

# 南昌市 13 个湖泊的鱼类群落结构及其物种多样性特征

余 杨<sup>1</sup>, 鲁 婧<sup>1</sup>, 谢 彪<sup>2</sup>, 邓燕青<sup>2</sup>, 陈斯芝<sup>3</sup>, 刘玉栋<sup>3</sup>, 渠晓东<sup>1</sup>

(1. 中国水利水电科学研究院, 北京 100038;

2. 江西省水文监测中心, 江西 南昌 330038;

3. 鄱阳湖水文水资源监测中心, 江西 南昌 330038)

**摘要:** 为了解南昌市面积 1 km<sup>2</sup> 以上湖泊的鱼类群落结构及其物种多样性特征, 探究影响湖泊鱼类群落结构空间分布的环境因子, 于 2019-2020 年在南昌市 13 个湖泊进行了鱼类资源调查。结果显示, 采集到的 39 种鱼隶属 5 目、9 科、33 属; 优势种以鲫(*Carassius auratus*)、鲮(*Hemiculter leucisclus*) 为主; 不同湖泊的鱼类群落结构被划分为 3 个类群, 与湖泊功能定位密切相关。鱼类 Shannon-Wiener 多样性指数平均值 2.15, 丰富度指数平均值为 2.97, 均匀度指数平均值为 0.92, Shannon-Wiener 多样性指数、丰富度指数与湖泊面积、水深、pH 和透明度存在显著的相关性。冗余分析(RDA)表明, 水深、pH、总氮和氨氮是引起鱼类群落结构在南昌市不同湖泊间差异的主要影响因子, 人为活动干扰可能对调查区域内湖泊的鱼类群落结构和生物多样性特征施加影响。

**关键词:** 鱼类; 多样性指数; 环境因子; 群落结构; 湖泊功能

**中图分类号:** Q145 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-3075(2021)05-0110-09

湖泊具有调蓄洪水、净化水体、提供生物栖息地和保护生物多样性等多重生态功能, 在维持生态系统稳定方面发挥着巨大作用(Zhao et al, 2010)。长江中下游流域湖泊众多, 面积占全国淡水湖泊总面积的 71.5%(吴瑞金, 2001); 这些湖泊以典型的浅水湖泊为主, 历史上多与长江干流或支流相通, 形成独特的江湖复合生态系统, 并孕育出复杂的淡水生物群落, 是我国鱼类种群资源与生物多样性最丰富的地区(程琳, 2011); 另一方面, 伴随着该区域人口和社会经济的迅速增长, 湖泊生境受人类活动的干扰也日益加剧, 已严重威胁到许多鱼类种群的世代延续(黄琪等, 2016)。为采取有效措施保护长江中下游湖泊的鱼类资源, 必须要充分了解这些湖泊的鱼类状况以及人类的干扰程度。鱼类群落结构及其物种多样性作为表征鱼类资源状况的重要指标, 已广泛运用于其群落生态学研究, 尤其是辨识环境因子对鱼类群落结构及其物种多样性空间变动的影响, 一直是鱼类群落生态学研究的重点之一(程馨雨等, 2019)。

南昌市是长江中游地区重要的中心城市, 市域内水系发达、湖泊众多, 为长江中下游复合生态系统的重要组成部分。长期以来, 南昌市区内湖泊的鱼类群落结构及其物种多样性缺乏系统性调查, 而且也鲜见有关鱼类群落结构及其物种多样性与外界环境要素对应关系的研究, 这些均不利于采取有效措施保护与恢复该区域的鱼类资源。本研究以南昌市主要湖泊为研究对象, 选取市域范围内 13 个面积大于 1 km<sup>2</sup> 的湖泊开展鱼类资源调查, 系统了解人类活动干扰下南昌市主要湖泊的鱼类群落结构、物种多样性特征及其与环境要素的关系, 以期为保护与合理利用南昌市主要湖泊的鱼类资源提供基础数据支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域概况

南昌市地处江西省中部偏北, 位于赣江、抚河下游, 滨临鄱阳湖西南岸。南昌市属于亚热带季风区, 年均气温 17℃, 年降水量为 1 600~1 700 mm; 雨季为 4-6 月, 降水量占年降水量的 51.3%; 枯水期为 11 月至次年 1 月, 降水量仅占年降水量的 9.6%。本次调查的 13 个湖泊中, 其中只有军山湖面积在 100 km<sup>2</sup> 以上、陈家湖和瑶湖面积为 10~20 km<sup>2</sup>, 其余湖泊面积基本在 1~5 km<sup>2</sup>。所调查湖泊的平均水深为 1~5 m, 社会服务功能主要包括水产养殖、景观用水以及洪水调蓄等; 其中, 军山湖、陈家湖

收稿日期: 2021-04-28

基金项目: 水利部水资源费 2021 年项目(1263002102); 水体污染控制与治理科技重大专项(2018ZX07101005); 江西省水文局水文青年科技创新基金项目(SWJJ-KT201903)。

作者简介: 余杨, 1984 年生, 男, 高级工程师, 主要从事水生态和水环境研究。E-mail: yuyangle@126.com

早期为鄱阳湖的湖汉,20世纪50年代筑堤建闸后,两湖由天然湖汉演变成受人工调控的湖泊;而上池湖、艾溪湖、青山湖、瑶湖、下庄湖均位于赣江下游及尾闾区域,在城市化进程中已经基本与赣江河道隔绝,成为人工控制湖泊。调查的湖泊名录见表1,空间分布见图1。

表1 调查的南昌市湖泊信息

Tab.1 Basic information on the investigated lakes in Nanchang City

序号	湖泊	湖泊面积/ km <sup>2</sup>	平均水深/ m	主要生态 功能
1	艾溪湖	3.91	2.0	景观
2	陈家湖	18.60	5.0	养殖
3	大沙湖	5.58	2.6	养殖
4	芳溪湖	3.69	2.0	养殖
5	芟湖	1.60	3.0	养殖
6	坎下湖	2.07	2.8	养殖
7	前湖	1.78	2.0	养殖、景观
8	青山湖	3.14	1.5	景观
9	上池湖	4.73	2.8	养殖
10	下庄湖	1.72	3.6	养殖
11	瑶岗湖	3.63	2.8	养殖
12	瑶湖	20.50	2.5	养殖、景观
13	军山湖	164.00	4.5	养殖

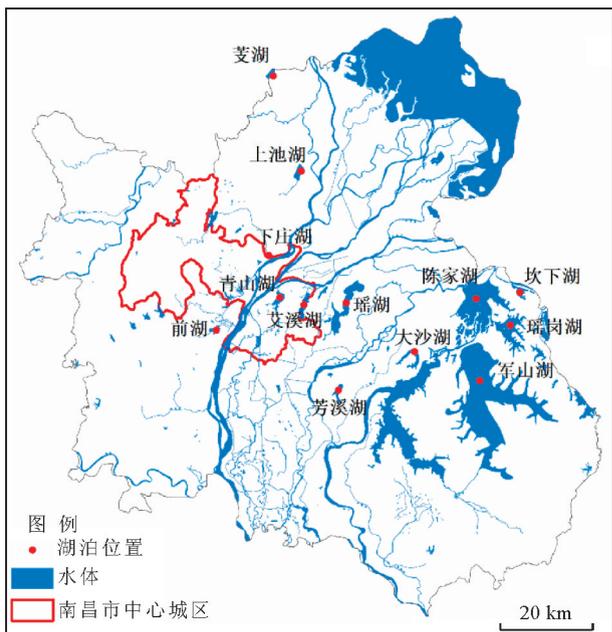


图1 南昌市13个湖泊的空间分布

Fig.1 Spatial distribution of the 13 surveyed Nanchang City lakes

## 1.2 样品采集和数据获取

2019-2020年4月和10月,在南昌市13个湖泊内采用刺网和虾笼进行鱼类资源调查。根据湖泊面积大小设置数量不等的采样点,除军山湖设置5个采样点、陈家湖和瑶湖各设置2个采样点外,其

余湖泊均只设1个采样点。每个采样点放置3条刺网和3个地笼。每条刺网长度为20 m,高为1.5 m。刺网包含7种不同规格的网目尺寸(1.2、2、4、6、8、10、14 cm),每个湖泊均采用所有类型和规格的网具。每个地笼长10 m,宽和高均为0.4 m,网目尺寸为9 mm。渔具在水中放置时间为19:00左右,收取时间为次日7:00左右。

采集鱼类后,当场对样本进行种类鉴定,并测量其体长(精确到1 mm)、体重(精确到0.1 g)。测量后可以鉴定到种的鱼类,每种留存标本10尾,其余放回。对于现场不能鉴定到种的样品,用5%的福尔马林溶液固定保存,带回实验室后邀请专业鉴定人员进行鉴定,鱼类种类的鉴定参考相关文献(朱松泉,1995;张春光和赵亚辉,2016)。根据生境情况,分为上中层鱼类、中下层鱼类和底层鱼类;根据鱼类食性,分为浮游生物食性、碎屑食性、肉食性、杂食性和植食性。上述生态习性分类参考杨少荣(2015)以及基于现场调查结果。

采集渔获物的同时,使用萨氏盘测量水体透明度(SD),多参数水质检测仪(YSI)测量水体的溶解氧(DO)和pH值,并现场采集水样带回实验室,依据GB3838-2002《地表水环境质量标准》测定不同采样点的总磷(TP)、总氮(TN)、氨氮(NH<sub>4</sub>-N)、硝态氮(NO<sub>3</sub>-N)和化学需氧量(COD)含量;此外,从江西省水文监测中心收集各个湖泊的面积和平均水深数据。

## 1.3 数据处理与分析方法

1.3.1 物种多样性指数 采用Shannon-Wiener多样性指数( $H'$ )(Ludwig & Reynolds, 1988)、Margalef丰富度指数( $D$ )(Margalef, 1968)和Pielou均匀度指数( $J'$ )(Pielou, 1966)计算不同湖泊鱼类的生物多样性,计算公式如下:

$$H' = -\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (1)$$

$$D = (S - 1) / \ln N \quad (2)$$

$$J' = H' / \ln N \quad (3)$$

式中: $n_i$ 为第*i*种鱼的个体数; $N$ 为总个体数; $P_i$ 为第*i*种鱼个体数占总个体数*N*的比值, $P_i = n_i / N$ ;S为样方鱼类总种数。

1.3.2 优势种 采用Pinkas(1971)提出的相对重要性指数(Index of relative importance, IRI)评价鱼类在群落中的重要性,计算公式如下:

$$IRI = (N + W) \times F \times 10000 \quad (4)$$

式中: $N$ 为某一种类的尾数占总尾数的百分

比;  $W$  为某一种类的质量占总质量的百分比;  $F$  为出现的频率。当  $IRI > 500$  时, 该种为优势种,  $100 \sim 500$  为常见种,  $10 \sim 100$  为一般种(程济生和俞连福, 2004)。

**1.3.3 鱼类群落结构与环境因子的关系** 运用 R 语言 Vegan 功能包分析湖泊中的鱼类群落结构与环境因子的关系, 鱼类群落结构数据采用每种鱼类的个体数量, 环境因子包括面积(S)、水深(H)、SD、DO、pH、TN、TP、 $NH_4-N$ 、 $NO_3-N$ 、COD。首先对原始数据进行除趋势对应(Detrended correspondence analysis, DCA)分析, 发现排序轴最大的梯度长度均小于 3, 因此选择使用线性模型冗余分析(Redundancy analysis, RDA)比较适宜(张静等, 2020)。

在进行 RDA 分析之前检验变量的共线性, 对以上 10 个环境因子变量分别进行 RDA 分析筛选。发现 SD、COD 和  $NO_3-N$  分别具有高膨胀因子, 意味着与其他环境因子具有高的多重共线性, 对模型的贡献很少(Beyene et al, 2009)。因此重新评估了其余 7 个环境因子组合(S、H、DO、pH、TN、TP、 $NH_4-N$ )的变异膨胀因子, 能够保证所有变量的膨胀因子均小于 20, 因此选择了这 7 个指标作为环境因子变量进行分析。通过蒙特卡洛置换检验(Monte Carlo permutation test)分析鱼类群落结构与环境因子相关的显著性, 置换循环次数为 999。

**1.3.4 分析软件** 采用 PRIMER 6(版本 1.0.6)进行聚类分析, 并使用 R 软件 Vegan 功能包(版本 3.6.2)完成除趋势对应分析和冗余分析; 其他数据分析和作图软件为 Excel 2017 和 SigmaPlot 10.0。采用 Pearson 相关性分析不同湖泊鱼类物种多样性与环境因子的关系。

## 2 结果与分析

### 2.1 种类组成与生态类型

本次调查共采集鱼类 39 种, 隶属于 5 目、9 科、33 属(表 2)。其中, 鲤形目鱼类最多, 共 30 种, 占总种类数的 76.9%; 其次为鲈形目 4 种, 占 10.2%。采集的鱼类以鲤科鱼类为主, 共 29 种, 占 74.4%, 其他各科种类数均不超过 3 种。

鱼类按照不同的生态习性分类如下:

(1) 洄游方式。定居性鱼类占总数量的 69.2%, 河湖洄游性鱼类占 25.6%, 河口洄游性鱼类占 5.1%;

(2) 栖息水层。中上层鱼类占总数量的 38.5%, 中下层鱼类占 30.8%, 底层鱼类占 30.8%;

(3) 食性。肉食性鱼类占总数量的 33.3%, 杂食性占 38.5%, 浮游生物食性占 12.8%, 碎屑食性占 10.3%, 植食性占 5.1%。

在调查水域未采集到保护鱼类。南昌市各湖泊所获鱼类的种类名录和生态类型如表 2 所示。

### 2.2 优势种

南昌市各个湖泊鱼类优势种的分布见表 3。鲫(*Carassius auratus*)、鲮(*Hemiculter leucisculus*) 在约 70% 的湖泊中为优势种, 蛇鮈(*Saurogobio dabryi*)、似刺鳊鮈(*Paracanthobrama guichenoti*) 为优势种的湖泊主要为面积较大的陈家湖和军山湖, 棒花鱼(*Abbottina rivularis*)、花鱼骨(*Hemibarbus maculatus*)、麦穗鱼(*Pseudorasbora parva*)、泥鳅(*Misgurnus anguillicaudatus*) 为优势种的湖泊主要为城区内且面积较小的湖泊。四大家鱼中, 各湖泊中的草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*) 均不是优势种, 鳊(*Hypophthalmichthys nobilis*)、鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*) 和青鱼(*Mylopharyngodon piceus*) 为优势种的湖泊数占总数的比例在 30%~40%。

### 2.3 鱼类群落多尺度排序及聚类分析

鱼类群落结构的聚类分析结果显示, 13 个湖泊可分为 3 组(图 2)。组 1 为南昌市主城区内以景观功能为主的湖泊, 包括青山湖、艾溪湖和瑶湖; 组 2 为分布在南昌市郊区面积较大的湖泊, 包括军山湖和陈家湖; 组 3 为南昌市近郊以水产养殖为主、面积较小湖泊, 包括前湖、芟湖、芳溪湖、上池湖、坎下湖、大沙湖、下庄湖和瑶岗湖。

### 2.4 鱼类物种多样性及其与环境因子的关系

调查得出南昌市 13 个湖泊鱼类的物种生物多样性统计结果见图 3。Shannon-Wiener 多样性指数为 1.48~3.04, 平均值为 2.15, 最大值出现在军山湖, 最小值出现在坎下湖; Margalef 丰富度指数为 1.38~5.99, 平均值为 2.97, 最大值出现在军山湖, 最小值出现在坎下湖; Pielou 均匀度指数为 0.87~0.96, 平均值为 0.92, 最大值出现在芟湖, 最小值出现在瑶湖。

南昌市 13 个湖泊中鱼类物种的 Margalef 丰富度指数与透明度、水深和面积存在极显著的正相关、与 pH 值呈显著的正相关; Shannon-Wiener 多样性指数与水深和面积呈极显著的正相关, 与透明度、pH 呈显著的正相关; Pielou 均匀度指数与 pH 值和面积呈显著的负相关, 与 TN 呈显著的正相关。物种多样性与环境因子的相关性见表 4。

表2 南昌市13个湖泊鱼类种类名录及生态类型

Tab.2 Species list and ecological type of the fish community in the 13 Nanjing City lakes

鱼名与分类	生态类型	陈家湖	军山湖	瑶湖	前湖	下庄湖	瑶岗湖	芰湖	坎下湖	大沙湖	青山湖	上池湖	芳溪湖	艾溪湖
<b>鲱形目 Clupeiformes</b>														
鳀科 Engralidae														
鲚属 <i>Coilia</i>														
短颌鲚 <i>C. brachygnathus</i>	RL, U, P	+	+				+							
<b>鲤形目 Cypriniformes</b>														
鲤科 Cyprinidae														
鲫属 <i>Carassius</i>														
鲫 <i>C. auratus</i>	SE, L, O	+	+	+		+	+	+	+		+	+	+	
鲤鱼 <i>Cyprinus</i>														
鲤 <i>C. carpio</i>	SE, D, O		+	+	+			+			+		+	
似鳊属 <i>Pseudobrama</i>														
似鳊 <i>P. simoni</i>	RL, L, O	+	+											
鲮属 <i>Xenocypris</i>														
黄尾鲮 <i>X. davidi</i>	SE, D, O	+	+			+					+	+	+	
赤眼鲮属 <i>Squaliobarbus</i>														
赤眼鲮 <i>S. curriculus</i>	RL, L, O	+	+											
草鱼属 <i>Ctenopharyngodon</i>														
草鱼 <i>C. idellus</i>	RL, L, H		+	+	+									
青鱼属 <i>Mylopharyngodon</i>														
青鱼 <i>M. piceus</i>	RL, L, O	+	+	+		+				+		+		
鲢属 <i>Hypophthalmichthys</i>														
鲢 <i>H. molitrix</i>	RL, U, P		+	+	+			+				+		
鳊 <i>H. nobilis</i>	RL, U, P	+	+	+	+			+						
鳊属 <i>Hemibarbus</i>														
花鳊 <i>H. maculatus</i>	SE, D, O	+	+				+							
麦穗鱼属 <i>Pseudorasbora</i>														
麦穗鱼 <i>P. parva</i>	SE, D, O	+	+	+		+		+	+	+	+	+	+	+
鲮属 <i>Sarcocheilichthys</i>														
华鲮 <i>S. sinuensis</i>	SE, L, C	+	+				+							
棒花鱼属 <i>Abbottina</i>														
棒花鱼 <i>A. rivularis</i>	SE, D, O	+						+	+					
蛇鮈属 <i>Saurogobio</i>														
蛇鮈 <i>S. dabryi</i>	SE, L, O	+	+											
似刺鳊属 <i>Paracanthobrama</i>														
似刺鳊 <i>P. guichenoti</i>	SE, D, C	+	+										+	
鳊属 <i>Elopichthys</i>														
鳊 <i>E. bambusa</i>	RL, U, C		+											
鲂属 <i>Megalobrama</i>														
鲂 <i>M. skolkovii</i>	RL, L, O	+			+									
团头鲂 <i>M. amblycephala</i>	RL, L, O			+										
鳊属 <i>Parabramis</i>														
鳊 <i>P. pekinensis</i>	RL, L, H			+										
原鲃属 <i>Culterichthys</i>														
红鳍原鲃 <i>C. erythropterus</i>	SE, U, C	+	+		+		+							
鲃属 <i>Culter</i>														
达氏鲃 <i>C. dabryi</i>	SE, U, C	+	+	+										
蒙古鲃 <i>C. mongolicus</i>	SE, U, C	+	+											
翘嘴鲃 <i>C. alburnus</i>	SE, U, C		+	+										
鲃属 <i>Hemiculter</i>														
鲃 <i>H. leucisculus</i>	SE, U, O	+	+	+		+	+			+		+	+	+
飘鱼属 <i>Pseudolaubuca</i>														
飘鱼 <i>P. sinensis</i>	SE, U, P		+											
鲂属 <i>Rhodeus</i>														
高体鲂 <i>R. ocellatus</i>	SE, U, DE	+	+	+							+			+
鲃属 <i>Acheilognathus</i>														

续表 2

鱼名与分类	生态类型	陈家湖	军山湖	瑶湖	前湖	下庄湖	瑶岗湖	芟湖	坎下湖	大沙湖	青山湖	上池湖	芳溪湖	艾溪湖
短须鱮 <i>A. peihoensis</i>	SE, U, DE			+										
大鳍鱮 <i>A. macropterus</i>	SE, U, DE		+		+				+					
兴凯鱮 <i>A. chankaensis</i>	SE, U, DE	+	+	+				+		+				
鳅科 Cobitidae														
泥鳅属 <i>Misgurnus</i>														
泥鳅 <i>M. anguillicaudatus</i>	SE, D, O		+	+	+	+			+	+	+	+		+
<b>鲇形目 Siluriformes</b>														
鲇科 Bagridae														
黄颡鱼属 <i>Pelteobagrus</i>														
黄颡鱼 <i>P. fulvidraco</i>	SE, D, C		+	+										
长须黄颡鱼 <i>P. eupogon</i>	SE, D, C	+	+				+							
鲇属 <i>Silurus</i>														
鲇 <i>S. asotus</i>	SE, D, C	+	+	+	+						+	+		
<b>颌针鱼目 Beloniformes</b>														
鱮科 Hemirhamphidae														
下鱮属 <i>Hypohamphus</i>														
间下鱮 <i>H. intermedius</i>	SE, U, P			+		+	+							+
<b>鲈形目 Perciformes</b>														
塘鳢科 Eleotridae														
小黄鱼幼属 <i>Micropercops</i>														
小黄鱼幼 <i>M. swinhonis</i>	SE, D, O	+	+	+		+	+	+		+	+	+	+	+
虾虎鱼科 Gobiidae														
吻虾虎鱼属 <i>Rhinogobius</i>														
子陵吻虾虎鱼 <i>R. giurinus</i>	SE, D, C			+										
鮨科 Serranidae														
鳊属 <i>Siniperca</i>														
鳊 <i>S. chuatsi</i>	SE, L, C	+	+					+		+	+			
斗鱼科 Belontiidae														
斗鱼属 <i>Macropodus</i>														
圆尾斗鱼 <i>M. chinensis</i>	SE, L, C	+	+	+			+	+		+	+			

