

惠州西湖外来鱼类入侵与鱼类群落状况研究

余梵冬^{1,2}, 韦 慧^{1,2}, 徐 猛^{1,2}, 房 苗^{1,2}, 舒 璐^{1,2}, 汪学杰^{1,2}, 胡隐昌^{1,2}, 顾党恩^{1,2*}

¹中国水产科学研究院珠江水产研究所/农业农村部外来入侵水生生物防控重点实验室, 广东 广州 510380; ²中国水产科学研究院外来物种与生态安全重点实验室, 广东 广州 510380

摘要:【目的】摸清惠州西湖鱼类群落组成和外来鱼类入侵现状。【方法】2023年2月,在惠州西湖主湖区开展鱼类资源调查,运用 Jaccard 相似性指数、相似性分析、非度量多维尺度排序法等方法分析外来鱼类物种组成、丰度差异、分布格局、群聚结构和群落相似性。【结果】共捕获鱼类 21 种,包括鲤、鲫和鲢等 16 种土著鱼类以及豹纹翼甲鲇、齐氏罗非鱼、尼罗罗非鱼、伽利略罗非鱼和露斯塔野鲮 5 种外来鱼类。外来鱼类质量和数量分别占总渔获物的 45.36% 和 44.18%。豹纹翼甲鲇和齐氏罗非鱼在 5 种外来鱼类中质量和数量占比相对较高,表明外来种群资源量具有一定规模;相似性分析结果表明,西湖平均 Jaccard 相似性指数处于相似等级(数值为 0.62),表明惠州西湖鱼类群落空间分布相似度高;聚类分析结果表明,在 78.73% 的相似性水平时,惠州西湖鱼类群落可分为 4 组,但它们之间的差异未达到生态学意义上的差异显著($P>0.05$)。【结论】惠州西湖各站点鱼类群落较为相似,豹纹翼甲鲇和齐氏罗非鱼在各个站点均有出现,入侵较为严重,亟需采取相应的防控措施。

关键词: 外来鱼类; 空间分布; 群落相似性; 豹纹翼甲鲇; 齐氏罗非鱼



开放科学标识码
(OSID 码)

Study on alien fish invasion and fish community status in Huizhou West Lake

YU Fandong^{1,2}, WEI Hui^{1,2}, XU Meng^{1,2}, FANG Miao^{1,2}, SHU Lu^{1,2},
WANG Xuejie^{1,2}, HU Yinchang^{1,2}, GU Dang'en^{1,2*}

¹Pearl River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences/Key Laboratory of Prevention and Control for Aquatic Invasive Alien Species, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangzhou, Guangdong 510380, China;
²Key Laboratory of Alien Species and Ecological Security (CAFS), Chinese Academy of Fisheries Science, Guangzhou, Guangdong 510380, China

Abstract:【Aim】To understand the species composition and alien fish invasion of Huizhou West Lake, a fish resource survey was conducted in February 2023.【Method】The Jaccard similarity index, similarity analysis, and non-metric multidimensional scaling (NMDS) were utilized to analyze the species composition, abundance differences, distribution patterns, community structure, and community similarity of alien fish in Huizhou West Lake.【Result】A total of 21 fish species were captured in this survey. Sixteen native fish species were found, including *Cyprinus carpio*, *Carassius auratus*, and *Hypophthalmichthys harmandi*. Five alien fish species were recorded, namely *Pterygoplichthys pardalis*, *Tilapia zillii*, *Oreochromis niloticus*, *Sarotherodon galilaeus*, and *Labeo rohita*. Alien fish species accounted for 45.36% of the total catch weight and 44.18% of the total catch tail. Additionally, *Pterygoplichthys pardalis* and *Tilapia zillii* were observed in relatively high proportions in terms of weight and quantity among the five alien fish species, suggesting the establishment of a significant population scale. The similarity analysis results showed that the average Jaccard similarity index value of Huizhou West Lake is 0.62, which is the "similarity" level, indicating that the fish communities are relatively similar at various stations. The clustering analysis results showed that at a similarity level of 78.73%, the fish community of Huizhou West Lake can be divided into four groups; however, statistically significant differences did not exist be-

收稿日期(Received): 2023-05-13 接受日期(Accepted): 2023-09-30

基金项目: 国家大宗淡水鱼产业技术体系(CARS-45); 广州市科技计划(202102020817, 202201010257); 广东省现代农业产业共性关键技术研发创新团队建设项目(2023KJ134); 中国水产科学研究院基本科研业务费(2020TD17); 中国水产科学院所级基本科研业务费(2024SJRC11)

作者简介: 余梵冬, 男, 助理研究员。研究方向: 外来鱼类入侵与鱼类生态学。E-mail: yufd666@163.com

* 通信作者(Author for correspondence), 顾党恩, E-mail: gudangen@163.com

tween these four groups ($P>0.05$). 【Conclusion】 Overall, the fish communities at each site of Huizhou West Lake are relatively similar. Huizhou West Lake has been invaded by *Pterygoplichthys pardalis* and *Tilapia zillii*, which appeared at each analyzed site. Therefore, corresponding prevention and control measures are urgently required.

Key words: alien fish; spatial distribution; community similarity; *Pterygoplichthys pardalis*; *Tilapia zillii*

外来物种泛指非土著原产的外域物种,即那些出现在其过去或现在的自然分布范围及扩散潜力以外物种、亚种(万方浩等,2009)。外来物种入侵作为影响生态系统结构和功能的重要因素,被列为全球环境面临的三大问题之一(Gozlan *et al.*, 2008; Rahel & Olden, 2008)。据统计,全球最具威胁的100种外来入侵物种包括25种水生生物,有8种为鱼类,其中6种为淡水鱼类(Lowe *et al.*, 2000; Ottinger *et al.*, 2016)。在过去的半个世纪,由于水产养殖、观赏鱼贸易、增殖放流、休闲渔业、垂钓等方面的需要,越来越多的淡水鱼类被人类有意或无意地引入新的自然水域(Gu *et al.*, 2019; Strayer, 2010)。这些外来鱼类为水产带来新的经济增长点,也给生态系统安全带来了隐患(全国水产技术推广总站和中国水产学会,2020)。

广东省气候温暖湿润,适宜生长的物种相对较多,是我国生物多样性最高的地区之一。相对频繁的进出口贸易和对外交流也使得广东成为我国遭受外来物种入侵最严重的地区之一(Radhakrishnan *et al.*, 2011)。惠州西湖(23°06′24″—23°04′43″N, 114°22′44″—114°24′03″E)位于广东省惠州市中心区,湖泊面积1.48 km²,是典型的城市浅水湖泊(陈光荣等,2008; 苗滕等, 2013)。惠州西湖作为5A级国家风景名胜区,不仅对城市形象、旅游、人文、生态、环保等影响深远,还是多种鸟类和水生生物的理想栖息地。因此,保护惠州西湖生态环境和水生生物多样性有着重要意义。陈光荣等(2008)、高红婷等(2008)对有关惠州西湖浮游动植物、沉水植物等开展了相关的研究;陈炳辉(2012)开展了关于鱼类对生物调控的影响研究,但目前鲜有关于惠州西湖外来鱼类及水生生物保护方面的研究。

在此背景下,本研究于2023年2月对惠州西湖最大湖区——平湖的外来鱼类物种组成、丰度差异、分布格局、群聚结构和群落相似性等进行调查分析,旨在完善惠州西湖鱼类多样性和外来鱼类资源现状资料,为鱼类资源保护、外来鱼类防控和水域生态环境修复提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 采样点设置和采样方法

惠州西湖由平湖、丰湖、南湖、菱湖和鳄湖5个湖区组成,其中平湖位于西湖的中心位置,也是其中最大的湖区。本研究根据实际可操作性,在平湖设置6个采样点,均匀覆盖了平湖各个水域。实地调查时间为2023年2月(珠江流域禁渔期之前)。通过专业渔民采集和自主采集相结合的方式收集鱼类样本。调查期间多种采样技术、工具相结合:手划式小型渔船,户外便携式遥控拉网船(EWITGO, 24 V, 续航3 h),在每个采样点使用2个三层定制刺网(网目:12 cm+5 cm+3 cm;长、宽规格:100 m×2 m)作业12 h,5个地笼(网长规格:15 m)作业12 h;运用手抄网、饵料钩等方式进行补充采样,其中手抄网沿岸作业30 min,垂钓作业30 min。

1.2 物种的鉴定、组成和丰度差异

参照《珠江鱼类志》(郑慈英,1989)、《广东淡水鱼类志》(中国水产科学研究院珠江水产研究所等,1991)、《中国常见外来水生动植物图鉴》(全国水产技术推广总站和中国水产学会,2020)和《中国外来水生动植物》(李家乐等,2007)等专著对采集到的所有鱼类标本当场进行种类鉴定,逐尾测量全长(精确至1 mm)、体长(精确至1 mm)和质量(精确至0.1 g)等生物学指标,对未能当场鉴定种类的鱼类个体,用10%福尔马林溶液保存固定,以便带回实验室进一步鉴定。

