



•生物编目•

南岭地区鱼类多样性及其地理分布

许佳¹, 崔小娟¹, 张翼飞¹, 吴昌², 孙远东^{1*}

1. 湖南科技大学生命科学与健康学院, 湖南湘潭 411201; 2. 湖南师范大学省部共建淡水鱼类发育生物学国家重点实验室, 长沙 410081

摘要: 鱼类是河流生态系统的重要组成部分, 对维系河流生态系统稳定性发挥关键作用。鱼类多样性作为评价河流环境变化的重要指标, 可以直接反映该地区河流生态系统的健康状况。南岭地区河流众多, 淡水鱼类多样性十分丰富, 但目前尚缺乏对此地区鱼类物种多样性及其地理分布的系统研究。本文基于历史文献资料和相关书籍(截至2024年1月10日), 系统整理了南岭地区鱼类物种组成信息。结果表明, 南岭地区共有淡水鱼类261种, 隶属11目29科121属。其中, 土著鱼类248种, 外来鱼类13种。南岭地区鱼类以鲤形目鲤科和爬鳅科鱼类为主, 分别占南岭地区鱼类总物种数的56.7%和7.3%; 受威胁鱼类共19种, 占南岭地区鱼类总物种数的7.3%, 有11种列入《国家重点保护野生动物名录》(2021), 有28种属于“国家重点保护经济水生动植物”。南岭地区鱼类多样性正面临严峻挑战, 主要由于河流污染、水利设施开发和过度捕捞等人类活动的影响, 导致该地区受威胁物种和入侵物种比例上升。建议今后加强治理河流污染、保护鱼类栖息地、科学开展增殖放流等。本文整理所得的南岭地区鱼类物种名录可作为今后南岭地区鱼类生物多样性保护的参考依据。

关键词: 淡水鱼类; 物种多样性; 地理分布; 受威胁物种; 南岭地区

许佳, 崔小娟, 张翼飞, 吴昌, 孙远东 (2024) 南岭地区鱼类多样性及其地理分布. 生物多样性, 32, 23482. doi: 10.17520/biods.2023482.

Xu J, Cui XJ, Zhang YF, Wu C, Sun YD (2024) Fish diversity and distribution in the Nanling Region. Biodiversity Science, 32, 23482. doi: 10.17520/biods.2023482.

Fish diversity and distribution in the Nanling region

Jia Xu¹, Xiaojuan Cui¹, Yifei Zhang¹, Chang Wu², Yuandong Sun^{1*}

1 School of Life and Health Sciences, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan, Hunan 411201, China

2 State Key Laboratory of Developmental Biology of Freshwater Fish, Hunan Normal University, Changsha 410081, China

ABSTRACT

Aims: Fish are an important component of river ecosystems, playing a significant role in maintaining their stability and functioning. Assessing fish biodiversity is important for understanding environmental changes and evaluating the overall health of river ecosystems. Despite the rich river network and diverse freshwater fish population in the Nanling region, comprehensive studies on fish diversity and distribution are still lacking.

Methods: This study systematically compiles and analyzes data on fish species in the Nanling region from historical literature and relevant sources up to January 10, 2024.

Results: The updated checklist identified 261 freshwater fish species, classified into 11 orders, 29 families, and 121 genera. Among these, 248 species were indigenous and 13 were aliens. The region's fish fauna was dominated by Cyprinidae and Balitoridae, which accounted for 56.7% and 7.3% of the total species, respectively. Notably, 19 threatened species (7.3% of the total) were documented, with 11 of them listed in the List of State Key Protected Wild Animals (2021). Additionally, 28 species were classified as National Key Protected Economic Aquatic Animals.

Conclusion: Fish diversity in the Nanling region faces significant challenges primarily due to human activities such as river pollution, hydraulic infrastructure development, and overfishing. These factors have escalated the prevalence of threatened and invasive species in the area. To mitigate these challenges, it is imperative to enhance river pollution control, safeguard fish habitats, and implement scientifically based stock enhancement programs in the future. This

收稿日期 Received: 2023-12-22; 接受日期 Accepted: 2024-06-17

基金项目: 农业生物育种重大专项(2023ZD04054)和省部共建淡水鱼类发育生物国家重点实验室开放课题基金(2021KF001) Supported by the Biological Breeding-Major Projects (2023ZD04054) and State Key Laboratory of Developmental Biology of Freshwater Fish (2021KF001)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: syd@hnust.edu.cn

comprehensive inventory of fish species in the Nanling region provides a reference for future conservation efforts aimed at preserving fish biodiversity in this area.

Key words: freshwater fish; species diversity; geographical distribution; threatened species; Nanling region

生物多样性是生物与环境形成的生态复合体以及与此相关的各种生态过程的总和,是人类赖以生存和发展的基础。目前生物多样性在全球范围内的持续下降已经成为人类在21世纪面临的最严峻的挑战之一(袁智勇等, 2022)。我国是生物多样性最丰富和生物多样性受威胁情况最严重的国家之一(王伟和李俊生, 2021), 因此对生物多样性的研究不仅有助于人们能够更加深入地了解物种的资源和分布, 也有助于人们在濒危物种保护和保护区管理等问题上做出合理科学的决策(张健, 2017)。

鱼类是河流生态系统的重要组成部分, 对维系河流生态系统稳定性起到了十分关键的作用(丁森等, 2012), 是河流环境变化和河流生态系统健康评价的重要指示生物(Karr, 1981)。鱼类多样性及其分布受到河流水质、栖息地可用性和栖息地营养供应等多种因素的影响(Shetty et al, 2015)。近年来, 由于过度捕捞、水质污染、航运繁忙等人类活动的干扰, 河流生态系统遭受了严重破坏, 导致鱼类多样性显著下降(胡敏琦等, 2021)。鱼类生物多样性和生态系统的稳态与人类的生存发展存在紧密联系, 越来越多的学者开始关注鱼类群落和鱼类多样性的研究(郭伟等, 2023)。

南岭位于华南区块中部, 地理上由梧州-四汇断层、查陵-广昌断层、安化-罗城断裂和河源断裂构成其自然边界。从新元古代到早白垩世, 南岭地区经历了强烈的火成岩活动, 随后在早-中侏罗世, 古太平洋板块向欧亚板块俯冲, 加剧了南岭地区的火成岩活动, 这些地质事件共同塑造了南岭地区的地质构造和地貌特征(Ding et al, 2024)。南岭位于23°37'–27°14' N和109°43'–116°41' E之间, 地处广东、广西、湖南、江西和福建五省的交界处, 东西向宽约700 km, 南北向绵延约400 km (周平, 2017), 是中国南方最大的东西向构造带山脉和重要的自然地理界线(蒋丽敏等, 2021), 主要山脉包括五岭(越城岭、都庞岭、萌渚岭、骑田岭和大庾岭)以及其他山脉如海洋山、九嶷山和大瑶山等。南岭是长江水系(He et al, 2013)和珠江水系(Cao et al, 2018)

的分水岭, 水资源十分丰富, 河流众多。发源于南岭北麓的河流主要属于长江流域中洞庭湖水系和鄱阳湖水系的一部分, 如洞庭湖水系中的湘江、资江和鄱阳湖水系中的赣江等, 这些河流大多源于南岭山地, 水流方向自南向北, 最后汇入长江。发源于南岭南麓的河流属于珠江流域, 主要包括东江、西江和北江三大水系。西江的主要支流有漓江、贺江等, 北江的主要支流有连江、南水、武江、浈江等, 东江的主要支流有寻乌水、贝岭水等(图1)。珠江流域中的北江水系以及西江的支流贺江、漓江等河流都发源于南岭山地, 水流方向总体为自西北向东南, 最终汇入珠江。南岭地区的降水量十分充沛, 年降水量约1,500–2,000 mm, 属于典型的亚热带季风气候并兼具山地气候特色(宗天韵等, 2019)。但目前尚缺乏对南岭地区鱼类物种多样性及其地理分布的系统研究, 也缺乏更新的南岭地区鱼类物种名录, 一定程度上制约了南岭地区鱼类多样性保护的进程。

本文基于对历史研究资料的整理, 并结合国内外有关南岭地区主要河流鱼类分类学研究的文献报道, 对南岭地区鱼类进行汇总统计和名录更新, 以期为今后南岭地区鱼类多样性保护和生态环境治理提供科学依据。

1 研究方法

1.1 数据收集

收集截至2024年1月10日发表的有关南岭地区鱼类分类学研究的文献, 重点关注记录新物种的文献(贺顺连等, 2000; 朱定贵等, 2011; 杨春英等, 2012; Huang et al, 2007, 2014; Li et al, 2014; 吴倩倩等, 2015; Huang et al, 2019; Sun et al, 2022)。主要以《湖南鱼类志》(伍远安等, 2021)、《珠江流域广西主要江河鱼类资源调查与研究》(李桂峰等, 2020)、《广东淡水鱼类资源调查与研究》(李桂峰等, 2013)为基础, 综合参考《广西淡水鱼类志(第二版)》(广西壮族自治区水产研究所和中国科学院动物研究所, 2006)、《岭南珍稀动物》(张玉霞, 2003)、《中

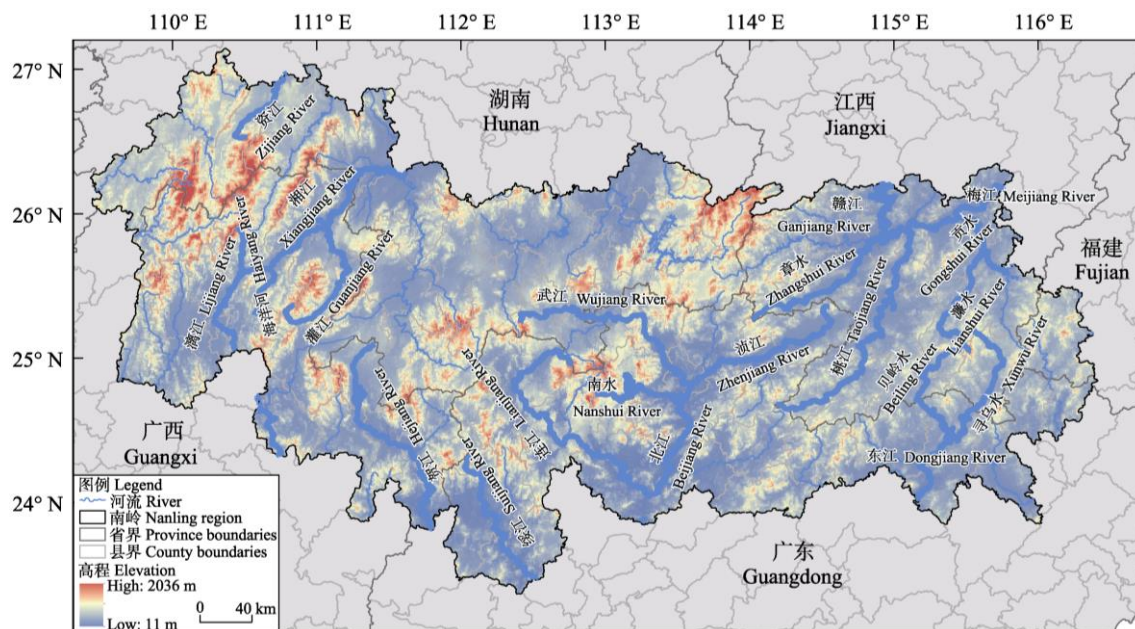


图1 南岭地区河流分布图

Fig. 1 Distribution of rivers in the Nanling region

国动物志 硬骨鱼纲 鲤形目》(中卷)(陈宜瑜, 1998)和《中国动物志 硬骨鱼纲 鲤形目》(下卷)(乐佩琦, 2000)等著作, 并且通过南岭地区地图(图1)以及经纬度确定河流流域范围, 对该流域范围内的鱼类进行统计, 汇总得到南岭地区鱼类名录。名录中物种的分类系统参考*Fishes of the World* (Nelson et al, 2016), 鱼类拉丁名主要参考 CAS-Eschmeyer's Catalog of Fishes (<https://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>) 和 FishBase (www.fishbase.se), 中文名主要参考《拉汉世界鱼类系统名典》(伍汉霖等, 2012)、《中国内陆鱼类物种与分布》(张春光和赵亚辉, 2016)以及相关的最新分类学研究文献。利用Notepad根据The Fish Tree of Life (<https://fishtreeoflife.org/taxonomy/>)系统发育关系编辑进化树生成.tre文件格式, 将.tre文件在IQtree中进行美化, 制作南岭地区鱼类系统发育进化树。

南岭地区鱼类物种的濒危等级依据《中国生物多样性红色名录: 脊椎动物卷(2020)》(<https://www.mee.gov.cn/xxgk/2018/xxgk/xxgk01/202305/W020230522536559098623.pdf>), 其中被评为易危(VU)、濒危(EN)和极危(CR)的物种均被视为“受威胁”物种, 在2023年后发现的新物种或未列入红色名录的物种的濒危等级暂定为“未评估”(NE)。南岭地区鱼类物

种的保护等级依据2021年2月国家林业和草原局、农业农村部发布的《国家重点保护野生动物名录》。依据中华人民共和国农业部2007年12月发布的《国家重点保护经济水生动植物资源名录(第一批)》, 整理出其中所列的南岭地区鱼类物种。

1.2 南岭地区鱼类地理区系划分

鱼类地理区系划分主要参考《中国淡水鱼类的分布区划》(李思忠, 1981), 我国鱼类区系主要可划分为: 北方区、华西区、宁蒙区、华东区和华南区, 分布于南岭地区的鱼类主要属于华东区和华南区。我国鱼类区系复合体主要划分为: 中国平原区系复合体、北方平原区系复合体、晚第三纪早期区系复合体、南方平原区系复合体、海水区系复合体; 南岭地区鱼类主要属于: 中国平原区系复合体, 如草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)、马口鱼(*Opsariichthys bidens*)、鲮(*Hemiculter leucisculus*)、贝氏鲮(*H. bleekeri*)、团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)、翘嘴鲌(*Culter alburnus*)等; 晚第三纪早期区系复合体, 如鲤(*Cyprinus carpio*)、鲫(*Carassius auratus*)、泥鳅(*Misgurnus anguillicaudatus*)、大鳞副泥鳅(*Paramisgurnus dabryanus*)等; 南方平原区系复合体, 如黄鳝(*Monopterus albus*)、黄颡鱼(*Tachysurus sinensis*)、子陵吻虾虎鱼(*Rhinogobius giurinus*)等(史为良, 1985)。

1.3 南岭地区鱼类食性划分

鱼类食性划分主要参考《湖南鱼类志》(伍远安等, 2021)、《珠江流域广西主要江河鱼类资源调查与研究》(李桂峰等, 2020)、《广东淡水鱼类资源调查与研究》(李桂峰等, 2013), 将研究区域内鱼类的营养结构分为肉食性、植食性和杂食性。

1.4 鱼类多样性统计方法

采用Jaccard相似性系数分析群落物种组成的相似性^①。计算公式为: $q = c/(a + b - c)$, 式中 a 为A群落的物种总数, b 为B群落的物种总数, c 为群落A和B之间共有的物种总数。当 q 值在0–0.25之间时, 两群落极不相似; 在0.25–0.5之间时为中等不相似; 在0.5–0.75之间时为中等相似; 在0.75–1.0之间时为极相似。在计算鱼类相似性系数时, 以土著鱼类为基础, 外来物种不计入内。

2 结果

2.1 南岭地区鱼类物种组成

通过收集并汇总相关书籍、历史文献、数据库资料发现, 截至2024年1月南岭地区主要水域共记录有鱼类11目29科121属261种, 占全国淡水鱼类物种总数的28.7% (附录1)。其中, 土著鱼类有248种, 外来鱼类有13种。从目的组成来看, 鲤形目的物种数最多, 共193种, 分属6科91属, 占南岭地区鱼类总物种数的73.9%; 鲇形目排第二, 共27种, 分属8科11属, 占总物种数的10.3%; 鲈形目排第三, 共12种, 分属3科4属, 占总物种数的4.6%; 虾虎鱼目排第四, 共11种, 分属2科4属, 占总物种数的4.2%; 其余7目各有1–6种, 共18种。从科的组成来看, 鲤科的物种数最多, 共148种, 占南岭地区鱼类总物种数的56.7%; 爬鳅科排第二, 共19种, 占总物种数的7.3%; 沙鳅科排第三, 共15种, 占总物种数的5.7%; 鲢科排第四, 共14种, 占总物种数的5.4%; 其余25科的鱼类物种数均不超过10种(图2)。从属的组成来看, 物种数排在前7位的属依次是拟鲢属(*Tachysurus*; 12种, 占南岭地区鱼类总物种数的4.6%)、小鰾属(*Microphysogobio*; 8种, 3.1%)、鰾属(*Acheilognathus*; 7种, 2.7%)、薄鳅属(*Leptobotia*; 7种, 2.7%)、白甲鱼属(*Onychostoma*; 7种, 2.7%)、鳊

属(*Siniperca*; 7种, 2.7%)、光唇鱼属(*Acrossocheilus*; 7种, 2.7%); 其余114属的物种数各有1–6种。

2.2 鱼类生态习性

通过对南岭地区鱼类食性的统计, 共有150种鱼类为杂食性, 占南岭地区鱼类总物种数的57.5%; 80种鱼类为肉食性, 占30.6%; 31种鱼类为植食性, 占11.9%。该地区主要河流的鱼类食性均呈现为杂食性为主, 肉食性次之, 植食性最少的显著特征(图3)。

2.3 南岭地区主要河流鱼类群落的相似性

南岭地区主要河流之间的相似性系数见图4, 东江和北江的鱼类相似性系数最高, 为0.62, 湘江和资江、西江和北江的鱼类相似性系数分别为0.60和0.59, 在0.5–0.75之间, 为中等相似; 其余南岭地区主要河流之间的相似性系数均在0.25–0.5, 为中等不相似。

2.4 濒危等级和保护等级

在261种鱼类中, 有6种被评为极危(CR), 5种被评为濒危(EN), 8种被评为易危(VU), 受威胁的鱼类共19种, 占南岭地区鱼类总物种数的7.3%, 占全国受威胁内陆鱼类物种数的7.5%。另外, 有16种被评为近危(NT), 占南岭地区鱼类总物种数的6.1%; 116种被评为无危(LC), 占总物种数的44.4%; 53种为数据缺乏(DD), 占总物种数的20.3%; 57种未评估(NE)。

参考《国家重点保护野生动物名录》(2021), 南岭地区有11种鱼类被列为国家二级重点保护野生动物(表1)。依据《国家重点保护经济水生动物资源名录(第一批)》, 南岭地区有28种鱼类属于“国家重点保护经济水生动物”。

2.5 物种区系分析及其地理分布

基于鱼类物种组成和其分布数据的聚类分析, 位于南岭地区的长江流域和珠江流域的鱼类组成在科级和属级相似性较高, 这两个流域均包含鲢亚科、鲃亚科、鲴亚科和鳊亚科等东亚江河平原鱼类, 还具有众多适宜生活在山区溪流的鱼类, 如野鲮亚科、爬鳅科和鮡科等鱼类。但是长江流域和珠江流域的鱼类组成在种级存在一定的差异, 由于南岭山脉阻挡了来自北方的冷空气, 使得珠江流域的气候较为温暖, 冬季温度较高, 发源于南岭南麓的珠江流域鱼类组成偏向热带和亚热带物种, 如分布有喜暖的唐鱼(*Tanichthys albonubes*)、卷口鱼(*Ptychidio*

① 章建业 (2021) 天柱山植被及种子植物多样性调查研究. 硕士学位论文, 安徽师范大学, 芜湖。

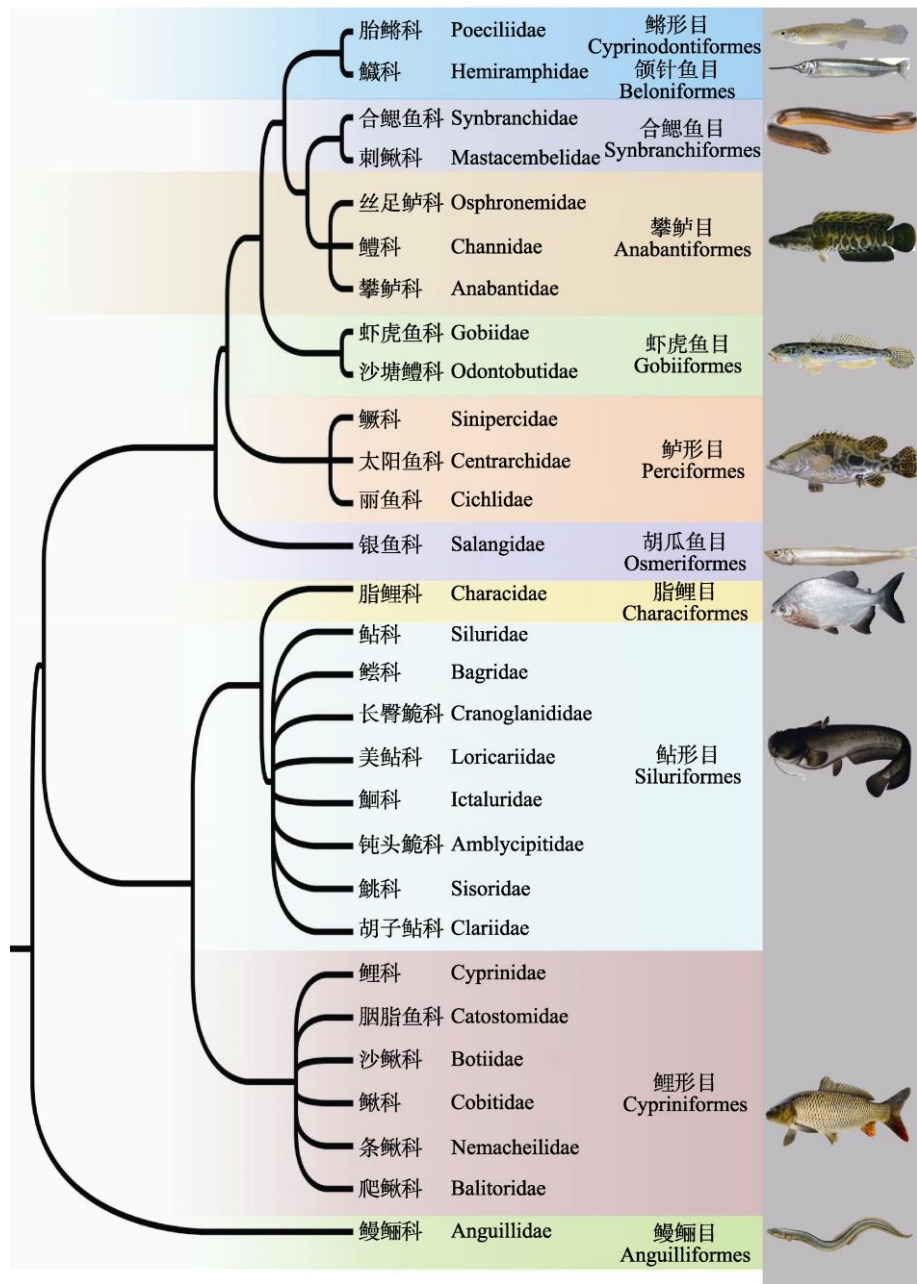


图2 南岭地区鱼类系统发育关系。每一个分支代表一科，每种颜色代表一目。
Fig. 2 The phylogeny of fish in the Nanling region. Each branch represents a family, and each color represents an order.

jordani)等鱼类, 展现出亚热带河流区系的分布特点; 发源于南岭北麓的长江流域鱼类组成偏向温水性鱼类, 如分布有长身鳊(*Siniperca roulei*)、薄颌光唇鱼(*Acrossocheilus kreyenbergii*)、达氏红鳍鲌(*Chanodichthys dabryi*)等温水性鱼类。珠江流域的外来鱼类物种数比长江流域多, 珠江流域具有丁鲷(*Tinca tinca*)、短盖巨脂鲤(*Piaractus brachypomus*)、蓝鳃太阳鱼(*Lepomis macrochirus*)等13种外来鱼类,

长江流域仅存在露斯塔野鲮(*Labeo rohita*)、尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)、食蚊鱼(*Gambusia affinis*)等4种外来鱼类。此外, 山脉的阻隔影响了鱼类的遗传交流, 在一定程度上导致了珠江流域与长江流域鱼类多样性的差异, 如萨氏华黝鱼(*Sineleotris saccharae*)、长臀鲃(*Cranoglanis boudierius*)、圆体爬岩鳅(*Beaufortia cyclica*)等鱼类只在珠江流域分布, 而似鲃(*Pseudobrama simoni*)、棘

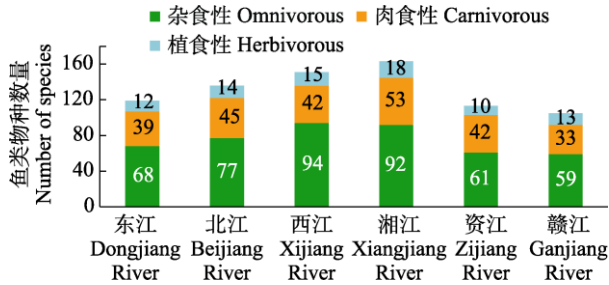


图3 南岭地区主要河流鱼类按食性划分的生态习性
Fig. 3 Ecological habits of fish in major rivers in the Nanling region by food preference

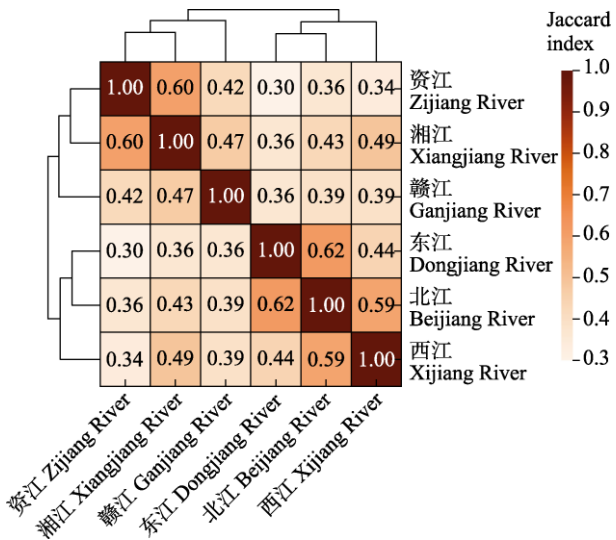


图4 南岭地区主要河流鱼类的Jaccard相似性系数与聚类分析
Fig. 4 The Jaccard index and clustering analysis of major rivers in Nanling region

表1 列入《国家重点保护野生动物名录》(2021)的南岭地区鱼类
Table 1 The fish species listed in the List of State Key Protected Wild Animals (2021)

种名 Species	国家重点保护 野生动物名录 The List of State Key Protected Wild Animals	濒危等级 Endangerment categories	分布河流 Reach of distribution
花鳗鲡 <i>Anguilla marmorata</i>	II	EN	北江、东江 Beijiang River, Dongjiang River
胭脂鱼 <i>Myxocyprinus asiaticus</i>	II	CR	湘江 Xiangjiang River
唐鱼 <i>Tanichthys albonubes</i>	II	CR	北江、东江 Beijiang River, Dongjiang River
鲟 <i>Luciobrama macrocephalus</i>	II	CR	湘江 Xiangjiang River
季氏金线鲃 <i>Sinocyclocheilus jii</i>	II	LC	湘江、西江 Xiangjiang River, Xijiang River
黄田金线鲃 <i>Sinocyclocheilus huangtianensis</i>	II	DD	西江 Xijiang River
短鳍金线鲃 <i>Sinocyclocheilus brevifinus</i>	II	DD	西江 Xijiang River
乌原鲤 <i>Procypris mera</i>	II	EN	西江 Xijiang River
单纹似鲃 <i>Luciocyprinus langsoni</i>	II	EN	西江 Xijiang River
斑点半鲃 <i>Hemibagrus guttatus</i>	II	NE	北江、东江、西江 Beijiang River, Dongjiang River, Xijiang River
厚唇瑶山鲃 <i>Yaoshania pachychilus</i>	II	NE	资江 Zijiang River

CR: 极危; EN: 濒危; LC: 无危; DD: 数据缺乏; NE: 未予评估。CR, Critically Endangered; EN, Endangered; LC, Least Concern; DD, Data Deficient; NE, Not Evaluated.

类鳊 (*Zacco acanthogenys*)、光泽拟鲮 (*Tachysurus nitidus*) 等鱼类只在长江流域分布。这些差异不仅反映了不同流域独特的生态环境, 也揭示了地理隔离对生物多样性形成的重要作用。

2.5.1 长江流域鱼类组成

长江流域流经南岭地区的支流主要有湘江、资江和赣江。位于南岭地区的湘江水系主要包括湘江干流的中上游、支流海洋河和灌江(表2), 湘江水系共分布163种鱼类, 隶属10目23科88属, 占南岭地区鱼类总物种数的62.5%; 其中土著鱼类161种, 外来鱼类2种。资江仅有上游位于南岭地区, 共分布113种鱼类, 隶属9目20科67属, 占南岭地区鱼类总物种数的43.3%; 其中土著鱼类112种, 外来鱼类1种。位于南岭地区的赣江水系主要包括赣江上游支流濂水、梅江、桃江、章水和贡水, 赣江水系共分布105种鱼类, 隶属6目16科60属, 占南岭地区鱼类总物种数的40.2%; 其中土著鱼类103种, 外来鱼类2种。位于南岭地区的长江流域的支流共有鱼类189种, 隶属10目23科97属, 占南岭地区鱼类总物种数的72.4%。

2.5.2 珠江流域鱼类组成

珠江流域流经南岭地区的支流主要有西江、北江、东江。位于南岭地区的东江水系主要包括东江干流的上游、支流寻乌水和贝岭水(表3), 东江水系共分布119种鱼类, 隶属10目24科83属, 占南岭地

表2 位于南岭地区的长江流域鱼类组成
Table 2 Fish composition in the Yangtze River basin located in the Nanling region

河流名称 River name	支流 Tributary	目 Order	科 Family	属 Genus	种 Species
湘江 Xiangjiang River	干流中上游 Upper and middle reaches of the main stream	10	22	85	146
	海洋河 Haiyang River	7	16	47	60
	灌江 Guanjiang River	7	17	46	66
资江 Zijiang River	干流上游 Upstream of the main stream	9	20	67	113
赣江 Ganjiang River	濂水 Lianshui River	4	7	26	33
	梅江 Meijiang River	5	13	45	71
	桃江 Taojiang River	6	13	50	77
	章水 Zhangshui River	5	9	42	55
	贡水 Gongshui River	5	14	48	70

表3 位于南岭地区的珠江流域鱼类组成
Table 3 Fish composition in the Pearl River basin located in the Nanling region

河流名称 River name	支流 Tributary	目 Order	科 Family	属 Genus	种 Species
东江 Dongjiang River	干流上游 Upstream of the main stream	10	22	73	99
	寻乌水 Xunwu River	6	15	51	61
	贝岭水 Beiling River	8	17	50	59
北江 Beijiang River	干流上游 Upstream of the main stream	8	15	51	63
	绥江 Suijiang River	8	16	53	65
	连江 Lianjiang River	9	21	79	105
	南水 Nanshui River	8	14	35	43
	武江 Wujiang River	7	17	67	94
	浚江 Zhenjiang River	9	21	59	85
西江 Xijiang River	贺江 Hejiang River	8	18	49	57
	漓江 Lijiang River	8	20	84	142

区鱼类总物种数的45.6%，其中土著鱼类107种，外来鱼类12种。位于南岭地区的北江水系主要包括北江干流的上游和支流绥江、连江、南水、武江、浚江，北江水系共分布136种鱼类，隶属9目25科93属，占南岭地区鱼类总物种数的52.1%，其中土著鱼类125种，外来鱼类11种。位于南岭地区的西江水系主要包括贺江和漓江上游，西江水系共分布151种鱼类，隶属8目22科90属，占南岭地区鱼类总物种数的57.9%，其中土著鱼类146种，外来鱼类5种。位于南岭地区的珠江水系支流共有鱼类196种，隶属10目27科110属，占南岭地区鱼类总物种数的75.1%。

3 讨论

3.1 鱼类物种组成多样性

3.1.1 区系组成

南岭地区在世界陆地动物区系划分中主要属于东洋界，因此东洋界鱼类物种在此地区占绝对优势，存在少量古北界鱼类物种，显示出东洋界和古北界物种相互渗透的现象。南岭地区在中国淡水鱼类区系划分中属于华东区和华南区，分布大量我国的特有鱼类，如鮡亚科和鲃亚科等。南岭地区主要的河流有属于长江流域的湘江、资江、赣江以及属于珠江流域的西江、北江、东江。其中长江流域的鱼类共有189种，占南岭地区鱼类总物种数的72.4%；珠江流域的鱼类共有196种，占该地区鱼类总物种数的75.1%。南岭地区的鱼类种类有明显的热带和亚热带特征，如鲃亚科、鳢科等；并且主要都是以鲤形目为主，占鱼类总物种数的73.9%；其中鲤科的物种数最多，共148种，占鱼类总物种数的56.7%，与我国其他流域比较相似(赵亚辉等, 2020)。

3.1.2 鱼类多样性的空间差异

南岭地区河流众多，流向多样，空间跨度大，受气候条件、水文特征、植被分布等生态环境因素和拦河筑坝、过度捕捞等人类活动的影响，不同流域的鱼类多样性在空间分布上呈现差异，位于南岭地区的主要河流之间的鱼类相似性系数大多在0–0.50范围内(图4)，相似性较低。然而，同一流域内的河流地理位置接近，并且气候、水温、植被等生态环境因素相似，鱼类组成相似性较高(师瑞丹等, 2015)，如东江和北江之间的鱼类相似性系数为0.62、湘江和资江之间的鱼类相似性系数为0.60、西江和北江之间的鱼类相似性系数为0.59，均处于0.5–0.75之间，表明这些河流之间的鱼类组成呈现为中等相似。研究不同流域鱼类多样性的组成差异，对于保护鱼类多样性具有重要意义。

3.2 外来鱼类入侵状况

在南岭地区的鱼类组成中，外来物种有13种，隶属6目9科11属，占南岭地区鱼类总物种数的5.0%。外来鱼类中包含具有水产养殖价值的经济性鱼类，如从非洲引入的革胡子鲶(*Clarias gariepinus*)、尼罗罗非鱼、莫桑比克罗非鱼(*Oreochromis mossambicus*)和原产自印度的麦瑞加拉野鲮(*Cirrhinus mrigala*)

等。还包含一些具有观赏价值或伴随其他经济鱼类引入的非经济性鱼类,如引自南美洲的下口鲶(*Hypostomus plecostomus*)、原产自欧洲的丁鲷、引自印度的露斯塔野鲮等。

珠江流域外来鱼类多达13种,远多于长江流域(仅4种)。珠江流域经济繁荣和人类活动频繁,增加了外来鱼类物种入侵的风险。珠江流域年均气温约为23℃,地处亚热带气候带,具有适合罗非鱼、露斯塔野鲮等外来物种生长繁殖的自然环境(帅方敏等, 2017)。外来鱼类在缺乏天敌的环境中迅速增殖,侵占土著鱼类的生存空间,抢夺土著鱼类的食物,对土著鱼类造成了极大的冲击,有研究发现尼罗罗非鱼和麦瑞加拉野鲮等外来鱼类成为了东江的优势种^①。

3.3 保护建议

南岭地区现已记录鱼类261种,隶属11目29科121属,其中有19种为受威胁物种,占南岭地区鱼类总物种数的7.3%,占全国受威胁内陆鱼类物种数的7.5%。并且存在许多濒危(EN)、易危(VU)的鱼类物种未被列入国家重点保护野生动物名录,如日本鳗鲡(*Anguilla japonica*)、唇鲮(*Semilabeo notabilis*)、长麦穗鱼(*Pseudorasbora elongate*)、小口白甲鱼(*Onychostoma lini*)等。有研究表明鱼类濒危物种数随人口密度的增加而增多,人类活动是造成鱼类濒危物种数量增多的重要原因之一(Su et al, 2021)。因此对南岭地区鱼类的研究以及保护现状,提出以下建议:

(1)恢复河流连通性。近几十年来已有越来越多的水利设施修建完成,据不完全统计,南岭地区共有水库5,860座,并已建成东江水电站、洪江水电站和近尾洲水电站等大型水电站在内的一系列梯级水电站。水利设施的修建会阻碍洄游型鱼类觅食、繁殖等正常生命活动,导致鱼类多样性下降(董爱明, 2017)。因此建议水电站建设过鱼设施,恢复部分河流和湖泊的连通性(王申芳等, 2022),为日本鳗鲡、花鳗鲡(*Anguilla marmorata*)等洄游型鱼类提供洄游通道,为珍稀鱼类提供良好的栖息环境,保证洄游型鱼类的正常迁移(潘建军等, 2023)。

(2)加强对河流污染的治理。南岭地区是北江、

湘江、赣江等河流的重要源头区,河流的水量充沛,水质良好,鱼类多样性较丰富,但是南岭地区主要河流的鱼类均以杂食性为主,这是人类活动造成水质下降的表现,如东江源流域^②、北江(周铭浩等, 2023)、贺江(苟婷等, 2015)、湘江(毛德华等, 2024)、资江^③和赣江(陈明等, 2021)均受到了生活或工业废水的污染,其中湘江和资江受重金属污染较为严重(杨帆等, 2022)。大量污水的排放使河流污染日益严重,河流生态系统遭到破坏(邢迎春, 2011)。建议加强对河流污染源基本情况的整体排查,加强对排水口污水排放的监管,杜绝生活污水或工业废水直接排放进入河流;将污水厂的出水重新利用,可作为工业用水、道路清扫水等(潘建军等, 2023)。

(3)科学合理开展增殖放流。对南岭地区鱼类资源的保护应以自然恢复为主,对于受威胁物种可以采取适当的人工措施,促进其种群恢复(张登成等, 2021)。目前,唐鱼、乌原鲤(*Procypris mera*)等珍稀鱼类人工繁育技术已经较为成熟。2022年1月,农业农村部发布了《“十四五”水生生物增殖放流工作的指导意见》,提出了长江流域、珠江流域等重要江河增殖放流的适宜物种,其中包括南岭地区适宜放流青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)、草鱼、鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙(*Aristichthys nobilis*)等重要经济鱼类,以及唐鱼、乌原鲤等珍稀濒危鱼类(李德旺等, 2023)。

(4)加强对鱼类栖息地的科学保护。根据对南岭地区主要河流受威胁鱼类物种的统计,湘江和西江受人类活动影响大的鱼类物种较多,因此需要重点保护斑点半鲮(*Hemibagrus guttatus*)、唐鱼、鮰(*Luciobrama macrocephalus*)等受威胁物种,重点关注湘江和西江的生态环境,对鱼类产卵场和河流沿岸栖息地进行保护和恢复(王莉等, 2021)。按照环境保护部与国家能源局联合发布的《关于深化落实水电开发生态环境保护措施的通知》(https://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201406/t20140617_277066.htm)中所提出的栖息地保护具体要求治理河流,恢复栖息地的生态环境、增强栖息地的保护效果(黄光明等, 2015)。

^① 刘毅 (2011) 东江干流鱼类群落变化特征及生物完整性评价. 硕士学位论文, 暨南大学, 广州.





^② 乔丽潘古丽·吐尔洪 (2022) 东江源流域水质时空分布特征分析及变化预测. 硕士学位论文, 江西理工大学, 赣州.

^③ 章晓 (2020) 资江干流污染现状分析与防治对策. 硕士学位论文, 湖南农业大学, 长沙.

(5)科学引种, 防范生物入侵。外来鱼类入侵主要是由于不合理的引种或引种后管理不当等因素造成的。位于南岭地区的珠江流域受外来鱼类入侵较为严重, 其中东江水系有10.1%为外来鱼类。应规范管理南岭地区的外来鱼类, 严格监管尼罗罗非鱼、麦瑞加拉野鲮等外来鱼类的养殖方式, 防止养殖逃逸现象; 在鱼类养殖区附近设立外来鱼类监测站, 实时监测外来鱼类种类组成和生物量^①; 加大科普宣传力度, 普及相关知识, 提高公众对外来鱼类的认识, 严禁将外来鱼类随意放生到自然水域中; 定期组织专业团队对外来鱼类进行捕捞, 防止其过度繁殖和扩张(李高俊等, 2023)。

致谢: 感谢深圳市兰科植物保护研究中心的严岳鸿研究员、孙维悦博士在鱼类资源数据分析过程中提供的帮助。

ORCID

许佳  <https://orcid.org/0009-0002-8842-2373>
张翼飞  <https://orcid.org/0000-0002-9027-7120>
吴昌  <https://orcid.org/0000-0002-7315-767X>
孙远东  <https://orcid.org/0000-0001-7437-9058>

参考文献

- Aquatic Research Institute of Guangxi, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences (2006) Freshwater Fishes of Guangxi, 2nd edn. Guangxi People's Publishing House, Nanning. (in Chinese) [广西壮族自治区水产研究所, 中国科学院动物研究所 (2006) 广西淡水鱼类志(第二版). 广西人民出版社, 南宁.]
- Cao LC, Shao L, Qiao PJ, Zhao ZG, van Hinsbergen DJJ (2018) Early Miocene birth of modern Pearl River recorded low-relief, high-elevation surface formation of SE Tibetan Plateau. *Earth and Planetary Science Letters*, 496, 120–131.
- Chen M, Liu ZF, Liu YC, Xu YY, Zou JP (2021) Analysis and evaluation on the nitrogen pollution in the upper reaches of Ganjiang River. *Nonferrous Metals Science and Engineering*, 12(2), 79–89. (in Chinese with English abstract) [陈明, 刘正芳, 刘友存, 许燕颖, 邹杰平 (2021) 赣江上游河道氮污染分析评价. *有色金属科学与工程*, 12(2), 79–89.]
- Chen YY (1998) Fauna Sinica-Osteichthyes-Cypriniformes (II). Science Press, Beijing. (in Chinese) [陈宜瑜 (1998) 中国动物志·硬骨鱼纲·鲤形目(中卷). 科学出版社, 北京.]
- Ding RX, Zhang K, Min K, Zou HP (2024) Reconstruction of the topographic evolution of the Nanling Range in South China and its implications for the East Asian Monsoon evolution. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 634, 111947.
- Ding S, Zhang Y, Qu XD, Kong WJ, Liu SS, Meng W (2012) Influence on the spatial distribution of fish in Taizi River basin by environmental factors at multiple scales. *Environmental Science*, 33, 2272–2280. (in Chinese with English abstract) [丁森, 张远, 渠晓东, 孔维静, 刘思思, 孟伟 (2012) 影响太子河流域鱼类空间分布的不同尺度环境因子分析. *环境科学*, 33, 2272–2280.]
- Dong AM (2017) Thoughts on maintaining river connectivity in water conservancy and hydropower projects. *Heilongjiang Hydraulic Science and Technology*, 45(3), 189–190. (in Chinese) [董爱明 (2017) 水利水电工程维持河流连通性的思考. *黑龙江水利科技*, 45(3), 189–190.]
- Gou T, Xu ZC, Li J, Ma QL, Wang L, Zhao XM, Liang RC, Guo JC (2015) Phytoplankton community structure and water quality assessment of Hejiang River, a branch of Xijiang River, Pearl River drainage basin. *Journal of Lake Sciences*, 27, 412–420. (in Chinese with English abstract) [苟婷, 许振成, 李杰, 马千里, 王丽, 赵学敏, 梁荣昌, 郭俊成 (2015) 珠江流域西江支流贺江浮游藻类群落特征及水质分析. *湖泊科学*, 27, 412–420.]
- Guo W, Jia L, Huang XM, Chen Q, Jiang HJZ, Liu JX (2023) Study on structural characteristics and diversity of fish community in Xueye Lake, Jinan City. *Northern Chinese Fisheries*, 42(1), 3–8. (in Chinese with English abstract) [郭伟, 贾丽, 黄雪梅, 陈琪, 蒋宏经政, 刘佳欣 (2023) 济南市雪野湖鱼类群落结构特征及多样性研究. *黑龙江水产*, 42(1), 3–8.]
- He MY, Zheng HB, Clift PD (2013) Zircon U-Pb geochronology and Hf isotope data from the Yangtze River sands: Implications for major magmatic events and crustal evolution in Central China. *Chemical Geology*, 360, 186–203.
- He SL, Zhang JP, Xu MJ (2000) New records of fish and fish fauna in Hunan Province. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 26, 379–382. (in Chinese with English abstract) [贺顺连, 张继平, 许明金 (2000) 湖南鱼类新纪录及鱼类区系特征. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 26, 379–382.]
- Hu MQ, Wang YP, Liu SL, Zhu Q, Li LX, Li PJ, Liu K (2021) Fish community diversity and its relationship with environmental variables in Qili Lake wetland in Anqing. *Chinese Journal of Ecology*, 40, 2485–2495. (in Chinese with English abstract) [胡敏琦, 王银平, 刘思磊, 朱庆, 李连星, 李佩杰, 刘凯 (2021) 安庆七里湖湿地鱼类群落多样性特征及其影响因子. *生态学杂志*, 40, 2485–2495.]
- Huang GM, Wang HL, Wang WY, Chen H, Ding CZ, Xiong HY, Li K (2015) Fish habitat conservation in the Lancang River Basin. *Journal of Hydroecology*, 36(6), 86–92. (in Chinese with English abstract) [黄光明, 王海龙, 王伟营, 陈豪, 丁诚志, 熊合勇, 李坤 (2015) 澜沧江流域鱼类栖息地保护实践. *水生态学杂志*, 36(6), 86–92.]
- Huang XX, Hsu KC, Kang B, Kuo PH, Tsai WH, Liang CM, Lin HD, Wang WK (2019) Population structure of

^① 方康 (2023) 重要外来养殖鱼类生物入侵风险评估. 硕士学位论文, 长江大学, 湖北荆州.

- Aphyocypris normalis*: Phylogeography and systematics. *ZooKeys*, 872, 77–90.
- Huang YF, Chen XY, Yang JX (2007) A new labeonine fish species, *Parasinilabeo longiventralis*, from eastern Guangxi, China (Teleostei: Cyprinidae). *Zoological Research*, 28, 531–538.
- Huang YF, Yang JX, Chen XY (2014) *Stenorynchoacrum xijiangensis*, a new genus and a new species of Labeoninae fish from Guangxi, China (Teleostei: Cyprinidae). *Zootaxa*, 3793, 379–386.
- Jiang LM, Fu W, Yuan T (2021) Cause analysis of early spring heavy rainfall in Nanling. *Mid-Low Latitude Mountain Meteorology*, 45(4), 67–73. (in Chinese with English abstract) [蒋丽敏, 付炜, 袁铁 (2021) 一次南岭地区早春暴雨成因分析. 中低纬山地气象, 45(4), 67–73.]
- Karr JR (1981) Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries*, 6(6), 21–27.
- Li DW, Yang Z, Zhu QG, Jin Y, Xu W (2023) Progress in research on protection measures for fish resources in the Yangtze River based on the impact of Three Gorges Project operation. *China Water Resources*, 19, 40–46. (in Chinese with English abstract) [李德旺, 杨志, 朱其广, 金瑶, 徐薇 (2023) 基于三峡工程运行影响效应的长江鱼类资源保护措施研究与进展. 中国水利, 19, 40–46.]
- Li GF, Zeng L, Liu L, He AY, Weng SP (2020) Investigation and Research on Main River Fish Resources in Guangxi of the Zhujiang River Basin. Science Press, Beijing. (in Chinese) [李桂峰, 曾雷, 刘丽, 何安尤, 翁少萍 (2020) 珠江流域广西主要江河鱼类资源调查与研究. 科学出版社, 北京.]
- Li GF, Zhao J, Zhu XP, Zhang JD, Zhao HH, Liu L (2013) Investigation and Research on Freshwater Fish Resources of Guangdong. Science Press, Beijing. (in Chinese) [李桂峰, 赵俊, 朱新平, 张健东, 赵会宏, 刘丽 (2013) 广东淡水鱼类资源调查与研究. 科学出版社, 北京.]
- Li GJ, Zhao GJ, Gu Y, Cai XW, Gu DE, Yu FD, Li FY, Dong Y, Yang Z, Shen ZX (2023) Study on fish community structure and diversity of Wuyuan River National Wetland Park in Haikou. *Biotic Resources*, 45, 511–522. (in Chinese with English abstract) [李高俊, 赵光军, 谷圆, 蔡杏伟, 顾党恩, 余梵冬, 李芳远, 董杨, 杨治, 申志新 (2023) 海口五源河国家湿地公园鱼类群落结构及多样性研究. 生物资源, 45, 511–522.]
- Li J, Li XH, Mayden R (2014) *Sinocyclocheilus brevifinus* (Teleostei: Cyprinidae), a new species of cavefish from Guangxi, China. *Zootaxa*, 3873, 37–48.
- Li SZ (1981) Distribution Divisions of Chinese Freshwater Fishes. Science Press, Beijing. (in Chinese) [李思忠 (1981) 中国淡水鱼类的分布区划. 科学出版社, 北京.]
- Mao DH, Zhou Y, Zhou YL (2024) Analysis of spatiotemporal variation and driving factors of water quality in the Xiangjiang River Basin from 1990 to 2016. *Environmental Science*, 45, 3953–3964. (in Chinese with English abstract) [毛德华, 周滢, 周懿琳 (2024) 1990–2016年湘江流域水质时空变化及驱动因素分析. 环境科学, 45, 3953–3964.]
- Nelson JS, Grande TC, Wilson MVH (2016) *Fishes of the World*, 5th edn. Wiley, Hoboken.
- Pan JJ, Zhang M, Huang MH, Luan JG, Xiang HY, Yu NQ, Yang HJ (2023) Fish resource status of the Chishi River basin and the measures for their conservation. *Water Resources and Hydropower Engineering*, 54(S2), 301–308. (in Chinese with English abstract) [潘建军, 张敏, 黄明华, 栾建国, 向洪勇, 俞乃琪, 杨海军 (2023) 赤石河流域鱼类资源现状及保护措施. 水利水电技术(中英文), 54(S2), 301–308.]
- Shetty A, Venkateshwarlu M, Muralidharan M (2015) Effect of water quality on the composition of fish communities in three coastal rivers of Karnataka, India. *International Journal of Aquatic Biology*, 3, 42–51.
- Shi RD, Wu ZQ, Huang LL, Feng WL, Zhu ZJ, Ding Y, Hu YX (2015) Fish species diversity of the upper Xiangjiang River in North Guangxi Province. *Journal of Guangxi Normal University (Natural Science Edition)*, 33(4), 127–136. (in Chinese with English abstract) [师瑞丹, 吴志强, 黄亮亮, 封文利, 朱召军, 丁洋, 胡祎祥 (2015) 湘江上游区桂北江段鱼类物种多样性研究. 广西师范大学学报(自然科学版), 33(4), 127–136.]
- Shi WL (1985) Theory of fish fauna complex and its evaluation. *Fisheries Science*, 4(2), 42–45. (in Chinese) [史为良 (1985) 鱼类动物区系复合体学说及其评价. 水产科学, 4(2), 42–45.]
- Shuai FM, Li XH, Liu QF, Li YF, Yang JP, Li J, Chen FC (2017) Spatial patterns of fish diversity and distribution in the Pearl River. *Acta Ecologica Sinica*, 37, 3182–3192. (in Chinese with English abstract) [帅方敏, 李新辉, 刘乾甫, 李跃飞, 杨计平, 李捷, 陈方灿 (2017) 珠江水系鱼类群落多样性空间分布格局. 生态学报, 37, 3182–3192.]
- Su GH, Logez M, Xu J, Tao SL, Villéger S, Brosse S (2021) Human impacts on global freshwater fish biodiversity. *Science*, 371, 835–838.
- Sun ZX, Li XJ, Tang WQ, Zhao YH (2022) A new species of the gudgeon genus *Huigobio* Fang, 1938 (Cypriniformes: Cyprinidae) from the Yangtze River Basin, Southern China. *Zoological Research*, 43, 33–39.
- Wang L, Zhang Y, Lu XH (2021) Study on fish habitat protection and restoration measures of Fengshan Reservoir Project. *Design of Water Resources & Hydroelectric Engineering*, 40(3), 24–26, 56. (in Chinese with English abstract) [王莉, 张扬, 陆晓华 (2021) 凤山水库工程鱼类栖息地保护与修复措施研究. 水利水电工程设计, 40(3), 24–26, 56.]
- Wang SF, Yang XL, Liang WS (2022) Research and practice on the influence of hydropower station construction on river connectivity in the process of urbanization. *Pearl River*, 43(12), 104–112. (in Chinese with English abstract) [王申芳, 杨晓灵, 梁雯珊 (2022) 城镇化进程中水电站建设对河流连通性的影响研究与实践. 人民珠江, 43(12), 104–112.]
- Wang W, Li JS (2021) *In-situ* conservation of biodiversity in China: Advances and prospects. *Biodiversity Science*, 29, 133–149. (in Chinese with English abstract) [王伟, 李俊生 (2021) 中国生物多样性就地保护成效与展望. 生物多样性

- 性, 29, 133–149.]
- Wu HL, Shao GZ, Lai CF, Zhuang DH, Lin PL (2012) Latin-Chinese Dictionary of Fish Names by Classification System. The Sueichan Press, Keelung. (in Chinese) [伍汉霖, 邵广昭, 赖春福, 庄棣华, 林沛立 (2012) 拉汉世界鱼类系统名典. 水产出版社, 基隆.]
- Wu QQ, Shi SC, Ren RJ, Liu YM, Deng XJ (2015) A new record of fish in Hunan—*Distoichodon hupeinensis*. Sichuan Journal of Zoology, 34, 888. (in Chinese) [吴倩倩, 石胜超, 任锐君, 刘宜敏, 邓学建 (2015) 湖南鱼类新纪录一种——湖北圆吻鲴. 四川动物, 34, 888.]
- Wu YA, Li H, Liao FC, Yang X, Xie ZG (2021) Fishes of Hunan. Science Press, Beijing. (in Chinese) [伍远安, 李鸿, 廖伏初, 杨鑫, 谢仲贵 (2021) 湖南鱼类志. 科学出版社, 北京.]
- Xing YC (2011) Species Diversity, Distribution Pattern and Conservation of Fishes in Inland Water of China based on GIS. PhD dissertation, Shanghai Ocean University, Shanghai. (in Chinese with English abstract) [邢迎春 (2011) 基于GIS的中国内陆水域鱼类物种多样性、分布格局及其保育研究. 博士学位论文, 上海海洋大学, 上海.]
- Yang CY, