

十年禁渔实施以来长江下游(镇江段)鱼类群落结构及多样性*

徐少远^{1,2}, 莫范^{2,3}, 葛坤^{2,4}, 曹乐乐^{1,2}, 刘凯^{1,2,3,4}, 王银平^{1,2,3**}

(1: 南京农业大学无锡渔业学院, 无锡 214081)

(2: 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 农业农村部淡水渔业和种质资源利用重点实验室, 无锡 214081)

(3: 大连海洋大学, 大连 116023)

(4: 上海海洋大学水产科学国家级实验教学示范中心, 上海 201306)

摘要: 为了解长江十年禁渔以来镇江段鱼类群落结构及多样性变化, 本研究于 2021—2024 年每年鱼类繁殖期(4—7 月)、育肥期(9—11 月)各调查 1 次。4 年期间, 长江镇江段共调查 792 网次, 采集到鱼类 3908 尾, 重 575.62 kg, 鉴定出鱼类 66 种, 隶属 9 目 16 科 47 属。研究期间, 长江镇江段鱼类物种组成以杂食性(肉食性)、淡水定居型和底层鱼类为主, 分别占总物种数的 40.91%(40.91%)、69.70%、43.94%, 群落优势种为鲌(*Parabramis pekinensis*)、贝氏鲮(*Hemiculter bleekeri*)和蛇鮈(*Saurogobio dabryi*)。2024 年鱼类物种数最多为 48 种, 明显高于 2023 年的 39 种。单因素方差分析结果显示, 鱼类群落多样性水平年际差异明显, 2024 年鱼类多样性、丰富度、均匀度和优势度指数均最高, 2024 年鱼类多样性指数(3.04)显著($P < 0.05$)高于前 3 年, 丰富度指数(6.86)显著($P < 0.05$)高于 2023 年, 均匀度指数(0.79)显著($P < 0.05$)高于 2022 年。丰度/生物量曲线结果表明, 禁渔实施后, 长江镇江段鱼类群落结构受干扰程度总体较小, 2022 年受异常枯水位影响鱼类群落受中度干扰, 稳定性下降, 2024 年鱼类群落初步达到稳定状态。Cluster 和 NMDS 分析结果表明, 长江镇江段鱼类群落聚为两组: 2021 年和 2022—2024 年, 2022—2024 年较 2021 年光泽黄颡鱼(*Pelteobagrus nitidus*)、贝氏鲮、银鲌(*Xenocypris argentea*)等小型鱼类相对丰度有所减少, 刀鲂(*Coilia nasus*)相对丰度有所增加, 群落结构呈现一定的演替特征。长江十年禁渔后, 镇江段鱼类资源呈逐步恢复趋势, 群落较为稳定, 但鱼类群落的恢复并非简单的线性上升, 而是同时受到“禁渔(正向)”和“极端枯水位(负向)”因素双重影响。本研究理清了长江十年禁渔以来镇江段鱼类群落基本特征及变动趋势, 可为十年禁渔效果评估和水生生物完整性指数评价提供支撑, 助力长江十年禁渔政策行稳致远。

关键词: 长江十年禁渔; 镇江段; 群落结构; 多样性; 禁渔效果

Fish community structure and diversity in the Zhenjiang reach of the lower Yangtze River since the implementation of the 10-year fishing ban*

Xu Shaoyuan^{1,2}, Mo Fan^{2,3}, Ge Kun^{2,4}, Cao Lele^{1,2}, Liu Kai^{1,2,3,4}, Wang Yinping^{1,2,3**}

(1: Wuxi Fisheries College, Nanjing Agricultural University, Wuxi 214081, P. R. China)

(2: Key Laboratory of Freshwater Fisheries and Germplasm Resources Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, P. R. China)

(3: Dalian Ocean University, Dalian 116023, P. R. China)

(4: National Experimental Teaching Demonstration Center for Fisheries Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, P. R. China)

Abstract: Abstract: To understand the changes in fish community structure and diversity in the Zhenjiang section of the lower Yangtze River following the implementation of the ten-year fishing ban, this study conducted surveys once during the fish breeding period (April–July) and once during the fattening period (September–November) annually from 2021 to 2024. Over the four-year study period, a total of 792 net hauls were carried out in the Zhenjiang section, yielding 3,908 fish individuals with a total weight of 575.62 kg. A total of 66 fish species were identified, belonging to 9 orders, 16 families, and 47 genera. During the study period, the fish assemblage in the Zhenjiang reach of the Yangtze River was dominated by omnivorous and carnivorous species, freshwater resident species, and benthic fish, accounting for 40.91%, 40.91%, 69.70%, and 43.94% of the total species, respectively. The dominant species were *Parabramis pekinensis*, *Hemiculter bleekeri*, and *Saurogobio dabryi*. The highest number of fish species was recorded in 2024 (48 species), which was significantly higher than the 39 species recorded in 2023. One-way ANOVA results revealed significant interannual differences in fish community diversity. In 2024, the fish diversity, richness, evenness, and dominance indices reached their highest values. The diversity index in 2024 (3.04) was significantly higher than those in the previous three years ($P < 0.05$). The richness index (6.86) was significantly higher than that in 2023 ($P < 0.05$), and the evenness index (0.79) was significantly higher than that in 2022 ($P < 0.05$). Results from abundance/biomass curves indicated that the fish community structure in the Zhenjiang section was generally less disturbed after the implementation of the fishing ban. However, in 2022, the fish community experienced moderate disturbance due to abnormally low water levels, resulting in reduced stability. By 2024, the fish community had initially achieved a stable state. Cluster and NMDS analyses showed that the

* 2025-10-10 收稿; 2026-02-03 收修改稿。

江苏省自然科学基金面上项目(BK20211045)、中国水产科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(2023TD11)和中国水产科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(2024XT1003)联合资助。

** 通讯作者; E-mail: wangyinping@ffrc.cn。

fish community in the Zhenjiang section could be divided into two clusters: one consisting of 2021 and the other of 2022–2024. Compared with 2021, the relative abundances of small-sized fish such as *Pelteobagrus nitidus*, *Hemiculter bleekeri*, and *Xenocypris argentea* decreased from 2022 to 2024, while the relative abundance of *Coilia nasus* increased, reflecting certain successional characteristics of the community structure. After the implementation of the ten-year fishing ban in the Yangtze River, fish resources in the Zhenjiang section exhibited a gradual recovery trend, and the community remained relatively stable. However, the recovery of the fish community was not a simple linear process, but was simultaneously influenced by both positive factors (i.e., the fishing ban) and negative factors (i.e., extremely low water levels). This study clarifies the basic characteristics and temporal trends of the fish community in the Zhenjiang section since the implementation of the ten-year fishing ban, providing scientific support for evaluating the effectiveness of the fishing ban and assessing the aquatic biological integrity index. It also contributes to the stable and long-term implementation of the ten-year fishing ban policy in the Yangtze River.

Keywords: The ten-year fishing ban in the Yangtze River; Zhenjiang section; Community structure; Diversity; Fishing ban effectiveness

长江下游全长约 940 km, 洲滩众多, 水文情势复杂, 水生生物适宜栖息的生境类型多样, 历来是长江流域渔业资源最丰富的区域之一^[1]。长江镇江段位于长江下游河段, 受潮汐影响显著, 形成了独特的潮汐型河流生态系统。长江镇江段河道宽阔, 水域开阔, 地势低平, 支流众多, 栖息生境优良, 鱼类等水生生物资源丰富, 既有青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)、草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)、鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙(*Aristichthys nobilis*)等传统经济鱼类, 也有中华鲟(*Acipenser sinensis*)、胭脂鱼(*Myxocyprinus asiaticus*)、刀鲚(*Coilia nasus*)、鳗鲡(*Anguilla japonica*)等珍贵、濒危鱼类, 同时也栖息有长江特有淡水鲸豚类—长江江豚(*Neophocaena asiaeorientalis asiaeorientalis*)^[2]。然而, 长江十年禁渔前, 受过度捕捞、航道整治、闸坝建设、挖沙采石等人类活动的影响, 水生生物多样性水平持续下降, 水生生物资源保护形势日趋严峻^[3]。与长江流域多数水域一样, 长江镇江段也存在物种减少、多样性下降、资源衰退等问题。为有效遏制长江鱼类资源衰退趋势, 2021 年 1 月 1 日, 我国长江流域重点水域开始实行暂定为期 10 年的常年禁捕, 期间禁止天然渔业资源的生产性捕捞。

长江镇江段鱼类资源文献资料记载始于 20 世纪末, 研究分为群落和种群层面。群落层面的研究主要集中在物种组成、群落多样性和资源丰度等方面。研究表明, 长江十年禁渔前, 镇江段鱼类物种明显比历史记载种类少, 鱼类小型化趋势明显^[4-7]; 长江十年禁渔后, 镇江段鱼类物种数、多样性指数及资源丰度均呈增加趋势, 禁渔效果初步显现^[8]。种群层面的研究主要集中在代表物种的年龄结构、生长繁殖及种群动态等方面。长江下游鳊种群以 2~3 龄为主, 占 87.79%, 年龄结构简单, 相对单位体重繁殖力为 120.06±89.68 粒/g, 繁殖潜力较弱, 但生长参数处于较高水平^[9]; 镇江段鳊的自然死亡系数为 0.88, 年捕捞死亡系数为 1.64, 年开发率为 0.65, 种群处于过度开发状态^[10]。综上, 前述研究多为长江十年禁渔政策实施前开展, 虽然为了解镇江段鱼类资源现状提供了基础, 但都是阶段性或局部调查, 缺乏长江十年禁渔以来鱼类群落演变规律的研究, 故而尚难全面反映禁渔前后鱼类群落结构及多样性变化。

因此, 本研究于 2021—2024 年期间, 在长江镇江段开展鱼类资源调查采样, 通过鱼类物种数、优势种、多样性及年际差异分析, 掌握长江十年禁渔以来镇江段鱼类群落结构及多样性变动趋势, 以期为长江十年禁渔效果评估奠定数据基础, 为长江镇江段鱼类资源养护提供科学支撑。

1 材料与方 法

1.1 调查方法

2021—2024 年, 在长江镇江段设置焦北滩(ZJ1)、和畅洲西汉(ZJ2)、和畅洲北汊(ZJ3)、和畅洲东汊(ZJ4)和五峰山大桥(ZJ5)5 个调查区域, 每个区域设置 3 个采样点(图 1)。每次鱼类调查前, 均提前申请并获批特许捕捞许可证。每年繁殖期(4—7 月)、育肥期(9—11 月)各开展 1 个频次鱼类采样调查, 每次调查持续 7—12 天。依据《长江水生生物资源监测手册》^[11], 每个采样点放置 2 条三层复合刺网(1 条浮刺网+1 条沉刺网: 网长 200 m, 网高 2 m, 网目 2a=2.0、6.0、10.0 和 14.0 cm, 每种网目长 50 m)、3 条定置(串联)倒须笼壶(网长 18 m, 网宽 45 cm, 网高 33 cm, 网目 2a=1.6 cm)。于当日下午将网具下至指定调查点位, 次日上午起网收集鱼类样本, 网具单次水下放置时长 12 h。鱼类现场依据文献鉴定到种^[12], 并进行生物学测量, 体长精确到 0.01 mm, 体重精确到 0.1 g。单位捕捞努力量捕获量分析仅采用刺网样本数据, 其他均为三种网具样本数据合并统计值。

实验过程中, 操作人员严格遵守中国水产科学研究院淡水渔业研究中心实验动物伦理委员会伦理规范, 并按照中国水产科学研究院淡水渔业研究中心实验动物伦理委员会制定的规章制度执行。

1.2 数据分析

1.2.1 优势种 运用 Pinkas 相对重要性指数(Index of relative importance, *IRI*)来评价鱼类群落优势种, 计算公式^[13]如下:

$$IRI=(N\%+W\%)\times F\% \quad (1)$$

式中, *N%*为某物种的尾数占总尾数的比例, *W%*为某物种的生物量占总生物量的比例, *F%*为某物种在调

查中出现的点位数占总点位数的比例。具体分类标准为：*IRI* 超过 1000 为优势种；100~1000 之间为重要种；10 至 100 为常见种；1~10 为一般种；*IRI* 不超过 1 为少见种。

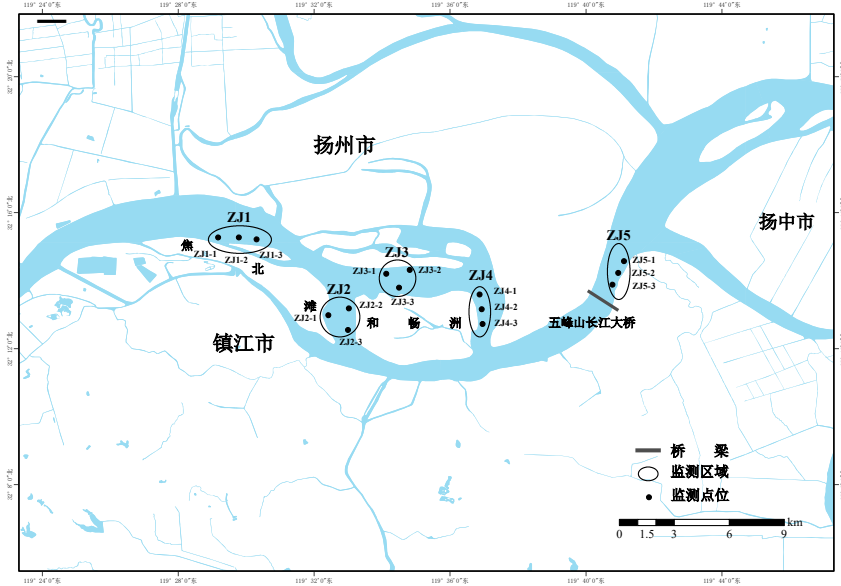


图 1 长江镇江段鱼类采样点位示意图
Fig 1 Sampling sites in the Zhenjiang section of the Yangtze River

表 1 采样点位经纬度

Tab. 1 Latitude and longitude of sampling sites

区域名称	区域编号	点位编号	经度	纬度
焦北滩	ZJ1	ZJ1-1	119°29'27.53"	32°15'4.62"
		ZJ1-2	119°29'58.43"	32°15'6.71"
		ZJ1-3	119°30'24.38"	32°15'4.62"
和畅洲西汉	ZJ2	ZJ2-1	119°32'39.1"	32°13'15.37"
		ZJ2-2	119°33'7.68"	32°13'21.65"
		ZJ2-3	119°33'6.29"	32°12'59.03"
和畅洲北汉	ZJ3	ZJ3-1	119°34'8.4"	32°14'14.44"
		ZJ3-2	119°34'55.37"	32°14'19.41"
		ZJ3-3	119°34'37.6"	32°13'39.55"
和畅洲东汉	ZJ4	ZJ4-1	119°36'57.09"	32°13'32.73"
		ZJ4-2	119°37'1.42"	32°13'5.54"
		ZJ4-3	119°36'58.33"	32°12'35.22"
五峰山大桥	ZJ5	ZJ5-1	119°41'2.19"	32°14'23.71"
		ZJ5-2	119°40'55.85"	32°14'9.6"
		ZJ5-3	119°40'48.74"	32°13'55.35"

1.2.2 鱼类多样性指数 运用 Shannon-Wiener 多样性指数(H)^[14]、Margalef 丰富度指数(D)^[15]、Pielou 均匀度指数(E)^[16]和 Simpson 优势度指数(C)^[17]分析鱼类多样性特征, 各指数计算公式如下:

$$H = -\sum_{i=1}^S (n_i/N) \ln(n_i/N) \quad (2)$$

$$D = (S - 1)/\ln N \quad (3)$$

$$E = H/\ln S \quad (4)$$

$$C = 1 - \sum_{i=1}^S (n_i/N)^2 \quad (5)$$

其中, n_i 代表某一特定物种(第*i*个物种)在群落中的数量; N 代表该群落中样本鱼类的总个体数; S 则特指该群落中样本鱼类的总物种数。

1.2.3 鱼类群落稳定性 鱼类群落的稳定性使用数量-生物量比较曲线(Abundance biomass comparison curve, ABC 曲线)及 W 统计进行判定^[18]。ABC 曲线目前被广泛应用于判定水生生物群落的受干扰程度, W 的统计范围为-1~1。当 $W > 0$ 时, 生物量曲线在丰度曲线上方, 群落的优势种是一种或几种大个体的种类, 群落受到的扰动较小; W 值趋近于 0 时, 生物量曲线和丰度曲线相交, 该群落受到中度扰动; 当 $W < 0$ 时, 生物量曲线在丰度曲线下方, 群落优势种是一种或几种小个体的种类, 群落受到较大的扰动^[19]。 W 统计计算公式为:

$$W = \sum_{i=1}^S \frac{B_i - A_i}{50 \times (S-1)} \quad (6)$$

式中： B_i 和 A_i 为 ABC 中种类序号对应的生物量和数量的累计百分比； S 为样本鱼类的总物种数。ABC 曲线采用 Primer 6.0 软件完成。

1.2.4 鱼类群落相似性 基于各年份的鱼类物种组成及其相对丰度数据，构建物种—丰度原始矩阵。经平方根转换后以 Bray-Curtis 相似性系数为基础，计算年份间鱼类群落的相似性矩阵。采用等级聚类分析(Cluster analysis)和非度量多维尺度分析(Non-metric Multidimensional Scaling, NMDS)对年份进行分组，以解析鱼类群落结构的年际差异特征^[20]。利用相似性分析(Analysis of Similarity Statistics, ANOSIM)检验组间差异的显著性水平，评估聚类分组结果的合理性^[21]。进一步采用相似性百分比分析(Similarity Percentage procedure, SIMPER)识别对组间差异贡献率较大的关键物种^[22]。Cluster 图、NMDS 图和 ANOSIM 检验、SIMPER 分析采用 Primer 6.0 软件完成。

1.2.5 小型鱼类 本研究将初次性成熟小于 2 龄，最大体长小于 24 cm 的鱼类定义为小型鱼类^[23]。

1.2.6 单位捕捞努力捕获量 采用刺网的单位捕捞努力量渔获个体数(Number per unit effort, NPUE, (ind./1000m²/h))和单位捕捞努力量渔获生物量(Biomass per unit effort, BPUE, (kg/1000m²/h))作为鱼类资源量的衡量指标^[24]。

$$NPUE = \frac{N}{S \times h} \quad (7)$$

$$BPUE = \frac{B}{S \times h} \quad (8)$$

式中， N 为捕获鱼类尾数(ind.)； B 为捕获鱼类重量(g)； S 为刺网总面积(m²)； h 为刺网采样时长(h)。

本文中数据统计处理采用 Excel 2016、SPSS26.0 软件完成。不同年间鱼类多样性特征值采用单因素方差法(One-Way Analysis of Variance, ANOVA)进行检验分析，若差异显著，再次进行 S-N-K (Student-Newman-Keuls Method)多重比较。

2 结果与分析

2.1 鱼类群落组成

2021—2024 年在长江镇江段共采集鱼类样本 3908 尾，重 575.62 kg，隶属于 9 目 16 科 47 属 66 种(附表 I)。物种组成中，鲤形目鱼类占绝对优势，有 40 种，占总物种数的 60.61%，数量占比为 77.61%，重量占比为 73.56%；鲈形目和鲇形目鱼类次之，分别有 10 种和 9 种，占总物种数的 15.15%和 13.64%，数量占比分别为 3.84%和 6.19%，重量占比分别为 12.73%和 7.16%；其余各目均仅有 1~2 种。长江镇江段小型鱼类物种数占比 46.97%，数量占比 57.01%，重量占比 9.70%。

不同年间，2024 年物种数最多为 48 种，明显高于 2021 年的 41 种、2022 年的 43 种和 2023 年的 39 种；2021 年 BPUE 最低为 0.09 kg/1000m²/h，明显低于 2022 年的 0.17 kg/1000m²/h、2023 年的 0.18 kg/1000m²/h 和 2024 年的 0.14 kg/1000m²/h；2022 年 NPUE 最高为 1.39 ind./1000m²/h，明显高于 2021 年的 0.75 ind./1000m²/h、2023 年的 0.97 ind./1000m²/h 和 2024 年的 0.53 ind./1000m²/h(表 2)。

表 2 长江镇江段鱼类物种及单位捕捞努力捕获量年际差异

时间 Temporal	物种数 Species number	单位捕捞努力量渔获生物量 BPUE (kg/1000m ² /h)	单位捕捞努力量渔获个体数 NPUE (ind./1000m ² /h)
2021 年	41	0.09	0.75
2022 年	43	0.17	1.39
2023 年	39	0.18	0.97
2024 年	48	0.14	0.53

长江镇江段鱼类的生态类型组成：以淡水定居型鱼类种类最多为 46 种，占比为 69.70%，江海洄游型鱼类种类最少为 4 种，占 6.06%；肉食性和杂食性鱼类种类最多，均为 27 种，占总物种数的 40.91%，浮游生物食性鱼类种类最少为 4 种，占 6.06%；底层鱼类种类最多为 29 种，占比为 43.94%，中上层鱼类种类最少为 18 种，占 27.27%(图 2)。不同生态类型中，淡水定居型、杂食性和中下层鱼类数量占比最大，分别为 54.09%、87.15%和 57.72%；淡水定居型、植食性和中下层鱼类重量占比最大，分别为 69.71%、35.88%和 56.01%(图 2)。

2.2 鱼类群落优势种

2021—2024 年间，长江镇江段优势种鱼类有鳊(*Parabramis pekinensis*)、贝氏鲮(*Hemiculter bleekeri*)、蛇鮈(*Saurogobio dabryi*)共 3 种(表 3)，占总鱼类数量的 46.11%，占总鱼类重量的 35.11%(附表 II)。重要种有鳊(*Siniperca chuatsi*)、鲢(*Megalobrama skolkovii*)、长蛇鮈(*Saurogobio dumerili*)等 14 种，常见种 16 种，包括光泽黄颡鱼(*Pelteobagrus nitidus*)、黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)、翘嘴鲌(*Culter alburnus*)等，一般种 17 种，包括大眼鳊(*Siniperca kneri*)、大口鲈(*Silurus meridionalis*)、鳊鲂等，少见种 16 种，包括麦穗鱼

(*Pseudorasbora parva*)、香斜棘鲈(*Repomucenus olidus*)、团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)等。

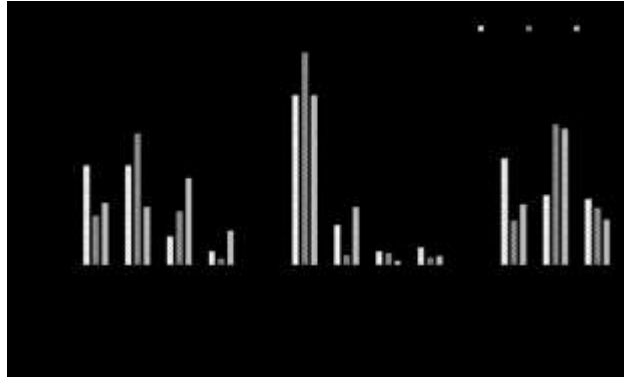


图2 长江镇江段鱼类生态类型组成

Fig 2 Fish ecological types in the Zhenjiang section of the Yangtze River

表3 长江镇江段鱼类优势种组成

Tab. 3 Composition of dominant fish species in the Zhenjiang section of the Yangtze River

物种	相对重要性指数(IRI)				
	2021—2024年	2021年	2022年	2023年	2024年
鳊 <i>P. pekinensis</i>	4831	4210	5310	3980	5363
贝氏鲮 <i>H. bleekeri</i>	1773	2374	2408	1779	
蛇鲂 <i>S. dabryi</i>	1166		1460	1056	1228
鳊 <i>S. chuatsi</i>		2234		1074	
短颌鲚 <i>C. brachygnathus</i>				1109	
鲂 <i>M. skolkovii</i>					1985

2.3 鱼类群落多样性

禁渔以来,长江镇江段鱼类多样性指数为 2.92, 丰富度指数为 7.86, 均匀度指数为 0.70, 优势度指数为 0.91。不同年间鱼类群落多样性有所差异, 2024 年多样性、丰富度、均匀度和优势度指数均最高; 2024 年 H 为 3.04, 显著($P < 0.05$)高于前 3 年; 2024 年 D 为 6.86, 显著($P < 0.05$)高于 2023 年; 2024 年 E 为 0.79, 显著($P < 0.05$)高于 2022 年(表 4)。

表4 长江镇江段鱼类多样性特征值年际差异(均值±标准误)

Tab. 4 Interannual variations in fish diversity indices in the Zhenjiang reach of the Yangtze River (mean ± SE)

时间	Shannon-Wiener 多样性指数(H)	Margalef 丰富度指数(D)	Pielou 均匀度指数(E)	Simpson 优势度指数(C)
2021年	2.76±0.09 ^b	5.96±0.31 ^{ab}	0.74±0.03 ^{ab}	0.89±0.05
2022年	2.53±0.13 ^b	5.92±0.40 ^{ab}	0.67±0.02 ^b	0.87±0.03
2023年	2.63±0.02 ^b	5.55±0.31 ^b	0.72±0.04 ^{ab}	0.90±0.02
2024年	3.04±0.05 ^a	6.86±0.17 ^a	0.79±0.02 ^a	0.93±0.03

注: 同列数据肩标不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

2.4 鱼类群落稳定性

ABC 曲线分析显示, 禁渔以来长江镇江段鱼类群落的生物量优势度曲线在丰度优势度曲线的上方, 生物量优势度曲线起点高于丰度优势度曲线起点, W 的统计值为 0.037, 表明鱼类群落受干扰程度较小。2021、2023 年长江镇江段的鱼类群落的生物量优势度曲线在丰度优势度曲线的上方, 生物量优势度曲线起点略微高于丰度优势度曲线起点, W 的统计值分别为 0.071、0.055, 表明鱼类群落受干扰程度较小。2022 年 W 的统计值为 0.018, 鱼类群落的生物量优势度曲线和丰度优势度曲线相交, 且生物量优势度曲线的起点高于丰度优势度曲线, 表明鱼类群落受中度干扰。2024 年 W 的统计值为 0.133, 且生物量优势度曲线的起点明显高于丰度优势度曲线, 表明 2024 年的鱼类群落结构较 2021 年和 2023 年更稳定(图 3)。

2.5 鱼类群落结构

Cluster 聚类分析表明, 在 65.81% 的 Bray-Curtis 相似性水平上, 长江镇江段的鱼类群落可分别两组, 组I为 2021 年, 组II为 2022、2023、2024 年(图 4a)。One-way ANOSIM 检验结果表明组I和组II明显分离($R=1$)。NMDS 分析的胁强系数为 0, 表明聚类结果很好, 从 NMDS 图中可以看出, 相似性水平为 65.81% 时, 鱼类群落也可以分成 2 组(图 4b), 且聚类结果和 Cluster 聚类结果一致。

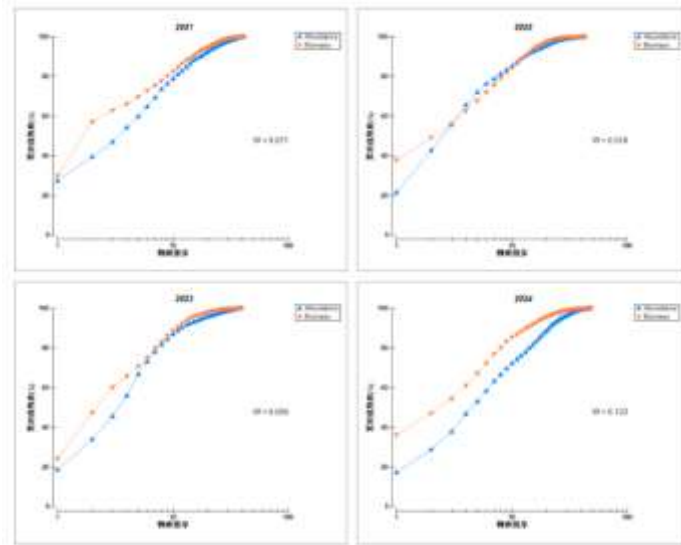


图 3 长江镇江段鱼类群落 ABC 曲线
Fig. 3 ABC of fish community in the Zhenjiang section of the Yangtze River

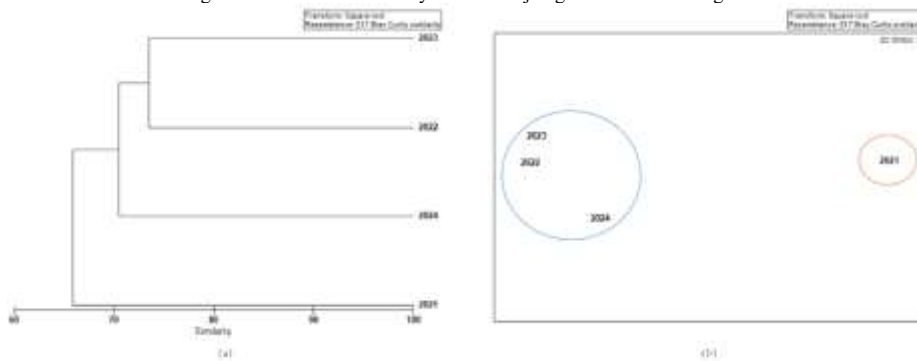


图 4 长江镇江段不同年份鱼类群落 Cluster 图和 NMDS 图
Fig. 4 Cluster analysis and NMDS analysis of fishes in the Zhenjiang section of the Yangtze River in different years

对上述分组进行 SIMPER 分析结果表明,造成组I和组II两组间差异的主要物种有 7 种(贡献率大于 3%),在组II(2022~2024 年)中丰度减少的有光泽黄颡鱼、贝氏鲮、银鲌(*Xenocypris argentea*)、黄颡鱼、鲫(*Carassius auratus*)5 种,丰度增加的有刀鲚、细鳞鲌(*Xenocypris microlepis*)2 种(表 5)。

表 5 长江镇江段鱼类群落年际差异的主要种类组成及其平均差异度
Tab. 5 Major species contributing to interannual differences in the fish community and their average dissimilarity in the Zhenjiang section of the Yangtze River

物种	丰度变化	平均差异度	贡献率(%)	累计贡献率(%)
光泽黄颡鱼	减少	1.40	4.08	4.08
贝氏鲮	减少	1.38	4.05	8.13
银鲌	减少	1.36	3.97	12.10
黄颡鱼	减少	1.34	3.91	16.00
鲫	减少	1.33	3.90	19.90
刀鲚	增加	1.23	3.60	23.50
细鳞鲌	增加	1.18	3.45	26.95

2.6 禁渔效果初步评估

为科学客观评价长江镇江段禁渔效果,选取将该江段禁渔前 4 年的研究结果与本研究进行比较。禁渔前,鱼类物种数和多样性指数整体均呈降低趋势,2017—2020 年物种数分别为 79、52、48 和 48 种,2018—2019 年多样性指数分别为 2.73 和 2.28(表 6)。禁渔政策实施以来,鱼类物种数呈波动状态,禁渔初期(2021 年)未立即超越禁渔前水平,且在 2023 年受异常枯水位影响出现明显下降,但在 2024 年恢复至禁渔前水

平。2021—2024年多样性指数先降低后增加，分别为2.76、2.53、2.63和3.04，2024年多样性指数最高为3.04，较禁渔前(2019年)增长了33.33%。

表6 禁渔前后长江镇江段鱼类物种数及多样性指数年际变化
Tab. 6 Interannual variations in the number of fish species and diversity indices in the Zhenjiang section of the Yangtze River before and after the fishing ban

调查年份	物种数	多样性指数	网具类型	年调查频次	数据来源
2017	79	/	插网、地笼	24	王召根等, 2021
2018	49	2.73	插网、刺网、地笼	6	NICHOLAS G. KONWAY, 2019
2019	48	2.28	刺网、地笼	12	潘杰等, 2021
2020	48	/	刺网、地笼	2	李栋等, 2023
2021	41	2.76	刺网、地笼	2	本研究结果
2022	43	2.53	刺网、地笼	2	本研究结果
2023	39	2.63	刺网、地笼	2	本研究结果
2024	48	3.04	刺网、地笼	2	本研究结果

3 讨论

3.1 鱼类群落组成

长江镇江段洲滩和汇入支流众多，水流因沙洲阻挡方向改变、流速降低，形成有机物汇集的回水区，为鱼类提供优良的繁殖、索饵和栖息环境^[25]，渔业资源丰富。本研究4年间共采集鉴定鱼类66种，低于2017—2020年监测鉴定到的86种^[5,26,27,28]，说明禁渔后镇江段鱼类物种短期内并未迅速恢复，群落仍处于动态调整与缓慢恢复的过程中。这可能与关键栖息地功能恢复滞后有关，长期捕捞干扰会间接改变水生植被与底质结构等生境条件，禁渔后虽捕捞压力消失，但栖息地恢复仍需较长周期，对栖息生境质量要求较高的物种短期内难以重建稳定的种群结构^[29]。禁渔后鱼类物种数整体呈波动上升趋势(表6)，因为禁渔可以保障繁殖亲体有更多的时间等待产卵时机，避免了繁殖亲体在产卵之前就被捕捞，有效地增加了繁殖亲体多度^[30]。同时，禁渔政策实施后，人类涉水活动明显减少，对饵料生物的干扰程度降低，资源更为丰富^[31]，这为鱼类群落的恢复提供了理想的栖息及繁育条件。禁渔政策实施后，镇江段鱼类物种种类整体上呈增长趋势(表6)，但2023年物种数却突然减少，可能与长江流域2022年的异常枯水位有关^[32]。研究表明，水位异常下降会导致浅滩出现不同程度出露，产粘性卵鱼类繁殖受到影响，补充群体相对减少^[33]；同时，异常枯水位条件下，鱼类栖息地面积减小、栖息空间压缩，种间竞争加剧，剩余群体种类减少。本研究中小型鱼类物种数占46.97%，较镇江段历史研究中的小型鱼类比例明显降低^[4,5]，可能是禁渔实施后，肉食性鱼类增多^[8]，捕食压力增强，小型鱼类减少；同时，捕捞压力消失，中大型鱼类没有天敌，数量增加，挤压了小型鱼类的生存空间，占比相对下降^[34]。本研究结果显示，单位捕捞努力量渔获生物量存在年际差异，2022—2024年均明显高于2021年。一方面，禁渔首年生命周期较短的小型鱼类数量恢复较快^[35]，被监测到的概率增大，使得2021年小型鱼类数量占比较大(65.65%)，进而导致单位捕捞努力量渔获生物量较小；另一方面，禁渔后，捕捞压力消失，中大型鱼类逐渐增多，使得单位捕捞努力量渔获生物量有所上升。

本研究中，鳊的IRI值为4831，是长江镇江段的第一优势种，与该江段沙洲、沿岸浅滩较多，水生植物丰富^[36]，可为鳊等植食性鱼类提供丰富的食物有关；此外，十年禁渔前，鳊是该江段的主要增殖放流对象^[4]。本研究中，洄游物种种类数较曹过等^[4]研究中的多，可能是捕捞退出后，洄游到长江镇江段的种类增加。长江镇江段杂食性鱼类物种数比例较高，研究指出，杂食性鱼类具有食性广的特点，可利用有机碎屑、浮游动物、底栖生物等多类型饵料资源，摄食生态位更宽，对多变的环境具有更强的适应性^[25,31]。肉食性鱼类物种数较禁渔前明显增加^[4,8]，可能与禁渔后捕捞压力消失，肉食性鱼类群落逐渐恢复，数量增多^[8]，被监测到的概率增大有关。综上所述，长江镇江段鱼类群落组成及动态变化主要受到栖息地环境、十年禁渔政策以及极端水文事件等多重因素的共同驱动。

3.2 鱼类群落多样性

鱼类多样性是评价河湖生态系统健康的关键指标，多样性指数常用于反映河流鱼类资源丰富水平^[37]以及群落结构在时空梯度上的变化^[38]。Shannon-Wiener多样性指数大小取决于群落的丰富度和均匀度，均匀度和丰富度越高，生物多样性就越高。长江镇江段鱼类的多样性指数为2.92，处于Magurran^[39]提出的多样性指数的一般范围(1.5—3.5)内的较高水平。本研究中，多样性指数较曹过等^[4]和潘杰等^[5]研究结果高，一方面是长江全面禁渔后，捕捞活动停止，鱼类群落逐步恢复，大型鱼类和洄游鱼类增加，提高了群落的多样性；另一方面，肉食性鱼类恢复，抑制了小型鱼类的过度增长，鱼类较禁渔前分布更均匀，多样性更高。长江镇江段具备深槽、沙洲和河漫滩等多样化生境，鱼类等水生生物资源丰富，生物多样性水平较高^[40,41]。禁渔后，长江镇江段鱼类多样性指数呈现波动上升趋势，2024年最高为3.04，说明禁渔后长江镇江段鱼类多样性呈逐渐恢复态势。

长江镇江段鱼类丰富度指数年间有所差异,其中2024年(6.86)显著高于2023年(5.55),两年间鱼类数量未见明显变化,因此推测丰富度指数变化与物种种类数有关(表2)。Pielou均匀度指数和Simpson优势度指数变化很小,尽管禁捕促使鱼类总生物量与物种数增长,但群落优势种结构尚未发生根本性重组,可能与全面禁捕实施时间还较短有关。金斌松^[42]和朱鑫华^[43]等研究也表明,当外界环境改变时,鱼类群落的均匀度指数和优势度指数波动很小。研究期间,鱼类多样性呈先降低后增加的趋势,分析与禁渔后捕捞压力突然消失有关。禁渔初期,捕捞压力的消失可能导致鱼类群落结构发生调整,小型鱼类(如贝氏鲶、蛇鮈等)因繁殖快、生命周期短,短期内数量增加较快,而大型鱼类(如鳊、鲂等)恢复较慢,导致群落以小型鱼类为主,多样性指数下降。

3.3 鱼类群落结构

ABC曲线分析结果显示,长江十年禁渔以来,由于捕捞压力消失,人为干扰活动减少,镇江段鱼类群落受干扰程度总体减小,稳定性逐年增强。但2022年鱼类ABC曲线W值为0.018,生物量优势度曲线起点高于丰度优势度曲线,表明镇江段鱼类群落受中度干扰,这可能与2022年长江流域异常枯水位有关^[32]。研究表明,水位异常下降时,沿河浅滩会出现不同程度的出露,影响产粘性卵鱼类繁殖^[33],该部分鱼类资源量下降导致被监测到的概率降低,鱼类群落结构呈现出更为单一状态。2022年异常枯水位对鱼类群落稳定性及物种组成(2023年物种数下降)造成了可观测到的短期冲击,这说明禁渔政策实施初期,鱼类资源恢复进程并非处于一个理想化的封闭环境,还会受到极端气候—水文事件的显著调制。长江十年禁渔实施后,镇江段鱼类群落的演替趋势,是“禁渔”和“异常枯水位”双重因素共同作用的结果,这为解析鱼类群落动态及其驱动因子提供了更全面的视角。

SIMPER分析结果显示(表5),2022—2024年的鱼类群落中,光泽黄颡鱼、贝氏鲶、银鲌等小型鱼类相对丰度相较2021年有所减少,刀鲚相对丰度有所增加,说明长江十年禁渔实施后镇江段鱼类群落呈现出明显的演替趋势。2022—2024年小型鱼类相对丰度下降,一方面可能与禁渔后肉食性鱼类资源恢复导致的捕食压力增强有关;Du等^[44]研究发现,禁渔后多数鱼类的平均体长和PSD值(体型结构指数)显著上升,尤其是鳊等肉食性鱼类种群结构恢复较快,捕食强度增大导致小型鱼类资源丰度降低。另一方面,2022年长江异常枯水位导致浅滩出露,可能进一步影响了这几种产粘性卵小型鱼类的繁殖成功率^[33],从而加剧了其相对丰度的下降。刀鲚相对丰度增加,可能是禁渔政策实施后,洄游型鱼类在进行长距离的生殖洄游过程中被捕捞风险消失,群体资源相对增加。吴金明等^[45]研究发现,长江十年禁渔政策实施后,鄱阳湖刀鲚资源量恢复明显。马凤娇等^[46]研究发现,禁渔政策实施后,长江口刀鲚规格和资源密度均显著回升,资源量呈良好的恢复态势。

4 总结

十年禁渔政策实施以来,长江下游(镇江段)鱼类群落多样性水平逐步提高,资源恢复态势总体向好。2021—2024年,镇江段优势种鱼类有鳊、贝氏鲶、蛇鮈共3种,鱼类物种数呈波动状态,禁渔初期(2021年)未立即超越禁渔前水平,2023年受异常枯水位影响出现明显下降,但2024年恢复至禁渔前水平。鱼类群落多样性水平显著提升,2024年香农-威纳多样性指数达到3.04,显著高于禁渔首年及历史水平。由于捕捞压力消失,人为干扰活动减少,禁渔后镇江段鱼类群落受干扰程度总体减小,稳定性逐年增强,但2022年长江流域异常枯水位也对镇江段鱼类群落造成短期冲击,群落呈现中度干扰状态,至2024年已初步形成较为稳定的群落结构。SIMPER分析显示,长江十年禁渔实施后镇江段鱼类群落呈现出明显的演替趋势,与禁渔首年(2021年)相比,2022—2024年镇江段鱼类群落中光泽黄颡鱼、贝氏鲶等小型鱼类相对丰度下降,刀鲚等洄游型种类相对丰度增加,群落多样化、结构复杂化演替趋势凸显。本文研究结果显示,十年禁渔政策实施以来,长江下游(镇江段)鱼类群落的恢复并非简单的线性上升,而是同时受到“禁渔(正向)”和“极端水文事件(负向)”的双重影响,因此后续保护进程中,需要同时强化禁渔政策正向效应和极端水文事件预测与应对。

5 附件

附表 I,附表 II 见电子版(DOI: 10.18307/2026.0533)。

6 参考文献

- [1] Zhao X, Wang YP, Liu SL, et al. Spatial and temporal variations of shrimp community diversity at the lower reaches of the Yangtze River. *Chinese Journal of Ecology*, 2023, 42(6): 1434-1442. DOI: 10.13292/j.1000-4890.202306.021. [赵星, 王银平, 刘思磊, 等. 长江下游干流虾类群落多样性时空特征. *生态学杂志*, 2023, 42(6): 1434-1442.]

- [2] Hua YY, Gu MH. Discussion on feasible countermeasures for establishing the Zhenjiang Yangtze River dolphin reserve. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2000, **9**(2): 202. DOI: 10.3969/j.issn.1004-8227.2000.02.012. [华元渝, 顾美华. 建立镇江长江豚类保护区可行性对策探讨. 长江流域资源与环境, 2000, **9**(2): 202.]
- [3] Zhang TS, Liu LG, Luo CQ *et al.* Overview of fish resource studies in the Yangtze River Basin before and at the beginning of the ten-year fishing ban. *Journal of Hunan University of Arts and Science (Natural Science Edition)*, 2025, **37**(3): 64-72. DOI: 10.3969/j.issn.1672-6146.2025.03.010. [张棠斯, 刘良国, 罗从强等. 十年禁渔前与禁渔初期长江流域鱼类资源研究概述. 湖南文理学院学报(自然科学版), 2025, **37**(3): 64-72.]
- [4] Cao G, Li PJ, Wang Y, *et al.* Study on fish community diversity in the north of Hechangzhou Section of the Lower Yangtze River. *Journal of Hydroecology*, 2018, **39**(6): 73-80. DOI: 10.15928/j.1674-3075.2018.06.011. [曹过, 李佩杰, 王媛, 等. 长江下游镇江和扬州北汉江段鱼类群落多样性研究. 水生态学杂志, 2018, **39**(6): 73-80.]
- [5] Pan J, Wang ZG, Zhang XR, *et al.* Fish diversity and annual variation in the provincial nature reserve for Yangtze Cetacean of Zhenjiang. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2021, **41**(1): 26-32. DOI: 10.3969/j.issn.1673-9159.2021.01.004. [潘杰, 王召根, 章旭日, 等. 镇江长江豚类省级自然保护区鱼类多样性及年际变化. 广东海洋大学学报, 2021, **41**(1): 26-32.]
- [6] 冉火焱. 江苏镇江长江豚类省级自然保护区长江江豚栖息地评价[学位论文]. 南京: 南京农业大学, 2021.
- [7] Zhu XF, Bao LT. Investigation of fishery resources in Zhenjiang Yangtze River dolphin conservation area. *Agricultural Equipment & Technology*, 2015, **41**(1): 40-42. DOI: 10.3969/j.issn.1671-6337.2015.01.014. [朱孝锋, 包乐天. 镇江长江豚类保护区渔业资源调查. 农业装备技术, 2015, **41**(1): 40-42.]
- [8] Wang YP, Deng YM, Liu SL, *et al.* Status analysis of fish community in the lower reaches of the Yangtze River at the beginning of 10-year fishing ban and assessment of fishing ban effect. *Journal of Fisheries of China*, 2023, **47**(2): 204-216. DOI: 10.11964/jfc.20220913698. [王银平, 邓艳敏, 刘思磊, 等. 禁捕初期长江下游鱼类群落现状分析及禁渔效果初步评估. 水产学报, 2023, **47**(2): 204-216.]
- [9] Liu SL, Wang YP, Li PJ *et al.* Population growth and reproduction characteristics of *Parabramis pekinensis* in the lower reaches of the Yangtze River. *Chinese Journal of Ecology*, 2021, **40**(7): 2146-2154. DOI: 10.13292/j.1000-4890.202107.025. [刘思磊, 王银平, 李佩杰等. 长江下游鳊种群生长及繁殖特性. 生态学杂志, 2021, **40**(7): 2146-2154.]
- [10] Liu SL, Wang YP, Li PJ *et al.* Estimation of growth and population parameters of freshwater bream *Parabramis pekinensis* in Zhenjiang section of the Yangtze River. *Journal of Dalian Ocean University*, 2019, **34**(5): 725-732. DOI: 10.16535/j.cnki.dlhyxb.2018-290. [刘思磊, 王银平, 李佩杰等. 长江镇江段鳊生长特征及种群参数估算. 大连海洋大学学报, 2019, **34**(5): 725-732.]
- [11] 陈大庆. 长江水生生物资源监测手册. 北京: 中国农业出版社, 2021.
- [12] 朱松泉. 中国淡水鱼类检索. 南京: 江苏科学技术出版社, 1995.
- [13] Pinkas L, Oliphant M, Iverson I. Fish bulletin 152. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters. Scripps Institution of Oceanography Library, 1970.
- [14] Shannon CE, Weaver W. The mathematical theory of communication. Urbana, IL: The University of Illinois Press, 1949.
- [15] Margalef R. Information theory in biology. *General Systems*, 1958, **3**: 36-71.
- [16] Pielou EC. The measurement of diversity in different types of biological collections. *Journal of Theoretical Biology*, 1966, **13**: 131-144. DOI: 10.1016/0022-5193(66)90013-0.
- [17] Simpson EH. Measurement of diversity. *Nature*, 1949, **163**(4148): 688-688. DOI: 10.1038/163688a0.
- [18] Warwick, RM. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities. *Marine Ecology*, 1986, **92**(4): 557-562. DOI: 10.1007/BF00392515.
- [19] Stojkovic P M, Cerba D, Milosevic D, *et al.* Application of the abundance/biomass comparison (ABC) method in the ecological assessment of temperate lake fish communities. *Knowledge & Management of Aquatic Ecosystems*, 2015(416): 24.
- [20] Lozupone C A, Knight R. UniFrac: a new phylogenetic method for comparing microbial communities. *Applied and Environmental Microbiology*, 2005, **71**(12): 8228-8235. DOI: 10.1128/AEM.71.12.8228-8235.2005.
- [21] Clarke K, Warwick R. Change in marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation. Plymouth Marine Laboratory, 1994.
- [22] Kruse M, Taylor M, Muhando C A, *et al.* Lunar, diel, and tidal changes in fish assemblages in an East African marine reserve. *Regional Studies in Marine Science*, 2016, **3**: 49-57. DOI: 10.1016/j.rsma.2015.05.001.
- [23] Tang JF, Ye SW, Li W *et al.* Status and historical changes in the fish community in Erhai Lake. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2013, **31**(4): 712-723. DOI: 10.1007/s00343-013-2324-7.
- [24] Wang JC, Liao CS, Lian YX *et al.* Fish community structure and its historical changes in the Xiangxi Bay of the Three Gorges Reservoir. *J Lake Sci*, 2023, **35**(6): 2082-2094. DOI: 10.18307/2023.0636. [王佳成, 廖传松, 连玉喜等. 三峡水库香溪河鱼类群落结构特征及历史变化. 湖泊科学, 2023, **35**(6): 2082-2094.]
- [25] Zhang XK, Yu DP, Wang HL *et al.* Fish community structure in main habitat of the finless porpoise, the Anqing section of Yangtze River. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, **36**(7): 1832-1839. DOI: 10.5846/stxb201409251904. [张晓可, 于道平, 王慧丽等. 长江安庆段江豚主要栖息地鱼类群落结构. 生态学报, 2016, **36**(7): 1832-1839.]
- [26] Wang ZG, Cao G, Pan J, *et al.* The fish community structure and its relationship with environmental factors in Zhenjiang Hechang Section of the Yangtze River. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2021, **37**(30): 139-146. DOI: 10.11924/j.issn.1000-6850.casb2020-0554. [王召根, 曹过, 潘杰, 等. 长江镇江和扬州水域鱼类群落组成及环境影响因子. 中国农学通报, 2021, **37**(30): 139-146.]
- [27] Conway NG. 长江镇江段鱼类群落结构及其关键环境影响因子研究[学位论文]. 南京: 南京农业大学, 2019.
- [28] Li D, Lin DQ, Wang ZG, *et al.* Spatial and temporal characteristics of fish resources in the Zhenjiang Yangtze River Dolphin Provincial Nature Reserve based on acoustic frequency difference technology. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2023, **47**(1): 121-132. DOI: 10.7541/2022.2021.0314. [李栋, 蔺丹清, 王召根, 等. 基于水声学频差技术的镇江长江豚类省级自然保护区鱼类资源时空特征. 水生生物学报, 2023, **47**(1): 121-132.]
- [29] Feng K, Deng W, Li H, *et al.* Direct and indirect effects of a fishing ban on lacustrine fish community do not result in a full recovery. *Journal of Applied Ecology*, 2023, **60**(10): 2210-2222. DOI: 10.1111/1365-2664.14491.

- [30] Li YF, Li XH, Yang JP, *et al.* Effect of Pearl River closed fishing on *Megalobrama hoffmanni* recruitment stock. *Journal of Fisheries of China*, 2014, **38**(4): 503-509. DOI: 10.3724/SP.J.1231.2014.48898. [李跃飞, 李新辉, 杨计平, 等. 珠江禁渔对广东鲂资源补充群体的影响分析. 水产学报, 2014, **38**(4): 503-509.]
- [31] Pan J, Wang ZG, Li PJ, *et al.* The community structure and spatiotemporal characteristics of phytoplankton in the waters of Zhenjiang and Changzhou in the Yangtze River. *Journal of Aquaculture*, 2022, **43**(5): 18-24. DOI: 10.3969/j.issn.1004-2091.2022.05.005. [潘杰, 王召根, 李佩杰, 等. 长江镇江和扬州水域浮游植物群落结构及时空特征. 水产养殖, 2022, **43**(5): 18-24.]
- [32] Min JL, Yu JX, Zhang YY *et al.* Distribution risks and protection countermeasures of Yangtze finless porpoise in Poyang Lake during abnormal dry period. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2024, **48**(10): 1642-1650. DOI: 10.7541/2024.2023.0182. [闵佳玲, 余进祥, 张瑶瑶等. 异常枯水时期鄱阳湖长江江豚分布风险与保护对策. 水生生物学报, 2024, **48**(10): 1642-1650.]
- [33] Yang F, He BY, Feng Q *et al.* Shoal exposure caused by water level drop in the middle reaches of the Yangtze River and its potential impact on stickiness spawning fish: a case study in spring 2020. *Journal of Huazhong Normal University (Natural Sciences)*, 2022, **56**(2): 354-362. DOI: 10.19603/j.cnki.1000-1190.2022.02.020. [杨帆, 何报寅, 冯奇等. 长江中游水位下降引起的浅滩出露及其对产粘性卵鱼类繁衍的潜在影响探讨—以 2020 年春季为例. 华中师范大学学报(自然科学版), 2022, **56**(2): 354-362.]
- [34] Zhang TS, Liu LG, Luo CQ *et al.* Fish community structure and its historical changes in the Yuanshui River of middle reaches of the Yangtze River during early period of the fishing ban. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2025, **49**(5): 4-17. DOI: 10.7541/2025.2024.0328. [张棠斯, 刘良国, 罗丛强等. 禁渔初期长江中游沅水流域鱼类群落结构及其历史变化. 水生生物学报, 2025, **49**(5): 4-17.]
- [35] Huang ZJ, Tian JL, Wang YP, *et al.* The community characteristics of larval and juvenile fish in Anqing section of the Yangtze River during the first year of fishing ban. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2024, **48**(4): 537-545. DOI: 10.7541/2023.2022.0509. [黄中家, 田佳丽, 王银平, 等. 禁捕首年长江安庆段仔稚鱼群聚特征. 水生生物学报, 2024, **48**(4): 537-545.]
- [36] 镇江日报. 镇江观测到 608 种陆生维管植物、42 种水生维管植物. 中国江苏网, 2023.
- [37] Hu ZJ, Wu H, Chen LQ, *et al.* Structure of fish assemblages before drinking-water supplies in Qingcaosha Reservoir of Yangtze River Estuary. *Journal of Fisheries of China*, 2012, **36**(8): 1234-1241. DOI: 10.3724/SP.J.1231.2012.28003. [胡忠军, 吴昊, 陈立侨, 等. 长江口青草沙水库正式供水前的鱼类群落结构特征. 水产学报, 2012, **36**(8): 1234-1241.]
- [38] Wilhm J L. Use of biomass units in Shannon's formula. *Ecology*, 1968, **49**(1): 153-156. DOI: 10.2307/1933573.
- [39] Magurran AE. Why diversity? In: Magurran AE ed. *Ecological diversity and its measurement*. Dordrecht: Springer, 1988: 1-5.
- [40] Liu XW, Zhang TQ, Shen DD, *et al.* The fisheries resources from nanjinglongtan section of the Yangtze River in 2017. *Journal of Aquaculture*, 2019, **40**(4): 45-48. DOI: 10.3969/j.issn.1004-2091.2019.04.010. [刘小维, 张彤晴, 沈冬冬, 等. 2017 年长江南京龙潭段渔获资源调查. 水产养殖, 2019, **40**(4): 45-48.]
- [41] Tang C, Deng HT, Tian HW, *et al.* Analysis of fish community structure characteristics in the mainstream section of the national nature reserve for rare and unique fish species in the upper reaches of the Yangtze River. *Journal of Fisheries of China*, 2023, **47**(2): 79-98. DOI: 10.11964/jfc.20220913696. [唐成, 邓华堂, 田辉伍, 等. 长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区干流段鱼类群落结构特征分析. 水产学报, 2023, **47**(2): 79-98.]
- [42] 金斌松. 长江口盐沼潮沟鱼类多样性时空分布格局[学位论文]. 上海: 复旦大学, 2010.
- [43] Zhu XH, Wu HZ, Xu FS, *et al.* Study on the spatiotemporal heterogeneity of swimming animal community structure in the coastal waters of the Yellow and Bohai Seas. *Current Zoology*, 1994(3): 241-252. [朱鑫华, 吴鹤洲, 徐凤山, 等. 黄、渤海沿岸水域游泳动物群落结构时空格局异质性研究. 动物学报, 1994(3): 241-252.]
- [44] Du J, Tian H, Xiang Z *et al.* Impact of the fishing ban on fish diversity and population structure in the middle reaches of the Yangtze River, China. *Frontiers in Environmental Science*, 2025, **12**: 1530716. DOI: 10.3389/fenvs.2024.1530716.
- [45] Wu JM, Li LK, Cheng PL *et al.* Species identification and resource dynamics of *Coilia nasus* in the Poyang Lake. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2021, **28**(6): 743-750. DOI: 10.12264/JFSC2020-0493. [吴金明, 李乐康, 程佩琳等. 鄱阳湖刀鲚的鉴定与资源动态研究. 中国水产科学, 2021, **28**(6): 743-750.]
- [46] Ma FJ, Yang YP, Fang DA *et al.* Characteristics of *Coilia nasus* resources after fishing ban in the Yangtze River. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2022, **46**(10): 1580-1590. DOI: 10.7541/2023.2022.0070. [马凤娇, 杨彦平, 方弟安等. 长江禁捕后长江口刀鲚资源特征. 水生生物学报, 2022, **46**(10): 1580-1590.]