将外来鱼类按照目、科、属和种进行统计和归类,分析各采样点外来鱼类种类的组成差异;统计各采样点每种外来鱼类的尾数,分析它们之间的丰度差异。运用Excel 2007软件对数据进行整理与分析,利用SPSS19、Adobe Illustrator CS5软件绘图。

1.3 Jaccard 相似性指数

本研究运用Jaccard相似性指数对西湖各采样点外来鱼类群落进行比较分析,探究外来鱼类群落的相似性,公式如下: $CJ = a/(a+b+c)$ 。其中CJ表示Jaccard相似性指数, a 表示2个采样区域共有的鱼类种数, b 为仅在其中一个采样区域的

鱼类种数, c 为仅在另一个采样区域的鱼类种数(程瑞春等, 2020)。根据 Jaccard 相似性原理, $0 < CJ < 0.25$ 为不相似; $0.25 \leq CJ < 0.50$ 为中等相似; $0.50 \leq CJ < 0.75$ 为相似; $0.75 \leq CJ < 1.00$ 为极相似(戈昕宇等, 2018)。

1.4 鱼类群落聚类 and 分布

本研究运用鱼类丰度数据来分析西湖外来鱼类群聚特征。先运用相似性分析检验不同采样点之间的差异, 再使用相似性百分比分析方法确定造成采样点之间相似性差异的主要物种, 这些物种被认为是样点组的典型物种(Liu *et al.*, 2020)。采用聚类分析(cluster analysis, CA)和非度量多维尺度排序法(nonmetric multidimensional scaling, NMDS)来确定外来鱼类在西湖的空间格局。上述分析操作均在 PRIMER 5 软件包执行。

2 结果与分析

2.1 鱼类物种组成

调查期间共计捕获鱼类 71.93 kg、507 尾、

21 种, 隶属于 4 目 6 科 18 属(表 1)。土著鱼类包括鲤 *Cyprinus carpio* Linnaeus、鲫 *Carassius auratus* Linnaeus、鲢 *Hypophthalmichthys harmandi* Cuvier et Valenciennes、鳊 *Cirrhina molitorella* Cuvier et Valenciennes、黄颡鱼 *Pelteobagrus fulvidraco* Richardson 和七丝鲚 *Coilia grayi* Richardson 等 16 个物种。外来鱼类共 5 种, 其尾数和质量依次分别为: 豹纹翼甲鲇 *Pterygoplichthys pardalis* Castelnau 150 尾、22.77 kg, 齐氏罗非鱼 *Tilapia zillii* Gervais 47 尾、2.01 kg、尼罗罗非鱼 *Oreochromis niloticus* Linnaeus 5 尾、0.59 kg, 伽利略罗非鱼 *Sarotherodon galilaeus* Linnaeus 19 尾、6.05 kg 和露斯塔野鲮 *Labeo rohita* Hamilton 3 尾、1.21 kg, 共计 32.63 kg、224 尾, 外来鱼类质量占总渔获质量的 45.36%, 外来鱼类尾数占总渔获尾数的 44.18%。其中, 豹纹翼甲鲇 22.77 kg、150 尾, 其质量占总鱼获质量的 31.66%, 尾数占总渔获尾数的 29.59%(图 1)。

