

## 2017—2022年上海金泽水库鱼类群落及其变化

张 成<sup>1,2</sup>, 王天霖<sup>1,2</sup>, 陈立婧<sup>3</sup>, 龚小玲<sup>1,2</sup>

(1. 上海海洋大学 水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室, 上海 201306; 2. 上海海洋大学 水产科学国家级实验教学示范中心, 上海 201306; 3. 上海农林职业技术学院, 上海 201699)

**摘 要:** 为了探究金泽水库 2017—2022 年鱼类群落结构变化和演变, 实验采用 Margalef 丰富度指数、Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数、丰度-生物量比较曲线法、完整性指数、聚类分析等方法对其进行调查分析。结果显示: 调查共采集到鱼类 5 119 尾, 隶属于 7 目 12 科 34 属 46 种, 2017 年调查金泽水库的优势种为刀鲚(*Coilia nasus*)、麦穗鱼(*Pseudorasbora parva*)、鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙(*Aristichys nobilis*)和鲫(*Carassius auratus*), 2018—2022 年金泽水库的优势种均为刀鲚、鲢、鳙和鲫; 2017—2022 年金泽水库的鱼类 Margalef 丰富度指数和 Shannon 多样性指数整体为较高水平, 呈波动中上升趋势; Pielou 均匀度指数先下降后趋于稳定, 优势种竞争优势逐渐显现; 经聚类分析: 在相似性为 70% 的水平下, 2017、2018、2019 年分别单独为一组, 2020、2021 和 2022 年为一组, 近 3 年鱼类群落结构相近; 经鱼类完整性指数评价, 2017 年金泽水库的评价为“一般”, 其余年份均评价为“好”; 经种群丰度-生物量比较曲线法检验, 2017—2022 年金泽水库的丰度生物量曲线均未有交叉且统计量  $W$  大于 0, 表明鱼类群落结构稳定。研究表明, 2017—2022 年金泽水库鱼类多样性越来越高, 群落结构未受负面影响, 生态系统保持稳定, 本研究可为水库的鱼类资源管理及生态型水库的构建提供参考。

**关键词:** 鱼类群落; 多样性指数; ABC 曲线; 完整性指数; 金泽水库

**中图分类号:** S 931.1 **文献标志码:** A

金泽水库位于上海市青浦区金泽镇西部、太浦河北岸, 主要由乌家荡和李家荡两个湖荡组成, 自太浦河取水<sup>[1-4]</sup>。金泽水库是干底建库, 并在入水口处建有拦污栅栏。建库前金泽水库原湖荡与太浦河是相通的, 库中鱼类主要来自太浦河。2014 年乌家荡与李家荡共调查到 23 种鱼类, 其中斑条鲮(*Acheilognathus taenianalis*)、鲫(*Carassius auratus*)、红鳍原鲃(*Chanodichthys erythropterus*)和细鳞斜颌鲴(*Xenocypris microlepis*)等小型鱼类为优势种<sup>[5]</sup>, 整体以淡水型鱼类为主, 建库前群落结构相对单一。金泽水库通过太浦河、黄浦江与太湖、淀山湖等水域相连, 李其芳等<sup>[6]</sup>对 2014—2015 年太湖流域的鱼类群落研究表明, 同时期太湖的鱼类群落以鲫和鳊(*Hemiculter leuciscus*)为优势种, 斑条鲮、似鳊

(*Pseudobrama simoni*)、麦穗鱼(*Pseudorasbora parva*)、彩石鲮鲫(*Rhodeus lighti*)、子陵吻虾虎鱼(*Rhinogobius giurinus*)为常见种, 咸义等<sup>[7]</sup>2015 年对太湖的鱼类群落研究发现, 优势种为鲫、鲤(*Cyprinus carpio*)、银鱼(*Protosalanx hyalocranius*)。KINDONG 等<sup>[8]</sup>于 2013 年对淀山湖的研究结果表明, 占比最高的为刀鲚(*Coilia nasus*)、斑条鲮、细鳞斜颌鲴、鲫, 金泽水库原湖荡的鱼类优势种群与太湖差异较大, 与毗邻的淀山湖相近。2016 年 12 月水库建成后在引入太浦河水的同时, 太浦河的鱼类通过栅栏随之进入库内, 形成本底。2017 年初, 为控制水库藻类而投入滤食性鱼类鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)和鳙(*Aristichys nobilis*)<sup>[9]</sup>, 后来又在库内设置生态浮床、拦藻网等设施<sup>[10]</sup>, 水库内的生境较建成时

收稿日期: 2024-05-03 修回日期: 2024-05-23

基金项目: 上海城投原水有限公司项目(D-8006-19-0088)

作者简介: 张 成(1999—), 男, 硕士研究生, 研究方向为鱼类生态学。E-mail: 1339408812@qq.com

通信作者: 龚小玲, E-mail: xlgong@shou.edu.cn

版权所有 ©《上海海洋大学学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)

Copyright © Editorial Office of Journal of Shanghai Ocean University (CC BY-NC-ND 4.0)

<http://www.shhydx.com>

发生了明显的变化,慢慢建成生态型水库,达成以生物来调节水质的目的<sup>[11]</sup>。2017年调查发现,金泽水库形成了以大型滤食性鱼类鲢、鳙和小型洄游性鱼类刀鲚为优势种的鱼类群落,2019年鱼类调查结果显示,除鲢、鳙、刀鲚同为优势种外,可在库内自繁的鲫也成为优势种,鱼类群落结构发生一定变化<sup>[5]</sup>。

鱼类群落结构的健康程度直接影响生态系统的稳定性,所以对金泽水库鱼类群落的调查与监测至关重要<sup>[12]</sup>,本研究基于2017—2022年对金泽水库的鱼类资源调查,利用鱼类多样性指数、丰度/生物量曲线和完整性指数等分析方法对金泽水库6年来的鱼类群落结构变化进行研究,分析金泽水库鱼类群落结构的变化情况,了解水库生态系统的健康状况,以期水库后续更好、更

优的管护提供参考和依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 采样点设置

2017年9月—2022年12月,采用混合刺网和地笼网相结合、按季节前后共27次对金泽水库进行鱼类资源调查。自西向东共设置7个采样点,采样点根据不同的水流及水深进行设置,其中S1~S5为多重复合刺网点,各规格刺网长度均为100 m,网高有3种规格,分别为2、4、6 m,网目大小有3种规格,分别为2、4、6 cm,每个刺网点设置2种不同规格刺网相接;D1和D2为地笼点位,地笼网规格为宽0.7 m、高0.7 m、长12 m、网目0.7 cm,每个地笼网点设置2条地笼网相接。

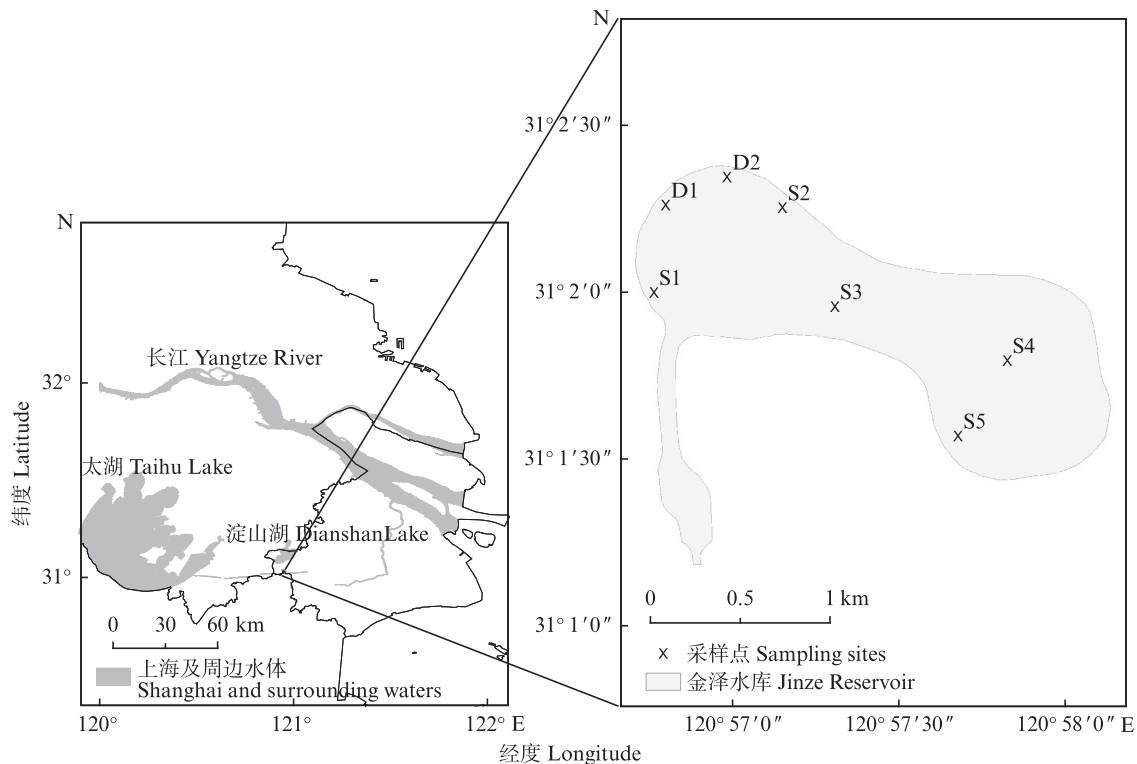


图1 金泽水库鱼类调查点  
Fig. 1 Sites in the Jinze Reservoir

### 1.2 样本处理

对调查到的鱼类样本进行形态学分析并拍照记录,测量每个样本的生物学指标,质量精确至0.1 g,长度精确到1 mm,随后放回水库。对于形态学鉴定不明确的鱼类剪取部分鳍条,用COI作为DNA条形码进一步明确。

### 1.3 数据处理与分析

#### 1.3.1 Pinkas相对重要性指数

利用鱼类的出现频率、数量和质量占比,表示鱼类在群落中的竞争优势。采用Pinkas相对重要性指数(Index of relative importance, IRI)来划分鱼类群落的优势种<sup>[13]</sup>。定义 $IRI \geq$

1 000 的物种为优势种,  $100 \leq \text{IRI} < 1\ 000$  的为常见种,  $10 \leq \text{IRI} < 100$  的为一般种,  $\text{IRI} < 10$  的为稀少种。Pinkas 相对重要性指数 IRI 计算公式<sup>[14]</sup>为

$$I_{\text{IRI}} = (N + W) \times F \times 10^4 \quad (1)$$

式中:  $I_{\text{IRI}}$  为相对重要性指数 IRI;  $N$  为某一种类的鱼类样本个体数占样本总个体数的百分比;  $W$  为某一种类的鱼类样本的质量占总质量的百分比;  $F$  为某一种类的样本出现的站数占总站数的百分比。

### 1.3.2 群落多样性指数

Margalef 丰富度指数, 指一个群聚中存在的物种的数目, 是物种多样性的重要指标, 丰富度指数的大小与物种数存在直接的正相关关系。Margalef 丰富度指数 ( $D$ ) 计算公式<sup>[15]</sup>为

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

式中:  $S$  为样本种类总数;  $N$  为样本总个体数。

Shannon-Wiener 多样性指数是一种综合考虑物种数目和相对丰度的多样性指数, 而丰富度指数仅反映物种数量, 不包含丰度信息。因此, 在生态学研究, Shannon-Wiener 指数更常用于分析群落的物种多样性<sup>[16]</sup>。Pielou 均匀度指数用于衡量群落中每种鱼的个体数 (或生物量) 分配均匀的程度<sup>[17]</sup>。Shannon-Wiener 多样性指数 ( $H'$ ) 和 Pielou 均匀度指数 ( $J$ ) 的计算公式<sup>[18]</sup>为

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (3)$$

$$J = H' / \ln S \quad (4)$$

式中:  $S$  为样本种类总数;  $P_i$  为物种  $i$  的数量占比。

为了全面了解金泽水库鱼类群落多样性的变化情况, 采用以下方法进行分析: (1) 以单次采样数据为单位, 计算不同年份间的鱼类多样性指数, 并进行显著性检验; (2) 以全年多次采样的整合数据为单位, 分析鱼类多样性指数的总体变化趋势。

### 1.3.3 群落相似性分析

为了更直观地呈现出金泽水库鱼类群落的变化情况, 本研究采用等级聚类 (Clustering) 的方法对不同年份的鱼类群落组成进行相似性分析, 其中协强系数 (Stress) 可以用来衡量多维尺度分

析的可信度, 当  $\text{Stress} < 0.05$  时, 可信度最高<sup>[19]</sup>。

### 1.3.4 丰度-生物量比较曲线法

丰度-生物量比较曲线法 (Abundance-biomass comparison curve, ABC 曲线), 是根据丰度与生物量的优势度曲线之间的变化情况以及相对位置来评估群落的变化情况<sup>[20]</sup>。ABC 曲线由 WARWICK<sup>[21]</sup>于 1986 年提出, 当生物群落结构受干扰较小时, 生物量曲线应在丰度曲线之上; 而当生物群落结构受到一定程度干扰时, 优势种的竞争优势减弱, 两曲线接近并交叉一次或数次<sup>[22]</sup>。

### 1.3.5 鱼类生物完整性指数分析

鱼类群落的完整性和健康状况可以作为评价水环境质量的生物指标, 1981 年 KARR<sup>[23]</sup>首次使用鱼类完整性指数作为评价标准对水环境进行评价, 经后来学者不断深入研究, 已形成相对完备的评价体系<sup>[24-26]</sup>。此次研究首次对金泽水库进行鱼类生物完整性指数 (The fish-based biotic integrity index, F-IBI) 评估, 从种类组成与丰度、营养结构、繁殖共位群、鱼类数量与健康情况、耐受性等 5 个方面筛选了 15 个评价指标 (表 1), 指标筛选标准参考余根听等<sup>[27]</sup>的研究方法: 剔除各采样年份之间的差异值  $< 10\%$ 、任一指标在 90% 以上采样年份均为 0 的指标; 对余下指标进行 Pearson 相关性分析, 当两指标相关性指数  $|r| > 0.9$  时, 剔除信息量少的指标。由于研究区域缺少完整性指数的研究先例, 此次所选参照值为 6 年来所得样本的理论最大值<sup>[25]</sup>。指标的赋值方法采用 1、3、5 赋分法, 对达到期望值 75% 及以上的指标计 5 分; 介于 50% 和 75% 之间的计 3 分; 小于 50% 的计 1 分。评分及等级划分规则<sup>[27]</sup>如表 2 所示。完整性指数总得分计算公式为

$$T = \left( \sum_{i=1}^n \frac{V_i}{n} \right) \times 12 \quad (5)$$

式中:  $T$  为 F-IBI 总得分值;  $V_i$  为第  $i$  个指标的得分;  $n$  为指标数量。

数据的统计和分析由 Excel、Origin 2021、Primer 6.0 完成。

表 1 F-IBI 指标对水生态损害的响应  
Tab. 1 Response of F-IBI indicators to water ecological damage

指标编号 Indicator number	属性归类 Attribute categorization	指标取值 Value of the indicator	生态损坏响应 Ecological damage response
M1	种类组成与丰度	总种数	下降
M2		鲇形目占总种类的比例	上升
M3		鲈形目占总种类的比例	下降
M4		中上层鱼类占总种类的比例	下降
M5		中下层鱼类占总种类的比例	下降
M6		底层鱼类占总种类的比例	下降
M7		Shannon-Wiener 多样性指数	下降
M8	营养结构	草食性鱼类占总种类的比例	上升
M9		杂食性鱼类占总种类的比例	下降
M10		肉食性鱼类占总种类的比例	下降
M11	繁殖共位群	产浮性卵鱼类占总种数的比例	下降
M12		产黏性卵鱼类占总种数的比例	上升
M13		特殊产卵方式鱼类占总种数的比例	下降
M14	鱼类数量与健康状况	鱼类总数量	下降
M15	耐受性	耐受性鱼类占总种数的比例	上升

表 2 F-IBI 等级划分  
Tab. 2 F-IBI grades

序号 Serial number	鱼类完整性等级 F-IBI grades	分数 Score
1	基本无鱼	0~11
2	极差	12~22
3	差	23~32
4	一般	33~42
5	好	43~52
6	极好	53~60

2 结果

2.1 金泽水库鱼类组成

金泽水库 2017—2022 年的鱼类资源调查结果如表 3 所示,其中鱼类种类从 2017 年的 12 种增长至 2022 年的 31 种。2017—2022 年金泽水库共调查到鱼类 5 119 尾,总计 2 014 kg,经鉴定有 46 种,隶属于 7 目 12 科 34 属。其中鲤形目种类最多,有 33 种,且均为鲤科,占鱼类种类总数的 71.7%;鲈形目 5 种,包括虾虎鱼科、鲴科、狼鲈科、沙塘鳢科、塘鳢科,占鱼类种类总数的 10.8%;鲇形目 4 种,包括鲢科和鲇科,占鱼类种类总数的 8.7%;鳊鲴目、鲢形目、鲮形目、鲱形目各 1 种,均占鱼类种类总数的 2.2%。

2.2 优势种分析

2017—2022 年以来,金泽水库的优势种总体

变化不大(表 4)。2017 年金泽水库的优势种依次为鳊、鲢、麦穗鱼、刀鲚、鲫,自 2018 年开始调查到的麦穗鱼数量持续减少,鳊、鲢、刀鲚、鲫均为 2018—2022 年的优势种,但这 4 种鱼类的优势顺序每年存在变化。

2.3 生物多样性分析

金泽水库 2017、2020 和 2021 年的 Margalef 丰富度(*D*)指数年内波动较小,而 2018、2019 和 2022 年的丰富度指数年内波动较大。从年际变化来看,2017—2022 年金泽水库的鱼类群落 Margalef 丰富度指数有明显变化,尤其 2017 年的鱼类群落丰富度指数与 2018 年间存在显著差异( $P<0.05$ ),与 2022 年间存在极显著差异( $P<0.01$ )。

表 3 2017—2022 年金泽水库鱼类资源调查基本情况  
Tab. 3 Basic situation of fish resources survey in Jinze Reservoir from 2017 to 2022

年份 Year	数量 Quantity/尾	质量 Mass/kg	种类数 Number of species/种
2017	171	71	12
2018	1 085	411	25
2019	622	254	27
2020	993	333	29
2021	1 324	532	29
2022	924	413	31