注：“+”表示采集到，SE：湖泊定居型；R：河流型；RL：江湖洄游型；M：河海洄游性；U：中上层；L：中下层；D：底层；P：浮游生物食性；DE：碎屑食性；C：肉食性；H：植食性；O：杂食性

Notes：“+”denotes collected species, SE: sedentary; R: riverine; RL: river-lake migratory; M: migratory; U: upper layer of water; L: lower layer of water; D: demersal; P: plankivore; DE: Detritivore; C: Carnivore; H: Herbivore; O: Omnivore

表 3 南昌市 13 个湖泊的优势种及其相对重要性指数 (IRI)

Tab.3 Dominant species and their relative importance index in the 13 lakes of Nanchang City

优势种	相对重要性指数 (IRI)													
	陈家湖	军山湖	瑶湖	前湖	下庄湖	瑶岗湖	芟湖	坎下湖	大沙湖	青山湖	上池湖	芳溪湖	艾溪湖	
鲫 <i>C. auratus</i>	1938	1459	1359		2048	4051	978	5557		3234	1625	3279		
鲤 <i>C. carpio</i>		1142	1796	3445			2232			5114		4778		
黄尾鲴 <i>X. davidi</i>	883		843		2842					1059	1335	1395		
青鱼 <i>M. piceus</i>	701				2683				3298		2033			
鲢 <i>H. molitrix</i>			1186	2123			2125				1430			
鳊 <i>H. nobilis</i>	1785	1910	2139	2456			3750							
花鱼骨 <i>H. maculatus</i>						2448								
麦穗鱼 <i>P. parva</i>					971		848	3827	817	1344	2578	1024	1669	
棒花鱼 <i>A. rivularis</i>							2101	3963						
蛇鲻 <i>S. dabryi</i>	897	941												
似刺鲃 <i>P. guichenoti</i>	845	1034										2487		
红鳍原鲃 <i>C. erythropterus</i>	1480			969		2002								
鲃 <i>H. leucisculus</i>	1267	914	2609		1363	1196			4008		1733	2911	3517	
泥鳅 <i>M. anguillicaudatus</i>					994			2037		1027	845		4199	
鲇 <i>S. asotus</i>											1028			

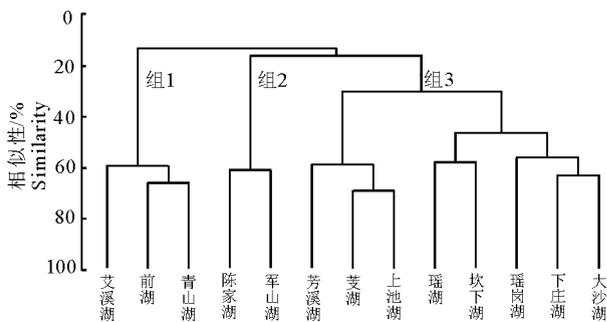


图2 南昌市13个湖泊鱼类群落结构的聚类分析

Fig.2 Cluster analysis digram of fish community structure for the 13 Nanjing City lakes

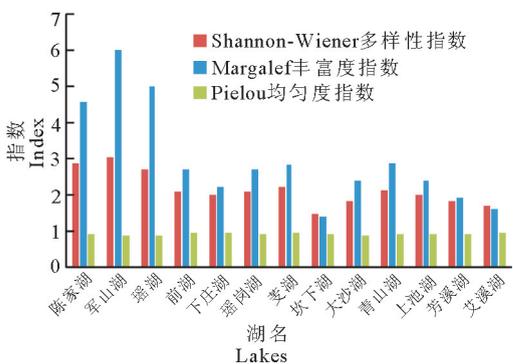


图3 南昌市13个湖泊的物种多样性指数比较

Fig.3 Comparison of fish species diversity indices among the 13 Nanchang City lakes

表4 南昌市13个湖泊鱼类物种多样性与环境因子之间的 Pearson 相关性

Tab.4 Pearson correlation between fish species diversity and environmental factors in the 13 Nanchang City lakes

环境因子	Margalef	Shannon-Wiener	Pielou
	丰富度指数	多样性指数	均匀度指数
SD	0.685 **	0.602 *	-0.471
DO	0.412	0.364	-0.313
pH	0.612 *	0.574 *	-0.584 *
TN	-0.240	-0.152	0.624 *
TP	-0.450	-0.385	0.461
NH <sub>4</sub> -N	-0.453	-0.406	0.387
NO <sub>3</sub> -N	-0.106	-0.065	0.393
COD	-0.449	-0.376	0.396
S	0.745 **	0.666 **	-0.478 *
H	0.641 **	0.698 **	-0.416

注: \* 表示显著相关 ( $P < 0.05$ ), \*\* 表示极显著相关 ( $P < 0.01$ )。

Notes: \* significant difference ( $P < 0.05$ ), \*\* highly significant difference ( $P < 0.01$ ).

### 2.5 鱼类群落结构与环境因子的关系

各湖泊鱼类群落结构与各环境因子冗余对应分析(RDA)的结果表明,第一排序轴解释了24.62%的鱼类群落结构变动,第二排序轴解释了21.14%的鱼类群落结构变动(图4)。其中,H、S和NH<sub>4</sub>-N对第一排序轴贡献较大,pH、TN和H对第二排序轴

贡献较大。经蒙特卡洛置换检验发现,环境因子对南昌市13个湖泊中鱼类群落结构空间变动的解释率从高到低依次是pH、TN、H和NH<sub>4</sub>-N,其中pH、TN极显著地影响鱼类群落结构的空间变动( $P < 0.01$ ),H、NH<sub>4</sub>-N显著地影响鱼类群落结构的空间变动( $P < 0.05$ )。军山湖、陈家湖等湖泊中的鱼类群落结构主要受S、H和pH的影响,前湖、青山湖、芟湖受TN的影响较大,而青山湖、坎下湖主要受NH<sub>4</sub>-N的影响。

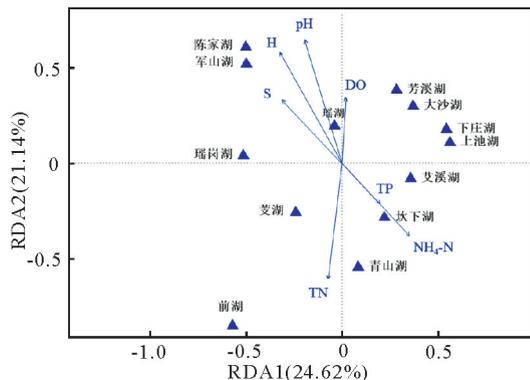


图4 南昌市13个湖泊中的鱼类群落结构与环境因子的RDA分析

Fig.4 Redundancy analysis triplot of fish community structures and environmental factors in the 13 lakes of Nanchang City

## 3 讨论

### 3.1 南昌市湖泊鱼类物种组成具有简单化特征

目前,有关于南昌市鱼类资源的调查研究较少,尚无针对本文中13个湖泊鱼类的系统调查。涉及南昌湖泊鱼类的文献报道多针对鄱阳湖周边区域(杨少荣等,2015)以及赣江水系(仝路路等,2019)。其中,鄱阳湖共记录鱼类136种(张堂林和李钟杰,2007),军山湖、陈家湖发现的鱼类种类也超过100种(鄱阳湖研究编委会,1998);赣江下游水系共记录鱼类90种(苏念等,2012)。本次调查,种类组成中鲤形目鱼类占76.9%,与鄱阳湖、赣江水系记录的鱼类区系特征相似(仝路路等,2019; Liu et al, 2019),发现的鱼类物种数要远少于鄱阳湖和赣江下游水系的历史记录,与长江中下游地区湖泊相比,南昌市湖泊中的鱼类种类数也偏少(表5)。究其原因,可能是在城市化建设过程中,天然水域空间用途发生了变化,湖泊被赋予如景观、防洪和水产养殖等不同功能,相应地受到工程建设、人工捕捞等不同类型人为干扰活动的影响,从而导致湖泊鱼类种类组成趋于简单化(谷孝鸿等,2018)。

表5 南昌市13个湖泊与长江流域其他湖泊  
鱼类种类数量的对比

Tab.5 Comparison of fish species number between  
Nanchang City lakes and other lakes in the  
Yangtze River basin

湖泊名称	省份	调查年份	鱼类种数	资料来源
大湖池	江西	2011	38	曾泽国等,2015
沙湖	江西	2011	32	曾泽国等,2015
石臼湖	江苏-安徽	2012-2013	38	朱迪等,2016
固城湖	江苏-安徽	2012-2013	33	朱迪等,2016
牛山湖	湖北	1996-1999	64	张堂林等,2008
东汤逊湖	湖北	1996-1999	53	张堂林等,2008
菜子湖	湖北	2018	43	古辰等,2020
南昌市湖泊	江西	2019-2020	5~32	本研究

### 3.2 不同湖泊鱼类群落结构的主要环境影响因子

鱼类对栖息地的选择及其对环境的耐受性具有明显差异,环境因子对鱼类群落结构的形成和维持起着决定作用,塑造出不同的地理分布格局(Outa et al, 2020)。本研究中,影响鱼类群落结构的主要环境因子是 pH、TN、H 和  $\text{NH}_4\text{-N}$ 。已有研究表明,面积大、水较深的湖泊能够提供丰富的生境和食物来源,适合鱼类索饵和生长,生态位丰富且能容纳更多的物种,因此鱼类群落更为复杂,生物多样性更高(Matuszek & Beggs et al, 1988; 程琳, 2011);同时,水质也是决定鱼类多样性和群落结构的重要因素(Boll et al, 2016; 张静等, 2020)。水体中的 TN 和  $\text{NH}_4\text{-N}$  过高是导致富营养化的重要因素,当湖泊富营养化程度较高时,大型鱼类逐渐减少,低值小型鱼类比例不断增加,特别是鲤科鱼类中的一些小型鱼类成为优势种群(Tammi et al, 2010),这与本研究结果类似。水体 pH 值与鱼类生活密切相关,南昌市 13 个湖泊的 pH 值处于 6.9~7.5, pH 值的降低,可能会影响鱼类物种的摄食和呼吸等生理活动(许友卿等, 2014)。

### 3.3 影响南昌市湖泊鱼类物种多样性的因素

南昌市近年来的快速城市化,对于鱼类种群数量和多样性的影响主要表现在以下几个方面:

(1) 连通性降低。南昌市湖泊多位于赣江及抚河尾间,为满足防洪和景观需要,所兴建的湖泊闸坝、圩堤工程减弱了湖泊与外界水系的联系。河湖连通性对洄游性鱼类的生存有重要影响,并且连通性的好坏直接关系到湖泊生态系统的稳定性以及水生生物自然种群的恢复潜力(茹辉军等, 2008)。

(2) 水产养殖。本次调查的多数湖泊都进行了水产养殖,所投放的鲢、鳙等养殖品种也是造成鱼类

群落结构退化和生物多样性降低的重要因素(夏治俊等, 2018)。

(3) 部分鱼类的适宜栖息地面积和质量下降。随着区域城市化进程的加快,围湖造田和围湖养鱼使得湖泊面积迅速萎缩,南昌市的湖泊面积与 30 年前相比,萎缩了近 20%(聂欣然等, 2018)。湖泊萎缩后鱼类能自由活动的空间减少,对鱼类资源造成不利影响;同时,城区内湖滨带硬化导致鱼类栖息地被破坏,水草减少,草食性鱼类种群资源受到严重威胁(Yu et al, 2016)。

(4) 水体污染。20 世纪 80 年代以前,青山湖、艾溪湖和前湖等湖泊水质优良,水质均到达 II 类以上。随着城区范围扩大和工业企业入驻,工业废水与生活污水排放量逐渐增大,2000 年后城区内湖泊水质普遍较差,从而导致要求清洁水质的鱼类种群数量逐渐减少,湖泊中的优势种逐渐转变为鲫、鲮等耐污能力较强的种类。

### 3.4 南昌市湖泊鱼类物种多样性的保护建议

人类活动干扰的综合影响是湖泊鱼类群落结构单一化和生物多样性下降的重要因素,为维护南昌市湖泊生态系统健康,保护鱼类种群资源和生物多样性,建议从以下几个方面开展工作:

(1) 保障水系连通。结合赣抚尾间综合整治工程等水系连通工程,增强青山湖、艾溪湖和瑶湖等城区内湖泊与河流的连通性;调整现有的河湖闸坝调蓄模式,充分考虑河湖鱼类洄游需求,保证洄游季节适宜的水文条件和通江性。

(2) 鱼类生境保护。对城区内以景观功能为主的湖泊,已硬化的湖滨带和底质开展人工修复,恢复鱼类栖息生境的多样性,保护鱼类繁殖、索饵和生长环境;对城郊以养殖功能为主的湖泊,加强排查整治,禁止围湖造田以及非法围网养殖。

(3) 科学监测。需要建立科学的监测方案,对环境因子和鱼类资源进行定期监测,重点关注军山湖、瑶湖等湖泊,将包含鱼类在内的水生态健康状况纳入湖长制考核体系中;及时了解水质环境的变化,掌握鱼类物种组成、群落结构、优势种、经济鱼类种群规模的动态变化,有效评估鱼类群落集群和恢复的机制及过程。

(4) 水质保护。对城区内以景观功能为主的湖泊,加强排水及截污整治;对于有养殖功能的湖泊,严格控制网箱养殖规模,严查水产养殖过程中可能违规投放的抗生素、激素类化学药品。

## 参考文献

- 程济生,俞连福,2004.黄、东海冬季底层鱼类群落结构及多样性变化[J].水产学报,28(1):29-34.
- 程琳,2011.长江流域湖泊鱼类群落与主要环境因子关系及其预测模型[D].武汉:中国科学院水生生物研究所.
- 程馨雨,陶捐,武瑞东,等,2019.淡水鱼类功能生态学研究进展[J].生态学报,39(3):810-822.
- 古辰,姜美彤,蒋忠冠,2020.生境过滤作用对长江下游菜子湖鱼类物种和功能组成的影响[J].湖泊科学,32(1):124-133.
- 谷孝鸿,毛志刚,丁慧萍,等,2018.湖泊渔业研究:进展与展望[J].湖泊科学,30(1):1-14.
- 黄琪,高俊峰,张艳会,等,2016.长江中下游四大淡水湖生态系统完整性评价[J].生态学报,36(1):118-126.
- 聂欣然,刘荣,聂爱球,等,2018.近30年南昌城区湖泊面积变化图谱和动态监测[J].测绘与空间地理信息,41(8):117-122.
- 鄱阳湖研究编委会,1988.鄱阳湖研究[M].上海:上海科学技术出版社.
- 茹辉军,刘学勤,黄向荣,等,2008.大型通江湖泊洞庭湖的鱼类物种多样性及其时空变化[J].湖泊科学,20(1):93-99.
- 苏念,李莉,徐哲奇,等,2012.赣江峡江至南昌段鱼类资源现状[J].华中农业大学学报,31(6):756-764.
- 仝路路,郭传波,王瑞,等,2019.多重人类活动干扰下赣江流域水环境和鱼类资源的研究现状分析[J].长江流域资源与环境,28(12):87-100.
- 吴瑞金,2001.我国湖泊资源环境现状与对策[J].中国科学院院刊,16(3):176-176.
- 夏治俊,蒋忠冠,谢涵,等,2018.华阳湖群鱼类功能群及其对围网养殖的响应[J].生态学杂志,37(2):438-445.
- 许友卿,张仁珍,丁兆坤,2014.pH对鱼类繁育及生长发育的影响[J].水产科学,33(2):133-136.
- 杨少荣,黎明政,朱其广,等,2015.鄱阳湖鱼类群落结构及其时空动态[J].长江流域资源与环境,24(1):54-64.
- 张春光,赵亚辉,2016.中国内陆鱼类物种与分布[M].北京:科学出版社.
- 张静,邱俊文,陈春亮,等,2020.广东大鹏湾北部海域春秋季节鱼类群落结构及其与环境因子关系[J].广东海洋大学学报,40(6):43-52.
- 张堂林,李钟杰,2007.鄱阳湖鱼类资源及渔业利用[J].湖泊科学,19(4):434-444.
- 张堂林,李钟杰,郭青松,2008.长江中下游四个湖泊鱼类与渔业研究[J].水生生物学报,32(2):167-177.
- 朱迪,杨志,唐会元,等,2016.长江下游浅水湖泊石臼湖鱼类资源现状及变化趋势[J].水生态学杂志,37(2):34-41.
- 朱松泉,1995.中国淡水鱼类检索[M].南京:江苏科学技术出版社.
- 曾泽国,2014.鄱阳湖国家级自然保护区子湖“堍秋湖”渔获物多样性与主要经济鱼类年龄结构及生长研究[D].南昌:南昌大学.
- Beyene A, Addis T, Kifle D, et al, 2009. Comparative study of diatoms and macroinvertebrates as indicators of severe water pollution: Kase study of the Kebena and Akaki rivers in Addis Ababa, Ethiopia[J]. Ecological Indicators, 9(2): 381-392.
- Boll T, Levi E E, Bezirci G, et al, 2016. Fish assemblage and diversity in lakes of western and central Turkey: role of geo-climatic and other environmental variables [J]. Hydrobiologia, 771(1):31-44.
- Liu X, Qin J, Xu Y, et al, 2019. Biodiversity pattern of fish assemblages in Poyang Lake Basin: Threat and conservation[J]. Ecology and Evolution, 9(20): 11672-11683.
- Ludwig J A, Reynolds J F, 1988. Statistical Ecology: A Primer on methods and computing[M]. New York: Wiley.
- Margalef R, 1968. Perspectives in Ecological Theory[M]. Chicago: University of Chicago Press: 111.
- Matuszek J E, Beggs G L, 1988. Fish species richness in relation to lake area, pH, and other abiotic factors in Ontario lakes[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 45: 1931-1941.
- Outa N O, Yongo E O, Keyombe J L A, et al, 2020. A review on the status of some major fish species in Lake Victoria and possible conservation strategies[J]. Lakes & Reservoirs, 25(1): 105-111.
- Pielou E C, 1966. Species-diversity and pattern-diversity in the study of ecological succession[J]. Journal of Theoretical Biology, 10(2): 370-383.
- Pinkas L, 1971. Food habits of albacore, bluefin tuna and bonito in California waters[J]. Fish Bulletin, 152: 100-105.
- Tammi J, Lappalainen A, Mannio J, et al, 2010. Effects of eutrophication on fish and fisheries in Finnish lakes: a survey based on random sampling[J]. Fisheries Management & Ecology, 6(3): 173-186.
- Yu J, Liu Z, He H, et al, 2016. Submerged macrophytes facilitate dominance of omnivorous fish in a subtropical shallow lake: implications for lake restoration [J]. Hydrobiologia, 775(1): 97-107.
- Zhao S, Fang J, Peng C, et al, 2010. Patterns of fish species richness in China's lakes[J]. Global Ecology and Biogeography, 15(4):386-394.