表 1 惠州西湖鱼类名录
Table 1 List of fish in Huizhou West Lake

目 Order	科 Family	属 Genus	种 Species
鲱形目 Clupeiformes	鲱科 Engraulidae	鲱属 <i>Coilia</i>	七丝鲚 <i>Coilia grayi</i>
鲤形目 Cypriniformes	鲤科 Cyprinidae	棒花鱼属 <i>Abbottina</i>	棒花鱼 <i>Abbottina rivularis</i>
		餐鲮属 <i>Hemiculter</i>	餐 <i>Hemiculter leucisulus</i>
		鲫属 <i>Carassius</i>	鲫 <i>Carassius auratus</i>
		鲤鱼 <i>Cyprinus</i>	鲤 <i>Cyprinus carpio</i>
		鳊属 <i>Aristichthys</i>	鳊 <i>Aristichthys nobilis</i>
		鲢属 <i>Hypophthalmichthys</i>	鲢 <i>Hypophthalmichthys harmandi</i>
		鲂属 <i>Megalobrama</i>	广东鲂 <i>Megalobrama terminalis</i>
		红鲮属 <i>Erythroculter</i>	海南红鲮 <i>Erythroculter recurviceps</i>
		鲮属 <i>Culter</i>	红鳍原鲮 <i>Culter erythropterus</i>
			翘嘴鲮 <i>Culter alburnus</i>
		鲮属 <i>Xenocypris</i>	黄尾鲮 <i>Xenocypris Davidi</i>
		鳊属 <i>Cirrhinus</i>	鳊 <i>Cirrhina molitorella</i>
		野鲮属 <i>Labeo</i>	露斯塔野鲮 <i>Labeo rohita</i>
		麦穗鱼属 <i>Pseudorasbora</i>	麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i>
		泥鳅属 <i>Misgurnus</i>	泥鳅 <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>
鲈形目 Perciformes	丽鱼科 Cichlidae	非鲫属 <i>Tilapia</i>	伽利略罗非鱼 <i>Sarotherodon galilaeus</i>
			尼罗罗非鱼 <i>Oreochromis niloticus</i>
			齐氏罗非鱼 <i>Tilapia zillii</i>
鲇形目 Siluriformes	甲鲇科 Loricariidae	下口鲇属 <i>Hypostomus</i>	豹纹翼甲鲇 <i>Pterygoplichthys pardalis</i>
	鲿科 Bagridae	黄颡鱼属 <i>Pelteobagrus</i>	黄颡鱼 <i>Pelteobagrus fulvidraco</i>

2.2 外来鱼类资源量差异分析

由图 2 可知, 惠州西湖 6 个采样点 S1~S6 的 5 种外来鱼类生物量差异较为明显: 豹纹翼甲鲇生物量在 S5 出现最高值, 为 5.79 kg, 最低值出现在 S4,

为 1.06 kg; 齐氏罗非鱼生物量在 S2 出现最高值, 为 0.74 kg, 最低值出现在 S3, 为 0.13 kg; 尼罗罗非鱼生物量在 S3 出现最高值, 为 0.29 kg, 而 S6 尚未调查到尼罗罗非鱼; 伽利略罗非鱼生物量在 S1 出现

最高值,为 1.87 kg,最低值出现在 S6,为 0.60 kg;露斯塔野鲮生物量在 S6 出现最高值,为 0.90 kg,而 S1、S2、S3 和 S5 均未调查到露斯塔野鲮。

由图 3 可知,豹纹翼甲鲃丰度在 S2 出现最高值,为 36 尾,最低值出现在 S4,为 9 尾;齐氏罗非鱼丰度在 S2 出现最高值,为 19 尾,最低值出现在 S3,为 3 尾;尼罗罗非鱼丰度在 S1-S5 相同,为 1 尾,而 S6 尚未调查到尼罗罗非鱼;伽利略罗非鱼丰度在 S1 出现最高值,为 6 尾,在 S3、S5 和 S6 均为 2 尾;露斯塔野鲮丰度在 S4 出现最高值,为 2 尾,而 S1、S2、S3 和 S5 均未调查到露斯塔野鲮。

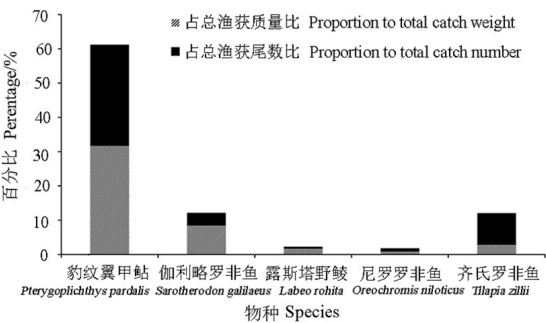


图 1 惠州西湖外来鱼类质量、尾数占比
Fig.1 Weight and tail number of alien fish in Huizhou West Lake