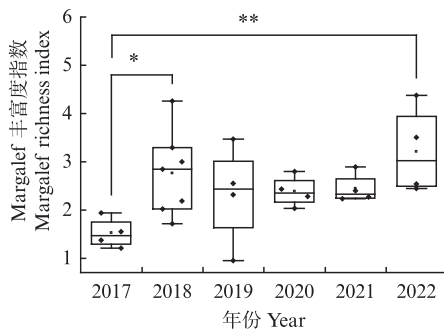


表4 金泽水库2017—2022年鱼类优势种  
Tab. 4 Dominant fish species in the Jinze Reservoir from 2017 to 2022

种类 Species	优势度 IRI					
	2017	2018	2019	2020	2021	2022
鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	1 818	3 624	3 767	2 964	2 887	4 405
鳙 <i>Aristichthys nobilis</i>	6 923	5 887	4 025	6 975	7 651	4 653
鲫 <i>Carassius auratus</i>	1 002	1 549	2 267	1 824	2 550	3 771
麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i>	1 269	473	10	3	2	—
刀鲚 <i>Coilia nasus</i>	1 105	3 862	2 396	6 207	4 164	3 074

注：“—”代表该年份未采集到此种样本。

Notes: Values marked with “—” were not sampled in the corresponding year.

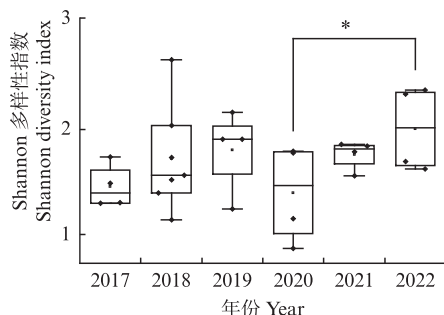


\*代表  $P < 0.05$ , 不同组间存在显著差异; \*\*代表  $P < 0.01$ , 不同组间具有极显著差异。

\*represents  $P < 0.05$ , indicating significant difference between different groups; \*\* represents  $P < 0.01$ , indicating highly significant difference between different groups.

图2 金泽水库2017—2022年丰富度指数变化情况  
Fig. 2 Changes in the richness index of the Jinze Reservoir from 2017 to 2022

由图3可知,2018、2019、2020和2022年金泽水库的Shannon指数年内波动较大,2020年鱼类群落多样性与2022年间存在显著差异( $P < 0.05$ )。



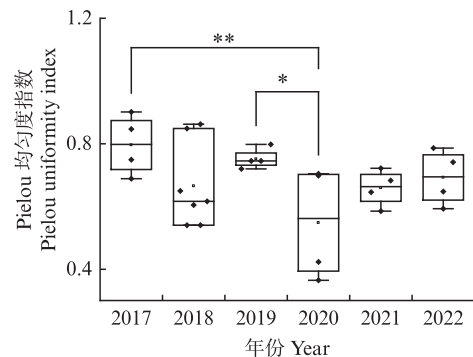
\*代表  $P < 0.05$ , 不同组间存在显著差异。

\*represents  $P < 0.05$ , indicating significant difference between different groups.

图3 金泽水库2017—2022年多样性指数变化情况  
Fig. 3 Changes in the diversity index of the Jinze Reservoir from 2017 to 2022

2018和2020年的Pielou均匀度指数年内波动较大(图4),2020年金泽水库的鱼类群落Pielou均匀度指数与2019年间存在显著差异( $P < 0.05$ ),与2017年间存在极显著差异( $P < 0.01$ )。

0.05),与2017年间存在极显著差异( $P < 0.01$ )。



\*代表  $P < 0.05$ , 不同组间存在显著差异; \*\*代表  $P < 0.01$ , 不同组间存在极显著差异。

\*represents  $P < 0.05$ , indicating significant difference between different groups; \*\* represents  $P < 0.01$ , indicating highly significant difference between different groups.

图4 金泽水库2017—2022年均匀度指数变化情况  
Fig. 4 Changes in the uniformity index of the Jinze Reservoir from 2017 to 2022

6年来金泽水库的Margalef丰富度指数整体呈上升趋势,2022年最高,为4.39;金泽水库Shannon指数有轻微波动但整体较稳定,2019年最高,为2.36,Shannon指数不仅能反映物种数的多寡,还能在一定程度上反映群落的均匀程度,2019年金泽水库的优势种数量及质量占比为6年来较低水平,其他种类占比相对其他年份来说较高;金泽水库的Pielou均匀度指数整体呈先下降后趋于平稳的趋势(图5)。

## 2.4 鱼类群落相似性分析结果

金泽水库2017年的鱼类群落结构与其他年份相似度较低,与其他年份相似度不到40%,其余5年的鱼类群落相似性较高。相似度为70%时,可以将金泽水库6年的鱼类群落分为4组:2017、2018和2019年分别单独为一组,2020、2021和2022年为一组,表明金泽水库鱼类群落结构逐年发生变化,至近两年未发生较大变化(图6)。

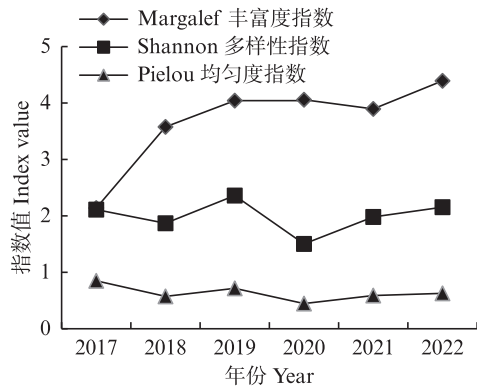


图5 金泽水库2017—2022年全年多样性指数

Fig. 5 Annual diversity index of the Jinze Reservoir from 2017 to 2022

## 2.5 鱼类群落结构稳定性

$W$ 值为两条曲线与坐标轴围成的面积的差值,ABC曲线分析结果显示:金泽水库各年份的ABC曲线的生物量曲线均在丰度曲线之上,且统

计量 $W$ 值均为正值,说明其群落结构较稳定,未受明显负面干扰(图7)。

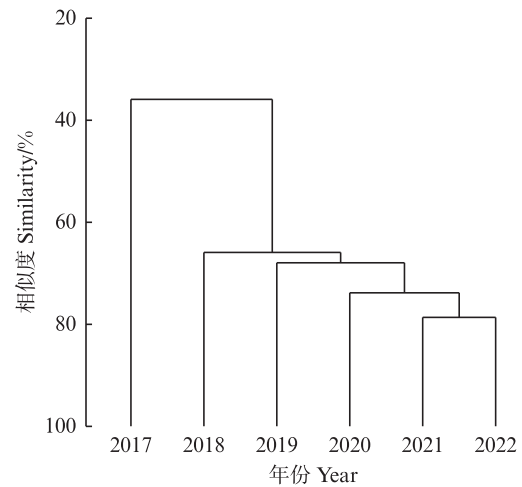


图6 2017—2022年金泽水库鱼类群落相似性树状图

Fig. 6 Dendrogram of fish community similarity in the Jinze Reservoir from 2017 to 2022