## Fish Community Structure and Species Biodiversity in 13 Lakes of Nanchang City

YU Yang<sup>1</sup>, LU Jing<sup>1</sup>, XIE Biao<sup>2</sup>, DENG Yan-qing<sup>2</sup>, CHEN Si-zhi<sup>3</sup>, LIU Yu-dong<sup>3</sup>, QU Xiao-dong<sup>1</sup>

(1.China Institute of Water Resource and Hydropower Research, Beijing 100038,P.R.China;

2.Hydrological Monitoring Center of Jiangxi Province, Nanchang 330038,P.R.China;

3.Hydrological and Water Resources Monitoring Center of Poyang Lake, Nanchang 330038,P.R.China)

**Abstract:** Nanchang City is an important city along the middle reach of Yangtze River and is rich with lakes and rivers. In this study, we investigated the fish community structure and species diversity of 13 lakes in Nanchang City and explored the environmental factors significantly affecting the spatial distribution of the fish community structure in these lakes. The aim was to provide basic data to support the protection and sustainable use of fish resources in the primary lakes of Nanchang City. In April and October of 2019 and 2020, fish and environmental surveys were conducted in 13 lakes with an area of more than 1 km<sup>2</sup>. Body length and weight of fish specimens were measured and species were identified. All specimens were classified according to habitat and diet. Water parameters monitored included Secchi depth (SD), dissolved oxygen (DO), pH, total phosphorus (TP), total nitrogen (TN), ammonia nitrogen (NH<sub>4</sub>-N), nitrate nitrogen (NO<sub>3</sub>-N) and chemical oxygen demand (COD). A total of 39 fish species from 33 genera, 9 families and 5 orders were collected from the surveyed lakes, with absolute dominance by Cyprinidae (29 species, 74.4%). *Carassius auratus* and *Hemiculter leucisclus* were the dominant species in most lakes. The fish community structures of the 13 lakes clustered into three groups, closely related to the ecology function of the lakes. Group 1 included the Qingshan, Aixi and Yaohu Lakes, with the primary function of entertainment and landscape. Group 2 were the larger lakes in the suburbs of Nanjing City, including Junshan and Chenjia Lakes. The remaining lakes were small, with the primary function of aquaculture, including Qianhu, Jihu, Fangxi, Shangchi, Kanxia, Dasha, Xiazhuang and Yaogang Lakes. The average values of the Shannon Wiener diversity, Margalef richness and Pielou evenness indices of fish species were 2.15, 2.97 and 0.92, respectively. The Shannon Wiener diversity index and richness index were significantly correlated with lake area, water depth, pH and transparency. Redundancy analysis (RDA) shows that pH, water depth, TN and TP were the primary environmental factors significantly affecting fish distribution in surveyed lakes. Human disturbance was the most important factor causing simplification of fish community structure and decreased species biodiversity in the lakes surveyed.

**Key words:** fish; biodiversity index; environmental factor; community structure; lake function