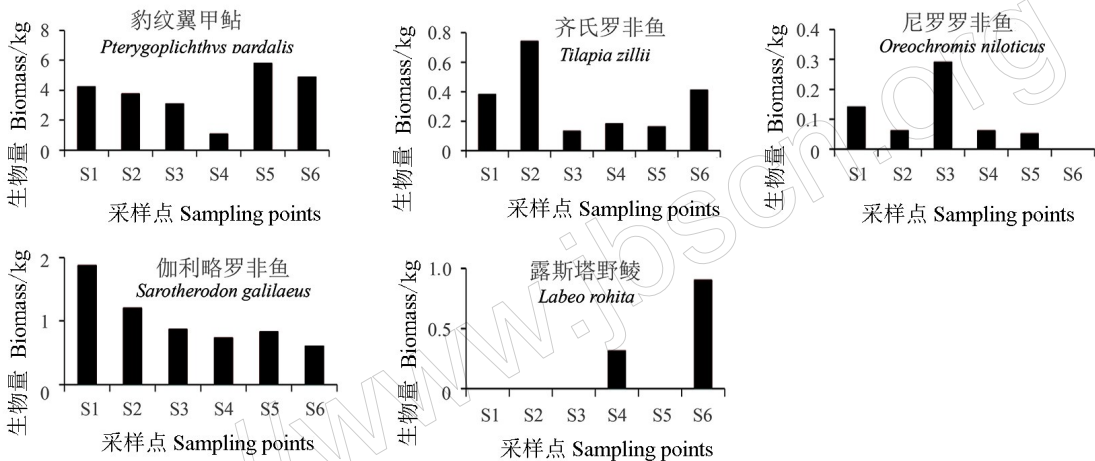


图 2 惠州西湖外来鱼类生物量差异
Fig.2 Differences in biomass of alien fish in Huizhou West Lake

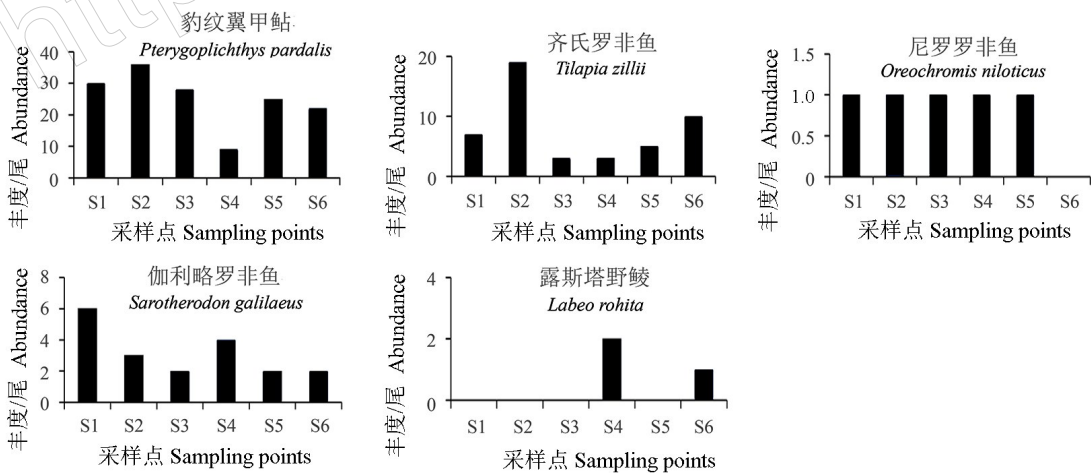


图 3 惠州西湖外来鱼类丰度差异
Fig.3 Differences in the abundance of exotic fish in Huizhou West Lake

2.3 鱼类群落相似性

由表 2 可知,西湖 6 个采样点的 Jaccard 相似性指数介于 0.37~0.77,包含了中等相似、相似和极为相似 3 个等级。其中平均 Jaccard 相似性指数值

为 0.62,为相似等级,这表明西湖水体鱼类群落较为相似。S1 和 S3 的 Jaccard 相似性指数最高 (0.77),这表明它们之间鱼类群落最为相似。S6 和其他采样点的 Jaccard 相似性指数值较低,平均值

0.53, 低于总体平均水平, 但仍保持在相似等级。值 S2 和 S6 之间, 为中等相似等级。得一提的是, 最低的 Jaccard 相似性指数值出现在

表 2 各样点组鱼类群落相似性
Table 2 Similarities of fish communities in various point groups

样点组 Sample point group	样点组前者特有物种数 The only number of species in the former	样点组后者特有物种数 The only number of species in the latter	两者共有物种数 Number of shared species	Jaccard 相似性指数 Jaccard similarity index
S1 & S2	2	3	10	0.67
S1 & S3	1	2	10	0.77
S1 & S4	3	6	9	0.50
S1 & S5	2	4	10	0.63
S1 & S6	3	4	9	0.56
S2 & S3	3	2	10	0.67
S2 & S4	3	5	10	0.56
S2 & S5	2	3	11	0.69
S2 & S6	6	6	7	0.37
S3 & S4	1	4	11	0.69
S3 & S5	1	3	11	0.73
S3 & S6	3	4	9	0.56
S4 & S5	3	2	12	0.71
S4 & S6	4	2	11	0.65
S5 & S6	5	4	9	0.50

2.4 鱼类群聚结构

根据等级聚类分析可知, 在 78.73% 的相似性水平上, 西湖鱼类群落可分为 4 组: 组 1 (S1 和 S2), 组 2 (S3), 组 3 (S6), 组 4 (S4 和 S5)。非度量多维尺度排序的胁迫系数 (stress) 小于 0.1, 说明吻合较好, 结果较为可信。应用相似性分析进行显著性检验, 结果为 $R=1, P>0.05$, 表明 4 个组之间鱼类群落的差异并未达到生态学意义上的差异显著 (图 4)。

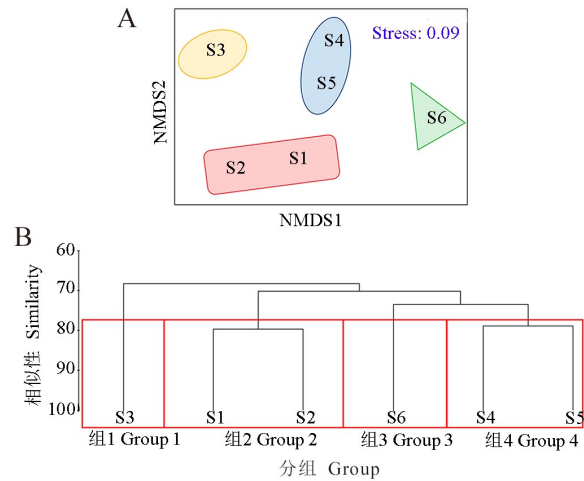


图 4 惠州西湖鱼类群聚的聚类图 (A) 和排序图 (B)

Fig.4 Cluster plot (A) and ranking plot (B) of fish community in Huizhou West Lake

3 讨论

3.1 鱼类群落组成及其群聚结构

调查表明, 西湖鱼类资源丰富, 共分布有鱼类 21 种, 隶属于 4 目 6 科 18 属, 鱼类组成表现出以鲤形目的鲤科占明显优势 (占总种类的 61.91%)、随后依次为鲇形目和鲈形目鱼类, 这与华南地区湖泊乃至整个珠江流域水系的鱼类区系组成相似 (郑慈英, 1989; 中国水产科学研究院珠江水产研究所等, 1991)。西湖鱼类生物量较高的鱼类依次有: 豹纹翼甲鲇、鲫、鲢、伽利略罗非鱼和鲤、鲮、翘嘴鲇 *Culter alburnus* Basilewsky、齐氏罗非鱼和七丝鲚等; 而丰度排名靠前的鱼类依次有: 豹纹翼甲鲇、七丝鲚、齐氏罗非鱼、鲫、鲤、鲢、伽利略罗非鱼、麦穗鱼 *Pseudorasbora parva* Temminck & Schlegel 和翘嘴鲇等。由此可见, 惠州西湖以典型的喜缓流或静水鱼类为主, 如翘嘴鲇、鲤、鲫、鲢等, 也有典型江湖洄游鱼类七丝鲚, 同时这也遵循南方湖泊鱼类组成的一般规律 (陈炳辉, 2012; 王震, 2018)。

从空间分布来看, 惠州西湖各采样点鱼类群落较为相似, 总体为相似等级, 尚未发现鱼类群落为不相似等级的采样点, 这可能与鱼类群落在湖泊的连通性和流动性有关。虽然各采样点鱼类群落较为相似, 但在 78.73% 的聚类相似性水平上, 西湖鱼类群落可分为 4 组, 各组间存在着一定的差别: 组 1

的优势鱼类为豹纹翼甲鲇、鲫、鲤;组 2 的优势鱼类为豹纹翼甲鲇、伽利略罗非鱼、鲫和翘嘴鲇;组 3 的优势鱼类为豹纹翼甲鲇、鲫、鲢;组 4 的优势鱼类为豹纹翼甲鲇、鲢、鲫、鲤。由此可以发现,各采样点均以个别外来鱼类和喜缓流鱼类为主,各组间仅个别优势鱼类不同以及丰度不同。今后应对惠州西湖鱼类群落组成季节性变化、及其与环境因子相互间关系等开展进一步的研究。