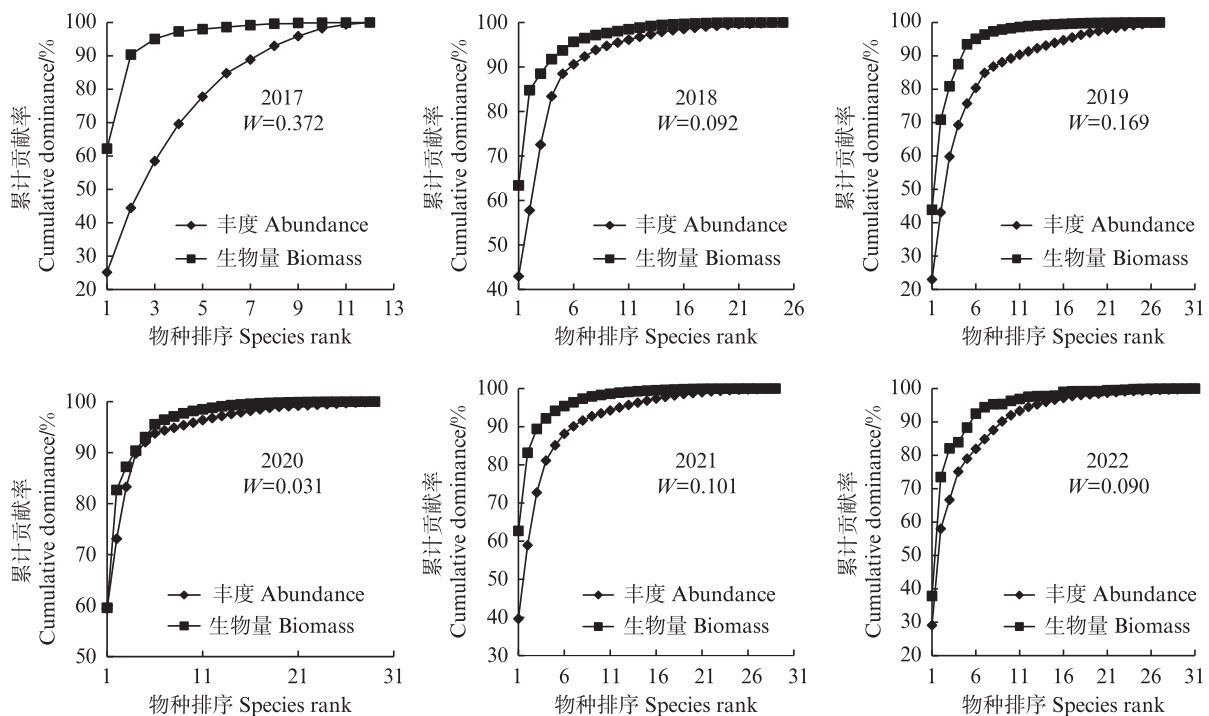


图7 金泽水库2017—2022年ABC曲线

Fig. 7 ABC curves of the Jinze Reservoir from 2017 to 2022

## 2.6 鱼类完整性指数

根据指标筛选标准,此次筛选6个指标进入评价体系。金泽水库的评分结果如表5所示,仅2017年的F-IBI评分结果处于“一般”,主要由于水库刚建成并投入使用,库内鱼类种类较少;其余年份的F-IBI评分结果为“好”,主要表现为鱼

类总数量、鱼类总种数、鲢形目鱼类占比、产浮性卵鱼类占比占优势。在评价为“好”的年份中,2018年处于较低水平,其余年份处于中等偏高水平,分值整体呈逐年升高的趋势,于2019年开始进入较高水平。

表5 金泽水库F-IBI指标的期望值及评分情况  
Tab. 5 Expected values and scores of the F-IBI index of the Jinze Reservoir

项目 Project	期望值 Expectations	年份 Year					
		2017	2018	2019	2020	2021	2022
M1	31	1	5	5	5	5	5
M2	0.07	3	5	5	5	5	5
M4	0.58	5	3	3	1	3	3
M8	0.08	5	3	5	5	1	5
M11	0.17	3	1	5	3	5	5
M14	1 324	1	5	1	5	5	3
总分 Total score		36.0	44.0	48.0	48.0	48.0	52.0
评级 Rating		一般	好	好	好	好	好

### 3 讨论

#### 3.1 金泽水库鱼类优势种变化

2017—2022年金泽水库的优势种有所变化。自2018年开始,麦穗鱼已不是水库内的优势种。麦穗鱼的栖息环境多为水草繁密的浅水区,产具有强黏性的卵黏附在水草、石块上<sup>[28]</sup>,金泽水库建造时对库底进行了加深改造<sup>[5]</sup>,导致麦穗鱼栖息区域缩减,另外水库蓄水后大型肉食性鱼类种群增长,也会导致麦穗鱼种群的消减。水库为控制藻类,向水库中不定期投放鲢、鳙。金泽水库自太浦河取水,太浦河是连接太湖和黄浦江的通道<sup>[29]</sup>,刀鲚是太湖和黄浦江常见鱼类,体型小,繁殖快<sup>[30]</sup>,也是金泽水库的优势种之一。鲫是可在金泽水库内进行自繁的种类,其食性广泛,性成熟周期短,是其成为优势种且优势度逐年上升的重要原因。

熊满辉等<sup>[31]</sup>于2016—2020年对太湖的鱼类群落进行监测,2016年优势种为鲤、鲢和鲫,2017年优势种为刀鲚和鲢,到2020年优势种变化为刀鲚、鲫、鲤;邵严等<sup>[32]</sup>对黄浦江及淀山湖的鱼类群落结构的研究中显示,淀山湖全年的优势种为刀鲚和大鳍鱮(*Acheilognathus macropterus*),鲢和红鳍原鲌仅为春季优势种。金泽水库不定期人为投放鲢、鳙,以致鲢、鳙成为优势种且优势度较大,剔除鲢、鳙之后分析,金泽水库优势度最高的几种鱼类为刀鲚、鲫、翘嘴鲌和鲤,可见建库之后金泽水库与周边水体相比,鱼类群落结构与太湖相似度较高,与淀山湖相似度较低。

#### 3.2 金泽水库鱼类群落结构变化驱动因子

金泽水库的Margalef丰富度指数逐年升高,鱼类种类趋于丰富,主要表现为小型杂食性鱼类和小型肉食性鱼类种类的增多,表明水库为建设成生态型水库而采取的一系列措施取得初步成效,例如生态浮床、导流堤等。金泽水库的Shannon多样性指数呈波动状态,这主要是由于2020年受疫情影响,数据不齐全可能造成较大误差,而将2020年的结果剔除后发现Shannon多样性指数在年间的显著性差异消失,呈整体平稳的上升趋势。金泽水库的Pielou均匀度指数呈先下降后趋于平稳的趋势,随着水库生态系统的演化及干预调控,优势种的竞争优势逐渐显现,均匀度指数有一定幅度的下降,于近两年达到动态平衡的状态。

金泽水库作为一个半封闭的供水型水库,尽管进水口处有栅栏,但小型鱼类依然会进出,这对水库鱼类结构的变动会产生一定的影响。此外,水库的鱼类管护策略(如环境改造、鱼类投放、促进自繁)以及自然生态因素(如鱼类竞争与互补、鱼类与其他水生生物的关系)均驱动着鱼类群落结构的变动<sup>[33]</sup>。例如,调查显示鲫、鲢的数量逐年增多,个体平均质量递增,这可能由自繁和生长驱动;而麦穗鱼从优势种逐渐减少为稀有种,则与肉食性鱼类种群扩张及麦穗鱼生境压缩有关。金泽水库鱼类的多样性逐年递增,鱼类完整性F-IBI评分值逐年提升,表明目前金泽水库鱼类的管护策略是有效和合理的。

#### 3.3 金泽水库鱼类群落的稳定性

ABC曲线法<sup>[34]</sup>利用生物量曲线和丰度曲线的累积速度说明群落中 $r$ -选择型或 $K$ -选择型占据竞争优势。 $K$ -选择性鱼类为个体大、生长较缓慢、性成熟晚的种类; $r$ -选择性鱼类为生长快、个体小的种类。一般情况下,由 $K$ -选择性鱼类主导的群落结构较稳定,反之群落结构则受到干扰<sup>[22]</sup>。刘燕山等<sup>[35]</sup>对2019—2020年的太湖鱼类群落进行稳定性分析发现,丰度曲线全程在生物量曲线之下,且调查到的鱼类以小型鱼类为主,表明太湖鱼类群落受到严重干扰。金泽水库以大型鲢、鳙鱼类为主,2017—2022年金泽水库的生物量曲线均在丰度曲线之上,且统计量 $W$ 均大于0。由于2017年所得鱼类种类较少,优势种

鲢、鳙等大型鱼类的竞争优势最明显, $W$ 值最大;2020年的ABC曲线统计量最小,原因可能是2020年采样主要集中于下半年7—12月,洄游型鱼类刀鲚回到长江下游入海育肥<sup>[30]</sup>,水库引水时由栅格进入库内刀鲚数量增加,所以丰度曲线的累计统计量较其他年份叠加的快,致使丰度曲线向生物量曲线靠近。总体而言,金泽水库近几年的ABC曲线变化不大,鱼类群落结构稳定,但近3年的 $W$ 统计量较小,原因是小型鱼类数量增多致使丰度曲线增长较快,有靠近生物量曲线的趋势,其中鲫通过库内自繁,其数量逐渐增多,建议持续关注金泽水库的鱼类群落变化情况。

#### 4 结论与展望

2017—2022年对金泽水库的鱼类群落结构研究结果显示,6年来共有的优势种为鲢、鳙和刀鲚,麦穗鱼仅在2017年作为优势种出现;金泽水库6年来的鱼类群落多样性指数未有明显波动,呈逐年上升趋势,结合ABC曲线研究结果表明,6年来金泽水库鱼类群落ABC曲线的生物量曲线均在丰度曲线之上,未有交叉,且统计量 $W$ 均大于0,表明鱼类群落稳定性较高。金泽水库鱼类群落结构较稳定,未受负面干扰,金泽水库的生态系统处于稳定状态,后续需要持续关注金泽水库的鱼类群落结构,尤其是可在库内自繁的鲫鱼的种群结构,以防其大量繁殖导致小型鱼类增多而导致群落稳定性降低。

作者声明本文无利益冲突。

#### 参考文献:

- [1] 佟宏伟. 金泽水库生态建设的研究与实践[J]. 净水技术, 2018, 37(s1): 8-13.  
TONG H W. Research to practice: ecological construction of Jinze Reservoir [J]. Water Purification Technology, 2018, 37(s1): 8-13.
- [2] 李根. 多元共治视角下跨界水源地生态补偿模式研究——以长三角一体化示范区太浦河为例[D]. 上海: 华东师范大学, 2023.  
LI G. Research on eco-compensation of cross border water source from a multi-governance perspective: a case study of Taipu River in the Yangtze River delta demonstration zone [D]. Shanghai: East China Normal University, 2023.
- [3] 朱宜平, 尚钊仪, 李蓓, 等. 应对2-甲基异莰醇风险的水利工程联合调度策略[J]. 人民长江, 2023, 54(11): 202-207, 213.  
ZHU Y P, SHANG Z Y, LI B, et al. Jointed operation strategy for hydro junction projects addressing 2-MIB risk [J]. Yangtze River, 2023, 54(11): 202-207, 213.
- [4] 朱少波. 太浦河河岸带物理结构健康评估——以金泽水库段河岸带为例[J]. 中国资源综合利用, 2021, 39(10): 56-59.  
ZHU S B. Health assessment of physical structure of Taipu River Bank zone: take the riparian zone of Jinze Reservoir as an example [J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2021, 39(10): 56-59.
- [5] 黄晖, 龚小玲. 金泽水库鱼类的群落结构和资源量[J]. 上海海洋大学学报, 2020, 29(6): 847-854.  
HUANG H, GONG X L. Fish community structure and resource in Jinze Reservoir [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2020, 29(6): 847-854.
- [6] 李其芳, 严云志, 储玲, 等. 太湖流域河流鱼类群落的时空分布[J]. 湖泊科学, 2016, 28(6): 1371-1380.  
LI Q F, YAN Y Z, CHU L, et al. Spatial and temporal patterns of stream fish assemblages within Taihu Basin [J]. Journal of Lake Science, 2016, 28(6): 1371-1380.
- [7] 咸义, 叶春, 李春华, 等. 太湖竺山湾缓冲带鱼类资源现状及调控措施研究[J]. 南京师大学报(自然科学版), 2016, 39(4): 86-91.  
XIAN Y, YE C, LI C H, et al. Study of the status and adjustment measures of fish resources in the Zhushanbay buffer zones of Taihu Lake [J]. Journal of Nanjing Normal University (Natural Science Edition), 2016, 39(4): 86-91.
- [8] KINDONG R, DAI XJ, TIAN SQ, et al. Ichthyofaunal assemblage of the Dianshan Lake, Shanghai, China: implications for management [J]. Proceedings of the Zoological Society, 2018, 71(2): 153-163.
- [9] 何美峰, 肖九兰, 梁忠连, 等. 泰宁金湖鱼类群落结构及鲢、鳙生长特征[J]. 渔业研究, 2023, 45(5): 462-472.  
HE M F, XIAO J L, LIANG Z L, et al. Fish community structure and the growth performance of *Hypophthalmichthys molitrix* and *Aristichthys nobilis* in Jinhu Reservoir, Taining County, Fujian Province [J]. Journal of Fisheries Research, 2023, 45(5): 462-472.
- [10] 刁楠. 金泽水库拦污排与格栅清污机的组合应用[J]. 河南水利与南水北调, 2021, 50(7): 56-57, 69.  
DIAO N. The Combination Application of Floating Trash Rack and Grille Trash Cleaner in Jinze Reservoir project [J]. Henan Water Resources and South-to-North Water Diversion, 2021, 50(7): 56-57, 69.
- [11] 张午, 王先云, 严棋, 等. 金泽水库输入型藻类运动轨迹预测研究[J]. 净水技术, 2022, 41(s1): 49-56.  
ZHANG W, WANG X Y, YAN Q, et al. Study on prediction of trajectory of imported algae in Jinze



- Reservoir [J]. Water Purification Technology, 2022, 41 (s1): 49-56.
- [12] 邢烁, 张成, 陈立婧, 等. 2021 年度长江口江心青草沙水库鱼类群落结构[J]. 上海海洋大学学报, 2024, 33 (1): 114-123.
- XING S, ZHANG C, CHEN L J, et al. Fish community structure of Qingcaosha Reservoir in the Yangtze River Estuary in 2021 [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2024, 33(1): 114-123.
- [13] 马程浩, 童春富. 长三角生态绿色一体化发展示范区鱼类物种多样性特征[J]. 生态学杂志, 2024, 43(1): 1-9.
- MA C H, TONG C F. Species diversity characteristics of fishes in the Eco-green Integrated Development Demonstration Zone of the Yangtze River Delta [J]. Chinese Journal of Ecology, 2024, 43(1): 1-9.
- [14] 梁阳阳, 卢文轩, 杨坤, 等. 巢湖鱼类群落结构及多样性[J]. 上海海洋大学学报, 2022, 31(6): 1445-1456.
- LIANG Y Y, LU W X, YANG K, et al. The community structure and diversity of fish in the Chaohu Lake [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2022, 31 (6): 1445-1456.
- [15] REN X L, JIANG S L, REN L, et al. Changes in Fish Assemblage Structure after Pen Culture Removal in Gehu Lake, China [J]. Fishes, 2022, 7(6): 382.
- [16] 杨富亿, 文波龙, 李晓宇, 等. 吉林莫莫格国家级自然保护区河流湿地的鱼类栖息地修复效果评价[J]. 湿地科学, 2024, 22(1): 1-15.
- YANG F Y, WEN B L, LI X Y, et al. Restoration effect evaluation of fish habitats in river wetlands in Jilin Momoge National Nature Reserve [J]. Wetland Science, 2024, 22(1): 1-15.
- [17] MAGNUSSEN E. Demersal fish assemblages of Faroe Bank: species composition, distribution, biomass spectrum and diversity [J]. Marine Ecology Progress Series, 2002, 238: 211-225.
- [18] 何倩, 刘淑德, 唐衍力, 等. 山东琵琶岛海域人工鱼礁区鱼类群落物种及功能多样性[J]. 中国水产科学, 2023, 30(12): 1479-1495.
- HE Q, LIU S D, TANG Y L, et al. Species and functional diversity of fish communities in an artificial reef area of the Pipa Island sea, Shandong [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2023, 30(12): 1479-1495.
- [19] LOZUPONE C, KNIGHT R. UniFrac: a new phylogenetic method for comparing microbial communities [J]. Applied and Environmental Microbiology, 2005, 71(12): 8228-8235.
- [20] 李北兴, 黎傲雪, 董建宇, 等. 湛江湾潮间带大型底栖动物的群落结构及其受干扰程度[J]. 南方水产科学, 2023, 19(2): 12-20.
- LI B X, LI A X, DONG J Y, et al. Intertidal macrozoobenthic community structure and its disturbed state in Zhanjiang Bay [J]. South China Fisheries Science, 2023, 19(2): 12-20.
- [21] WARWICK R M. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities [J]. Marine Biology, 1986, 92(4): 557-562.
- [22] MEIRE P M, DEREU J. Use of the abundance/biomass comparison method for detecting environmental stress: some considerations based on intertidal macrozoobenthos and bird communities [J]. The Journal of Applied Ecology, 1990, 27(1): 210.
- [23] KARR J R. Assessment of biotic integrity using fish communities [J]. Fisheries, 1981, 6(6): 21-27.
- [24] HILBURN B G, FREEMAN M C, LAWSON K M, et al. Cryptic tolerant fish species and their potential effect on index of biotic integrity (IBI) scores [J]. Ecological Indicators, 2023, 154: 110546.
- [25] 刘春池, 牛建功, 蔡林钢, 等. 伊犁河流域鱼类生物完整性指数构建初探[J]. 淡水渔业, 2017, 47(4): 15-22.
- LIU C C, NIU J G, CAI L G, et al. Preliminary study on fish index of biotic integrity (F-IBI) assessment for Ili River, Xinjiang [J]. Freshwater Fisheries, 2017, 47(4): 15-22.
- [26] 任丽平. 嘉陵江梯级库区鱼类生物完整性指数(FIBI)评价研究[J]. 西华师范大学学报(自然科学版), 2015, 36 (4): 432-435.
- REN L P. The Study of fish-index of biotic integrity (FIBI) evaluation of cascade development reservoir area in the Jialing River [J]. Journal of China West Normal University (Natural Sciences), 2015, 36(4): 432-435.
- [27] 余根听, 尤爱菊, 周鑫妍, 等. 基于鱼类完整性指数的瓯江干流(丽水段)水生态系统健康评价[J]. 环境污染与防治, 2023, 45(9): 1259-1264, 1270.
- YU G T, YOU A J, ZHOU X Y, et al. Aquatic ecological health assessment of Oujiang River (Lishuisection) based on fish index of biotic integrity [J]. Environmental Pollution & Control, 2023, 45(9): 1259-1264, 1270.
- [28] 李刚, 项杰. 麦穗鱼的生物学特性及室内繁殖技术[J]. 水产养殖, 2014, 35(12): 44-45.
- LI G, XIANG J. Biological characteristics of wheat ear fish and indoor breeding techniques [J]. Journal of Aquaculture, 2014, 35(12): 44-45.
- [29] 李柱, 汪鹏合, 常东洋. 太浦河清水绿廊生态建设方案研究[J]. 科技创新与应用, 2023, 13(31): 146-149.
- LI Z, WANG P H, CHANG D Y. Research on the ecological construction scheme of the Taipu River Clear Water Green Corridor [J]. Technology Innovation and Application, 2023, 13(31): 146-149.
- [30] 李丹, 于雯雯, 徐军田, 等. 长江口刀鲚生物学特征与摄食生态学研究进展[J]. 水产养殖, 2023, 44(8): 6-13.
- LI D, YU W W, XU J T, et al. Research Progress in

- Biological Characteristics and Feeding Ecology of *Coilia nasus* in the Yangtze River Estuary [J]. *Journal of Aquaculture*, 2023, 44(8): 6-13.
- [31] 熊满辉,任洸,陈永进,等. 2016—2020年太湖鱼类群落结构变化及对太湖水环境的响应[J]. *上海海洋大学学报*, 2022, 31(6): 1478-1487.
- XIONG M H, REN L, CHEN Y J, et al. Community structure and diversity of fish in Taihu Lake from 2016 to 2020 and their relationship with water environment [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2022, 31 (6) : 1478-1487.
- [32] 邵严,唐文乔,龚琰,等. 上海淀山湖及黄浦江上游鱼类物种多样性及群落结构分析[J]. *长江流域资源与环境*, 2022, 31(7): 1482-1493.
- SHAO Y, TANG W Q, GONG L, et al. Analysis of Fish Species Diversity and Assemblage of Dianshan Lake and Upper Reaches of Huangpu River in Shanghai [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2022, 31(7): 1482-1493.
- [33] EVANS-POWELL R T, HESP S A, DENHAM A, et al. Implications of big, old, fat, fecund, female fish (BOFFFFs) for the reproductive potential of a demersal teleost stock [J]. *Fisheries Research*, 2024, 272: 106934.
- [34] PAWHESTRI S, HIDAYAT J W, PUTRO S. Assessment of water quality using macrobenthos as bioindicator and its application on abundance-biomass comparison (ABC) curves [J]. *International Journal of Science and Engineering*, 2015, 8(2): 84-87.
- [35] 刘燕山,李大命,朱明胜,等. 太湖鱼类群落现状及其多样性[J]. *长江流域资源与环境*, 2022, 31(9): 1906-1917.
- LIU Y S, LI D M, ZHU M S, et al. Current status of fish community and its diversity in Lake Taihu, China [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2022, 31(9): 1906-1917.

## Fish communities and changes in Jinze Reservoir, Shanghai from 2017 to 2022

ZHANG Cheng<sup>1,2</sup>, WANG Tianlin<sup>1,2</sup>, CHEN Lijing<sup>3</sup>, GONG Xiaoling<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources, Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. Shanghai Vocational College of Agriculture and Forestry, Shanghai 201699, China)

**Abstract:** In order to investigate the change and evolution of fish community structure in Jinze Reservoir from 2017 to 2022, Margalef richness index, Shannon diversity index, Pielou evenness index, abundance biomass curvilinear method, completeness index, and clustering analysis were used to investigate and analyze the fish community. The results showed: A total of 5 119 fish were collected in the survey, belonging to 7 orders, 12 families, 34 genera, and 46 species. The dominant species in Jinze Reservoir in the 2017 survey were *Coilia nasus*, *Pseudorasbora parva*, *Hypophthalmichthys molitrix*, *Aristichys nobilis*, *Carassius auratus*, and the dominant species in Jinze Reservoir in 2018–2022 were *Coilia nasus*, *Hypophthalmichthys molitrix*, *Aristichys nobilis* and *Carassius auratus*. After clustering analysis: at the level of 70% similarity, 2017, 2018, and 2019 were separate groups, and 2020, 2021, and 2022 were groups, and the fish communities were similar in the last three years. The fish Margalef richness index and Shannon diversity index in Jinze Reservoir from 2017 to 2022 were overall high and showed an upward trend in fluctuation; the Pielou evenness index declined and then stabilized, and the competitive advantages of the dominant species gradually appeared. The fish integrity index evaluated the Jinze Reservoir as "fair" in 2017 and "good" in the remaining years. The biomass of population abundance method showed that the biomass of abundance curves of Jinze Reservoir from 2017 to 2022 did not cross and the statistic W was greater than 0, which indicated that the structure of the fish community was stable. The study showed that the fish diversity in Jinze Reservoir was getting higher from 2017 to 2022, the community structure was not negatively affected, and the ecosystem remained stable. This study can provide a reference for the management of fish resources in the reservoir and the construction of an ecological reservoir.

**Key words:** fish communities; diversity index; ABC curves; IBI; Jinze Reservoir