1
2

附表I 长江镇江段鱼类群落物种组成

Appendix Tab.I Composition of fish community in the Zhenjiang section of the Yangtze River

目 Order	科 Family	种 Species	生态类型 Ecological type	年份 Year			
				2021 年	2022 年	2023 年	2024 年
鲤形目 Cypriniformes	鲤科 Cyprinidae	贝氏鲮 <i>Hemiculter bleekeri</i>	O,SF,U	+	+	+	+
		鳊 <i>Parabramis pekinensis</i>	H,SF,L	+	+	+	+
		鲃 <i>Megalobrama skolkovii</i>	O,SF,L	+	+	+	+
		翘嘴鲌 <i>Culter alburnus</i>	C,SF,U	+	+	+	+
		拟尖头鲌 <i>Culter oxycephaloides</i>	C,SF,U		+	+	+
		蒙古鲌 <i>Culter mongolicus</i>	C,SF,U	+	+		+
		达氏鲌 <i>Culter dabryi</i>	C,SF,U	+			+
		红鳍原鲌 <i>Cultrichthys erythropterus</i>	C,SF,U	+			
		鲮 <i>Hemiculter leucisculus</i>	O,SF,U				+
		飘鱼 <i>Pseudolaubuca sinensis</i>	O,SF,U		+		
		团头鲂 <i>Megalobrama amblycephala</i>	H,SF,L			+	
		蛇鲂 <i>Saurogobio dabryi</i>	O,SF,L	+	+	+	+
		银鲂 <i>Squalidus argentatus</i>	O,SF,L	+	+	+	+
		长蛇鲂 <i>Saurogobio dumerili</i>	O,SF,L	+	+	+	+
		麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i>	P,SF,U	+		+	
		花鲮 <i>Hemibarbus maculatus</i>	C,SF,U	+	+	+	+
		黑鳍鲮 <i>Sarcocheilichthys nigripinnis</i>	O,SF,L	+			
		光唇蛇鲂 <i>Saurogobio gymnocheilus</i>	O,SF,D		+	+	+
		华鲮 <i>Sarcocheilichthys sinensis</i>	O,SF,L	+			
		似刺鲃 <i>Paracanthobrama guichenoti</i>	O,SF,D	+			+
		铜鱼 <i>Coreius heterodon</i>	O,RL,D				+
		似鲃 <i>Pseudobrama simoni</i>	P,SF,L	+	+	+	+
		银鲃 <i>Xenocypris argentea</i>	H,SF,D	+	+	+	+
		细鳞鲃 <i>Xenocypris microlepis</i>	O,RL,L		+	+	+
		黄尾鲃 <i>Xenocypris davidi</i>	H,SF,D	+			
		斑条鲮 <i>Acheilognathus taenianalis</i>	O,SF,U	+	+		
		兴凯鲮 <i>Acheilognathus chankaensis</i>	H,SF,U	+			+
		大鳍鲮 <i>Acheilognathus macropterus</i>	H,SF,U	+		+	+
		无须鲮 <i>Acheilognathus gracilis</i>	H,SF,L		+		
		鲫 <i>Carassius auratus</i>	O,SF,L	+		+	+
		鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	O,SF,L	+	+		
		鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	P,RL,U	+	+	+	+
		鳙 <i>Aristichthys nobilis</i>	P,RL,U	+	+	+	+
		赤眼鲮 <i>Squaliobarbus curriculus</i>	O,SF,U	+	+	+	+
		青鱼 <i>Mylopharyngodon piceus</i>	C,RL,L		+		
		草鱼 <i>Ctenopharyngodon idellus</i>	H,RL,L	+		+	+
		鳊 <i>Elopichthys bambusa</i>	C,RL,U			+	+

		麦瑞加拉鲢* <i>Cirrhinus mrigala</i> *	O,SF,D	+				
	鳅科 Cobitidae	泥鳅 <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	O,SF,D	+			+	+
		大鳞副泥鳅 <i>Paramisgurnus dabryanus</i>	O,SF,D					+
鲱形目 Clupeiformes	鲱科 Engraulidae	刀鲚 <i>Coilia nasus</i>	C,RS,L	+	+		+	+
		短颌鲚 <i>Coilia brachygnathus</i>	C,SF,L	+	+		+	+
鲈形目 Perciformes	虾虎鱼科 Gobiidae	子陵吻虾虎鱼 <i>Rhinogobius giurinus</i>	C,RLD	+	+		+	+
		波氏吻虾虎鱼 <i>Rhinogobius cliffordpopei</i>	O,RL,D				+	
		舌虾虎鱼 <i>Glossogobius giuris</i>	C,EF,D				+	
	鲈科 Serranidae	鳊 <i>Siniperca chuatsi</i>	C,SF,D	+	+		+	+
		大眼鳊 <i>Siniperca kneri</i>	C,SF,D	+	+			+
		中国花鲈 <i>Lateolabrax maculatus</i>	C,RS,L	+	+		+	+
	鲈科 Callionymidae	香斜棘鲈 <i>Repomucenus olidus</i>	C,EF,D				+	+
	月鳢科 Channidae	乌鳢 <i>Channa argus</i>	C,SF,D					+
	沙塘鳢科 Odontobutidae	河川沙塘鳢 <i>Odontobutis potamophilus</i>	C,SF,D				+	
	塘鳢科 Eleotridae	尖头塘鳢 <i>Eleotris oxycephala</i>	C,EF,D					+
鲇形目 Siluriformes	鲇科 Bagridae	光泽黄颡鱼 <i>Pelteobagrus nitidus</i>	O,SF,D	+	+		+	+
		瓦氏黄颡鱼 <i>Pelteobagrus vachelli</i>	O,SF,D	+	+		+	+
		长须黄颡鱼 <i>Pelteobagrus eupogon</i>	O,SF,D				+	+
		黄颡鱼 <i>Pelteobagrus fulvidraco</i>	C,SF,D	+	+		+	+
		长吻鮠 <i>Leiocassis longirostris</i>	C,RL,D				+	+
		粗唇鮠 <i>Leiocassis crassilabris</i>	C,SF,D				+	+
		大鳍鲢 <i>Hemibagrus macropterus</i>	O,SF,D					+
	鲇科 Siluridae	鲇 <i>Silurus asotus</i>	C,SF,D					+
		大口鲇 <i>Silurus meridionalis</i>	C,SF,D					+
鲈形目 Pleuronectiformes	舌鳎科 Cynoglossidae	窄体舌鳎 <i>Cynoglossus gracilis</i>	O,EF,D	+	+		+	+
胡瓜鱼目 Osmeriformes	银鱼科 Salangidae	大银鱼 <i>Protosalanx hyalocranium</i>	C,RL,U	+	+		+	+
鳗鲡目 Anguilliformes	鳗鲡科 Anguillidae	鳗鲡 <i>Anguilla japonica</i>	C,RS,D	+	+		+	
鲷形目 Mugiliformes	鲷科 Mugilidae	鲷 <i>Mugil cephalus</i>	O,EF,D				+	+
颌针鱼目 Beloniformes	鱻科 Hemirhamphidae	间下鱻 <i>Hyporhamphus intermedius</i>	C,RS,U				+	

3 注: +. 采集到样本, *. 外来物种; O. 杂食性鱼类, P. 浮游生物食性鱼类, H. 植食性鱼类, C. 肉食性鱼类; U. 中上层鱼类, L. 中下层鱼类, D. 底层鱼类; RL. 河湖洄游型鱼类, SF. 淡
4 水定居型鱼类, EF. 河口型鱼类, RS. 江海洄游型鱼类; 参照《江苏鱼类志》。

5

附表II 长江镇江段鱼类数量占比及重量占比

Appendix Tab.II Fish composition in the Zhenjiang section of the Yangtze River: percentage by individual count and biomass

物种 Species	数量占比 N%					重量占比 W%				
	2021—2024 年	2021 年	2022 年	2023 年	2024 年	2021—2024 年	2021 年	2022 年	2023 年	2024 年
贝氏鲮 <i>Hemiculter bleekeri</i>	18.35	27.26	21.61	18.55	6.25	1.36	2.41	2.48	1.22	0.48
鳊 <i>Parabramis pekinensis</i>	16.94	12.22	21.03	15.46	17.27	32.61	29.88	37.98	34.34	36.37
鲃 <i>Megalobrama skolkovii</i>	4.17	1.83	2.40	3.73	8.90	6.31	2.41	2.54	4.62	10.95
翘嘴鲌 <i>Culter alburnus</i>	1.00	1.22	0.17	1.28	1.59	0.66	3.32	0.07	0.46	0.34
拟尖头鲌 <i>Culter oxycephaloides</i>	0.72		0.75	0.43	1.59	1.44		0.27	0.47	3.28
蒙古鲌 <i>Culter mongolicus</i>	0.54	0.37	0.50		1.27	0.56	0.06	0.73		1.02
达氏鲌 <i>Culter dabryi</i>	0.36	0.24			1.27	0.07	0.48			0.03
红鳍原鲌 <i>Cultrichthys erythropterus</i>	0.18	0.86				0.19	1.68			
鲮 <i>Hemiculter leucisculus</i>	0.03				0.11	0.00				0.00
鲃 <i>Pseudolaubuca sinensis</i>	0.03		0.08			0.00		0.00		
团头鲂 <i>Megalobrama amblycephala</i>	0.03			0.11		0.24			0.87	
蛇鲃 <i>Saurogobio dabryi</i>	10.82	7.21	12.91	10.55	11.55	1.14	1.33	1.68	1.18	0.73
银鲃 <i>Squalidus argentatus</i>	3.81	2.57	4.06	5.12	3.28	0.15	0.14	0.24	0.16	0.10
长蛇鲃 <i>Saurogobio dumerili</i>	6.88	4.40	6.54	11.41	4.98	2.35	2.34	3.29	2.84	1.44
麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i>	0.10	0.37		0.11		0.00	0.02		0.00	
花鲢 <i>Hemibarbus maculatus</i>	1.38	0.24	0.91	1.49	2.86	1.57	0.45	0.47	1.78	2.41
黑鳍鲈 <i>Sarcocheilichthys nigripinnis</i>	0.05	0.24				0.00	0.03			
光唇蛇鲃 <i>Saurogobio gymnocheilus</i>	0.61		1.74	0.21	0.11	0.02		0.06	0.00	0.00
华鲈 <i>Sarcocheilichthys sinensis</i>	0.18	0.86				0.06	0.51			
似刺鲃 <i>Paracanthobrama guichenoti</i>	0.20	0.24			0.64	0.08	0.27			0.12
铜鱼 <i>Coreius heterodon</i>	0.03				0.11	0.08				0.21
似鲃 <i>Pseudobrama simoni</i>	2.05	1.83	1.99	2.56	1.80	0.31	0.62	0.42	0.39	0.09
银鲃 <i>Xenocypris argentea</i>	4.35	7.46	1.82	0.21	9.00	1.10	2.25	2.82	0.05	0.52
细鳞鲃 <i>Xenocypris microlepis</i>	1.07		0.66	1.81	1.80	4.35		4.48	5.36	4.87
黄尾鲃 <i>Xenocypris davidi</i>	0.10	0.49				0.14	1.18			
斑条鲃 <i>Acheilognathus taenianalis</i>	0.18	0.61	0.17			0.01	0.09	0.00		
兴凯鲃 <i>Acheilognathus chankaensis</i>	0.23	0.61			0.42	0.00	0.04			0.00
大鳍鲃 <i>Acheilognathus macropterus</i>	0.54	0.12		0.75	1.38	0.02	0.00		0.03	0.03
无须鲃 <i>Acheilognathus gracilis</i>	0.03		0.08			0.00		0.00		
鲫 <i>Carassius auratus</i>	0.64	2.57		0.11	0.32	0.58	3.34		0.12	0.41
鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	0.18	0.24	0.41			1.70	1.16	7.03		
鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	0.56	0.73	0.66	0.53	0.32	4.55	5.74	6.54	4.60	2.99
鳙 <i>Aristichthys nobilis</i>	0.31	0.12	0.08	0.64	0.42	9.52	0.79	0.90	23.22	7.16
赤眼鲮 <i>Squaliobarbus curriculus</i>	0.26	0.37	0.17	0.21	0.32	0.44	0.47	0.46	0.44	0.43
青鱼 <i>Mylopharyngodon piceus</i>	0.18		0.58			0.00		0.00		
草鱼 <i>Ctenopharyngodon idellus</i>	0.15	0.12		0.43	0.11	1.76	1.04		4.97	0.66
鳊 <i>Elopichthys bambusa</i>	0.08			0.21	0.11	0.11			0.04	0.25

麦瑞加拉鲢* <i>Cirrhinus mrigala*</i>	0.05	0.24				0.01	0.10				
泥鳅 <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	0.23	0.61		0.32	0.11	0.04	0.24		0.05	0.00	
大鳞副泥鳅 <i>Paramisgurnus dabryanus</i>	0.03				0.11	0.00				0.01	
刀鲚 <i>Coilia nasus</i>	4.71	0.86	10.02	0.75	5.19	1.61	0.63	4.88	0.21	1.02	
短颌鲚 <i>Coilia brachygnathus</i>	4.02	2.20	2.07	10.66	1.48	0.71	0.67	0.43	1.66	0.18	
子陵吻虾虎鱼 <i>Rhinogobius giurinus</i>	0.56	0.86	0.33	0.64	0.53	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	
波氏吻虾虎鱼 <i>Rhinogobius cliffordpopei</i>	0.05		0.08	0.11		0.00		0.00	0.00	0.00	
舌虾虎鱼 <i>Glossogobius giuris</i>	0.03		0.08			0.00		0.01			
鳊 <i>Siniperca chuatsi</i>	2.30	4.52	1.32	2.56	1.38	11.58	27.39	11.21	12.78	6.10	
大眼鳊 <i>Siniperca kneri</i>	0.23	0.86	0.08		0.11	0.12	0.61	0.11		0.06	
中国花鲈 <i>Lateolabrax maculatus</i>	0.44	1.47	0.08	0.32	0.11	0.55	3.32	0.08	0.28	0.17	
香斜棘鲷 <i>Repomucenus olidus</i>	0.15		0.08		0.53	0.00		0.00		0.00	
乌鳢 <i>Channa argus</i>	0.03				0.11	0.45				1.19	
河川沙塘鳢 <i>Odontobutis potamophilus</i>	0.03		0.08			0.01		0.05			
尖头塘鳢 <i>Eleotris oxycephala</i>	0.03				0.11	0.01				0.04	
光泽黄颡鱼 <i>Pelteobagrus nitidus</i>	2.18	5.62	0.75	0.21	2.97	0.45	0.65	1.41	0.01	0.16	
瓦氏黄颡鱼 <i>Pelteobagrus vachelli</i>	0.54	0.37	0.58	0.21	0.95	0.73	0.16	1.24	0.05	1.10	
长须黄颡鱼 <i>Pelteobagrus eupogon</i>	0.26		0.08	0.32	0.64	0.06		0.03	0.12	0.05	
黄颡鱼 <i>Pelteobagrus fulvidraco</i>	1.71	4.89	0.58	0.43	1.69	0.57	2.35	0.71	0.32	0.14	
长吻鮠 <i>Leiocassis longirostris</i>	0.90		1.16	0.21	2.01	3.52		3.75	0.47	6.68	
粗唇鮠 <i>Leiocassis crassilabris</i>	0.28		0.08	0.21	0.85	1.06		0.04	2.90	0.63	
大鳍鲮 <i>Hemibagrus macropterus</i>	0.10			0.43		0.05			0.18		
鲇 <i>Silurus asotus</i>	0.13				0.53	0.15				0.40	
大口鲇 <i>Silurus meridionalis</i>	0.10				0.42	0.56				1.48	
窄体舌鳎 <i>Cynoglossus gracilis</i>	3.07	1.59	2.57	6.29	1.80	1.92	1.49	1.89	3.44	0.94	
大银鱼 <i>Protosalanx hyalocranius</i>	0.23	0.12	0.33	0.11	0.32	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	
鳗鲡 <i>Anguilla japonica</i>	0.20	0.37	0.17	0.32		0.17	0.30	0.19	0.34		
鲻 <i>Mugil cephalus</i>	0.10		0.08		0.32	2.14		1.47		4.75	
间下鲻 <i>Hyporhamphus intermedius</i>	0.03		0.08			0.00		0.00			

8 注: N%为某物种的尾数占总尾数的比例, W%为某物种的生物量占总生物量的比例, 数据只保留两位小数。