, 等. 鄱阳湖国家级自然保护区浮游生物群落结构及空间分布 [J]. *水生生物学报*, 2014, **38**(1): 158-165.]
- [13] Zhang B. The hydrological features and the renovative strategy of the Poyang Lake [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 1993, **2**(1): 36-42. [张本. 鄱阳湖一些水文特征和整治战略 [J]. *长江流域资源与环境*, 1993, **2**(1): 36-42.]
- [14] Chen Z K. Distribution pattern of periphytic algae and its correlation with environmental factors in Poyang Lake [D]. Shanghai: Shanghai Normal University, 2019: 9-11. [陈泽恺. 鄱阳湖着生藻类分布格局及其与环境相关性的研究 [D]. 上海: 上海师范大学, 2019: 9-11.]
- [15] Zhang Z S, Huang X F. Methods for Study on Freshwater Plankton [M]. Beijing: Science Press, 1991: 340-344. [章宗涉, 黄翔飞. 淡水浮游生物研究方法 [M]. 北京: 科学出版社, 1991: 340-344.]
- [16] Hu H J, Wei Y X. System, Classification and Ecology of Freshwater Algae in China [M]. Beijing: Science Press, 2006: 79-285. [胡鸿钧, 魏印心. 中国淡水藻类—系统、分类及生态 [M]. 北京: 科学出版社, 2006: 79-285.]
- [17] Wang J J. Freshwater Rotifer Fauna in China [M]. Beijing: Science Press, 1961: 22-282. [王家楫. 中国淡水轮虫志 [M]. 北京: 科学出版社, 1961: 22-282.]
- [18] Han M S, Shu Y F. Atlas of Freshwater Organisms in China [M]. Beijing: Ocean Press, 1995: 192-258. [韩茂森, 束蕴芳. 中国淡水生物图谱 [M]. 北京: 海洋出版社, 1995: 192-258.]
- [19] Wang M C, Liu X Q, Zhang J H. Evaluation method and classification standard of lake eutrophication [J]. *Environmental Monitoring in China*, 2002, **18**(5): 47-49. [王明翠, 刘雪芹, 张建辉. 湖泊富营养化评价方法及分级标准 [J]. *中国环境监测*, 2002, **18**(5): 47-49.]
- [20] Shannon C E. A mathematical theory of communications [J]. *The Bell System Technical Journal*, 1948(27): 379-423, 623-656.
- [21] Margalef R. Pathfinding in ecology. (Book reviews: perspectives in ecological theory) [J]. *Science*, 1969, **164**(3881): 817.
- [22] Pielou E C. Species-diversity and pattern-diversity in the study of ecological succession [J]. *Journal of Theoretical Biology*, 1966, **10**(2): 370-383.
- [23] Chen H, Liu Q, Pan J X, *et al.* Spatial and temporal variation of plankton community structure and its relationship with environmental factors in the city section of the Ba River [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, **39**(1): 173-184. [陈红, 刘清, 潘建雄, 等. 灞河城市段浮游生物群落结构时空变化及其与环境因子的关系 [J]. *生态学报*, 2019, **39**(1): 173-184.]
- [24] Vonwehrden H, Hanspach J, Bruelheide H, *et al.* Pluralism and diversity: trends in the use and application of ordination methods 1990-2007 [J]. *Journal of Vegetation Science*, 2009(20): 695-705.
- [25] 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(2): 87-91. [况琪军, 马沛明, 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 [J]. *安全与环境学报*, 2005(2): 87-91.]
- [26] Yang L, Zhang W, Shang G X, *et al.* Succession characteristics of phytoplankton functional groups and their relationships with environmental factors in Dianshan Lake, Shanghai [J]. *Environmental Science*, 2018, **39**(7): 3158-3167. [杨丽, 张玮, 尚光霞, 等. 淀山湖浮游植物功能群演替特征及其与环境因子的关系 [J]. *环境科学*, 2018, **39**(7): 3158-3167.]
- [27] Lin H, Wang Y, Li B. Evaluation of zooplankton community structure and water quality of Guishui River, Beijing [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, **39**(20): 7583-7591. [林海, 王源, 李冰. 北京市妫水河浮游动物群落结构与水质评价 [J]. *生态学报*, 2019, **39**(20): 7583-7591.]
- [28] Wang M Q, Wang J C, Wang Q, *et al.* Characteristics of plankton community structure and eutrophication status in Dongting Lake in the season with normal water level [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2018, **37**(8): 2418-2429. [汪梦琪, 汪金成, 王琪, 等. 洞庭湖区平水期浮游生物群落

- 结构特征及富营养化现状 [J]. 生态学报, 2018, **37**(8): 2418-2429.]
- [29] Li G G, Wei M F, Wu Z Y, *et al.* A change of zooplankton community after dredging in West Lake, Hangzhou [J]. *Ecological Science*, 2005(3): 218-223. [李国, 尉美方, 吴芝瑛, 等. 疏浚后杭州西湖浮游动物群落的变化 [J]. *生态科学*, 2005(3): 218-223.]
- [30] Qian K M, Liu B G, Chen Y W. Long-term dynamics of phytoplankton functional groups in Poyang Lake during 2009-2016 [J]. *Journal of Lake Science*, 2019, **31**(4): 1035-1044. [钱奎梅, 刘宝贵, 陈宇炜. 鄱阳湖浮游植物功能群的长期变化特征(2009-2016年) [J]. *湖泊科学*, 2019, **31**(4): 1035-1044.]
- [31] Noges T, Noges P. The effect of extreme water level decrease on hydrochemistry and phytoplankton in a shallow eutrophic lake [J]. *Hydrobiologia*, 1999(409): 277-283.
- [32] Albert C, Michael R, Landry. Phytoplankton growth, microzooplankton grazing, and carbon cycling in marine systems [J]. *Limnology & Oceanography*, 2004, **49**(1): 51-57.
- [33] Wan R R, Yang G S, Wang X L, *et al.* Progress of research on the relationship between the Yangtze River and its connected in the middle reaches [J]. *Journal of Lake Science*, 2014, **26**(1): 1-8. [万荣荣, 杨桂山, 王晓龙, 等. 长江中下游通江湖泊江湖关系研究进展 [J]. *湖泊科学*, 2014, **26**(1): 1-8.]
- [34] He Q. Species diversity and distribution of benthic diatoms in Zeng River and in Huizhou section of Dongjiang River [D]. Guangzhou: Jinan University, 2011: 4-5. [何琦. 增江流域和东江惠州段底栖硅藻多样性及分布特征 [D]. 广州: 暨南大学, 2011: 4-5.]
- [35] Zheng Y Y, Niu J G, Zhou Q, *et al.* Effects of resource availability and hydrological regime on autochthonous and allo, chthonous carbon in the food web of a large cross-border river (China) [J]. *Science of the Total Environment*, 2018(612): 501-512.
- [36] Xu H, Chen J, Zhu G W, *et al.* Effects of concentrations of phosphorus and nitrogen on the dominance of cyanobacteria [J]. *Journal of Lake Science*, 2019, **31**(5): 1239-1247. [许海, 陈洁, 朱广伟, 等. 水体氮、磷营养盐水平对蓝藻优势形成的影响 [J]. *湖泊科学*, 2019, **31**(5): 1239-1247.]
- [37] Zhu X Y, Huang W, Zeng J N, *et al.* Effects of nitrogen and phosphorus ratios on phytoplankton community structure in winter [J]. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2013, **19**(2): 293-299. [朱旭宇, 黄伟, 曾江宁, 等. 氮磷比对冬季浮游植物群落结构的影响 [J]. *应用与环境生物学报*, 2013, **19**(2): 293-299.]
- [38] Ji P F, Xu H, Zhan X, *et al.* Spatial-temporal variation and driving of nitrogen and phosphorus ratio in lakes in the middle and lower reaches of the Yangtze River [J]. *Environmental Science*, 2020, **41**(9): 1-17. [季鹏飞, 许海, 詹旭, 等. 长江中下游湖泊水体氮磷比时空变化特征及其影响因素 [J]. *环境科学*, 2020, **41**(9): 1-17.]
- [39] Lü Q, Hu X R, Nie X, *et al.* Impact of water level fluctuation on succession of zooplankton in Poyang Lake [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, **40**(4): 1486-1495. [吕乾, 胡旭仁, 聂雪, 等. 鄱阳湖丰水期水位波动对浮游动物群落演替的影响 [J]. *生态学报*, 2020, **40**(4): 1486-1495.]
- [40] Zhou L B, Chen F Z. Effects of sediment resuspension on predation of planktivorous fish on zooplankton [J]. *Journal of Lake Science*, 2015, **27**(5): 911-916. [周礼斌, 陈非洲. 沉积物再悬浮对食浮游动物鱼类捕食浮游动物的影响 [J]. *湖泊科学*, 2015, **27**(5): 911-916.]
- [41] Elliott J A, Jones I D, Thackeray S J. Testing the sensitivity of phytoplankton communities to changes in water temperature and nutrient load, in a temperate lake [J]. *Hydrobiologia*, 2006, **559**(1): 401-411.
- [42] Kolmakov V I, Anishchenko O V, Ivanova E A, *et al.* Estimation of periphytic microalgae gross primary production with DCMU-fluorescence method in Yenisei River (Siberia, Russia) [J]. *Journal of Applied Phycology*, 2008, **20**(3): 289-297.
- [43] Nie X, Hu X R, Liu G H, *et al.* Effect of water level on zooplankton community during “plate-shaped lake enclosed in autumn” in a sub-lake of the Poyang Lake [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2019, **43**(2): 402-414. [聂雪, 胡旭仁, 刘观华, 等. 鄱阳湖子湖“埕秋湖”过程中水位变化对浮游动物群落结构的影响 [J]. *水生生物学报*, 2019, **43**(2): 402-414.]
- [44] Zhou Y. Effect of aquatic organisms on diurnal variation of dissolved oxygen in water [D]. Shenyang: Shenyang Normal University, 2016: 1-2. [周莹. 水生生物对水体溶解氧日变化规律影响 [D]. 沈阳: 沈阳师范大学, 2016: 1-2.]
- [45] Yu Y, Liu D F, Yang Z J, *et al.* Vertical stratification characteristics of dissolved oxygen and phytoplankton in Thousand-Island Lake and their influencing factors [J]. *Environmental Science*, 2017, **38**(4): 1393-1402. [俞焰, 刘德富, 杨正健, 等. 千岛湖溶解氧与浮游植物垂向分层特征及其影响因素 [J]. *环境科学*, 2017, **38**(4): 1393-1402.]
- [46] Wang S, Yang T, Chen J, *et al.* Zooplankton community structure and the water quality in Wei River basin [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2019, **43**(6): 1333-1345. [王硕, 杨涛, 陈佳, 等. 渭河流域浮游动物群落结构及其水质评价 [J]. *水生生物学报*, 2019, **43**(6): 1333-1345.]
- [47] Li K Z, Yin J Q, Huang L M, *et al.* Dynamics variations of community structure and quantity of zooplankton in Zhujiang River estuary [J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2005, **24**(5): 60-68. [李开枝, 尹健强, 黄良民, 等. 珠江口浮游动物的群落动态及数量变化 [J]. *热带海洋学报*, 2005, **24**(5): 60-68.]
- [48] Lenz P H, Hower A E, Hartline D K. Temperature compensation in the escape response of a marine copepod, *Calanus finmarchicus* (Crustacea) [J]. *Biological Bulletin*,

- 2005, **209**(1): 75-85.
- [49] Lü Q. Temporal and spatial patterns of zooplankton community in Poyang Lake and its connected waters [D]. Nanchang: Nanchang University, 2019: 47-52. [吕乾. 鄱阳湖及其连通水域浮游动物群落时空格局 [D]. 南昌: 南昌大学, 2019: 47-52.]
- [50] Huang D L, Ni Z K, Zhao S, *et al.* Correlation analysis of water quality between lake inflow and outflow: a case study of Poyang Lake [J]. *Environmental Science*, 2019, **40**(10): 4450-4460. [黄冬凌, 倪兆奎, 赵爽, 等. 基于湖泊与出入湖水质关联性研究: 以鄱阳湖为例 [J]. 环境科学, 2019, **40**(10): 4450-4460.]

COMMUNITY STRUCTURE AND THE WATER QUALITY DURING DIFFERENT HYDROLOGICAL PERIODS IN POYANG LAKE

YANG Xiao^{1,2}, MA Ji-Shun^{1,2}, ZHANG Huan³ and ZHOU Qiong^{1,2}

(1. Key Lab of Freshwater Animal Breeding, Ministry of Agriculture and Rural Areas, College of Fisheries, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 2. Engineering Research Center of Green Development for Conventional Aquatic Biological Industry in the Yangtze River Economic Belt, Ministry of Education, Wuhan 430070, China; 3. School of Life Sciences, Nanchang University, Nanchang 330031, China)

Abstract: Poyang Lake is a large Yangtze-connected lake in the middle and lower reaches of the Yangtze River and its water level fluctuates periodically with the hydrological rhythm. In order to clarify the characteristics and influencing factors of plankton community structure during different hydrological periods, the survey on plankton structure was conducted at five typical sampling sites of Poyang Lake in August (wet season) and December (dry season) of 2017. The results indicated that phytoplankton assemblage was composed of 186 species and 75 genera, belonging to 8 phylum. Bacillariophyta and Chlorophyta dominated in wet and dry seasons. Zooplankton was composed of 76 species, belonging to four taxonomic groups. Protozoa and Rotifers were dominant during wet and dry seasons. The density and biomass of phytoplankton were statistically significantly higher during wet season than those during dry season ($P < 0.01$). The density of zooplankton in wet period was higher than that in dry water period, but there was no significant difference ($P > 0.05$). The biomass of zooplankton ($P < 0.05$) was significantly different in different hydrological periods. Redundancy analysis suggested that there was negative correlation between the plankton community structure and transparency. The conductivity showed a positive correlation with the plankton community structure. Transparency, conductivity and nutrient were key factors affecting the community structure of plankton during wet season, whereas water temperature and dissolved oxygen were key factors affecting the community structure of plankton during dry season. Based on the diversity indices of Shannon-wiener, Margalef and Pielou, the results showed that the water quality of Poyang Lake was at low-to-medium pollution level. Our findings revealed the impact of two hydrologic periods on the plankton of Yangtze-connected lakes. Seasonal change did not change the species composition and dominant species of plankton in Poyang Lake, but affected the abundance and diversity of plankton greatly.

Key words: Yangtze-connected lakes; Plankton; Community structure; Environmental factors; Water quality assessment; Redundancy analysis