3.2 惠州西湖外来鱼类入侵现状

调查发现,西湖外来鱼类共计 5 种:包括豹纹翼甲鲇、齐氏罗非鱼、尼罗罗非鱼、伽利略罗非鱼和露斯塔野鲮;所有外来鱼类的生物量和丰度均约占总渔获物的 50%,它们的种群数量不容小觑。其中,豹纹翼甲鲇的生物量和丰度都位居所有物种的首位,约占 30%,是西湖外来物种中风险最高的物种。此外,伽利略罗非鱼和齐氏罗非鱼的种群数量也不在少数。同时,最近农业农村部、自然资源部、生态环境部等 6 部门联合组织制定的《重点管理外来入侵物种名录》就包含了豹纹翼甲鲇和齐氏罗非鱼(顾党恩等,2023),它们既对粮食安全造成影响,也危及了生态安全,属于首要关注的高风险外来鱼类。

豹纹翼甲鲇俗称清道夫,又称垃圾鱼,隶属于鲇形目、甲鲇科、下口鲇属。原产于南美亚马孙河流域,作为观赏鱼类引进(李家乐等,2007)。目前豹纹翼甲鲇在广东多地已建立自然种群并形成入侵,成体的豹纹翼甲鲇不止啃食青苔等藻类,还会以其他鱼类的鱼卵为食,一天可以吃掉数千粒鱼卵,甚至吞食鱼苗,对其他鱼类种群造成巨大冲击,危害较大。此外,豹纹翼甲鲇的环境适应能力强,可以在水质较差的水体生存和繁殖(全国水产技术推广总站和中国水产学会,2020;韦慧等,2022)。此外,豹纹翼甲鲇经济价值低,体被盔甲,长相丑陋,是华南地区渔民厌恶的“魔鬼鱼”。

齐氏罗非鱼又称红腹罗非鱼,原产于非洲,最初作为养殖鱼类引进我国。齐氏罗非鱼已在长江以南地区形成入侵,是目前扩散速度最快、危害最大的罗非鱼种类。高红婷等(2008)研究表明,罗非鱼加快了水体的富营养化进程,罗非鱼的存在影响悬浮物的沉降。Gu et al.(2019)研究表明,齐氏罗非鱼大量取食水草,对水生植物和水生生态系统造成了致命威胁,导致了部分水草型湖泊

生态系统的崩溃和水质的下降。同时,齐氏罗非鱼因体型上限较小,经济价值较低,并非理想的养殖对象,其自然种群越来越庞大。

西湖遭受豹纹翼甲鲇和齐氏罗非鱼的入侵严重,一方面,惠州西湖与东江有直接相通的水体交换区域,容易引起湖泊和河流外来鱼类的相互交换,使其栖息地多样化并适应更多的水域环境,不利于外来鱼类的后续治理;另一方面,虽然本次调查到的外来鱼类种类数不多,但这并不代表西湖里不存在其他外来鱼类。已有研究表明,广东地区遭受多种外来鱼类的入侵,如:尼罗罗非鱼、齐氏罗非鱼、伽利略罗非鱼、豹纹翼甲鲇、麦瑞加拉鲮 *Cirrhinus mrigala* Hamilton、革胡子鲇 *Clarias lazera* Linnaeus、条纹鲮脂鲤 *Prochilodus scrofa* Steindachner 等(顾党恩等,2012;朱赟杰等,2016;Gu et al., 2018;Yu et al., 2019)。针对惠州西湖外来鱼类入侵现状,应及时开发针对豹纹翼甲鲇和齐氏罗非鱼的有效防控技术,定期捕捞清除,抑制其种群进一步扩大;进一步加强对惠州西湖的全面监测调查。

参考文献

陈炳辉, 2012. 南方浅水湖泊浮游动物结构: 鱼类和生物调控的影响. 硕士学位论文. 广州: 暨南大学.

陈光荣, 钟萍, 张修峰, 谢贻发, 李传红, 2008. 惠州西湖浮游动物及其与水质的关系. 湖泊科学, 20(3): 351-356.

程瑞春, 张占海, 惠建平, 赵明月, 宋显宇, 2020. 内蒙古蝶类物种多样性分析. 安徽农学通报, 26(5): 32-40.

高红婷, 柴夏, 刘从玉, 2008. 罗非鱼对浅水型湖泊生态系统营养水平的影响. 江苏环境科技, 21(S1): 29-31.

戈昕宇, 洪雪萌, 马方舟, 刘波, 李俊兰, 2018. 内蒙古赛罕乌拉自然保护区蝶类群落多样性. 生态学杂志, 37(8): 2376-2383.

顾党恩, 罗刚, 黄宏坤, 贾涛, 张弛, 沈禹羲, 陈熹贤, 徐猛, 韦慧, 房苗, 余梵冬, 舒璐, 汪学杰, 胡隐昌, 2023. 农业农村部等六部门发布《重点管理外来入侵物种名录》. 中国水产(1): 8-11.

顾党恩, 牟希东, 罗渡, 李莹莹, 汪学杰, 宋红梅, 罗建仁, 胡隐昌, 2012. 广东省主要水系外来水生动物初步调查. 生物安全学报, 21(4): 272-276.

李家乐, 董志国, 李应森, 王成辉, 2007. 中国外来水生动物. 上海: 上海科学技术出版社.

- 苗滕, 高健, 陈炳辉, 刘正文, 2013. 惠州西湖生态修复对浮游甲壳动物群落结构的影响. *生态科学*, 32(3): 324-330.
- 全国水产技术推广总站, 中国水产学会, 2020. 中国常见外来水生动植物图鉴. 北京: 中国农业出版社.
- 万方浩, 郭建英, 张峰, 2009. 中国生物入侵研究. 北京: 科学出版社.
- 王震, 2018. 长江上游干流鱼类早期资源多样性和时空格局. 硕士学位论文. 武汉: 中国科学院大学.
- 韦慧, 刘超, 胡隐昌, 汪学杰, 牟希东, 顾党恩, 徐猛, 房苗, 2022. 基于外来水生生物风险筛选工具评估外来观赏鱼在中国的入侵风险: 以甲鲶科鱼类为例. *生态与农村环境学报*, 38(4): 494-503.
- 郑慈英, 1989. 珠江鱼类志. 北京: 科技出版社.
- 中国水产科学研究院珠江水产研究所, 华南师范大学, 暨南大学, 湛江水产学院, 上海水产大学, 1991. 广东淡水鱼类志. 广州: 广东科技出版社.
- 朱赞杰, 顾党恩, 韦慧, 牟希东, 罗建仁, 胡隐昌, 2016. 华南地区外来鱼类革胡子鲶的建群状况. *淡水渔业*, 46(1): 109-112.
- GOZLAN R E, NEWTON A C, HULME P E, 2008. Biological invasions: benefits versus risks. *Science*, 324: 1015-1016.
- GU D E, YU F D, YANG Y X, XU M, WEI H, LUO D, MU X D, HU Y C, 2019. *Tilapia* fisheries in Guangdong Province, China: socio-economic benefits, and threats on native ecosystems and economics. *Fisheries Management and Ecology*, 26(2): 97-107.
- GU D E, HU Y C, XU M, WEI H, LUO D, YANG Y X, YU F D, MU X D, 2018. Fish invasion in the river systems of Guangdong Province, South China: several possible indicators of their success. *Fisheries Management and Ecology*, 25(1): 44-53.
- LIU F, WANG J W, ZHANG F B, LIU H Z, 2020. Spatial organization of fish assemblages in the Chishui River, the last free-flowing tributary of the upper Yangtze River, China. *Ecology of Freshwater Fish*, 30(1): 1-13.
- LOWE S, BROWNE M, BOUDJELAS S, 2000. 100 of the world's worst invasive alien species. *Aliens*, 12: 1-12.
- OTTINGER M, CLAUS K, KUENZER C, 2016. Aquaculture: relevance, distribution, impacts and spatial assessments—A review. *Ocean and Coastal Management*, 119(6): 244-266.
- RADHAKRISHNAN K V, LAN Z J, ZHAO J, QING N, HUANG X L, 2011. Invasion of the African sharp-tooth catfish *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) in South China. *Biological Invasions*, 13(8): 1723-1727.
- RAHEL F J, OLDEN J D, 2008. Assessing the effects of climate change on aquatic invasive species. *Conservation Biology*, 22(3): 521-533.
- STRAYER D L, 2010. Alien species in fresh waters: ecological effects, interactions with other stressors, and prospects for the future. *Freshwater Biology*, 55(S1): 152-174.
- YU F D, GU D E, TONG Y N, LI G J, WEI H, MU X D, XU M, YANG Y X, LUO D, LI F Y, HU Y C, 2019. The current distribution of invasive mrigal carp (*Cirrhinus mrigala*) in Southern China, and its potential impacts on native mud carp (*Cirrhinus molitorella*) populations. *Journal of Freshwater Ecology*, 34(1): 603-616.

(责任编辑: 郑珊珊)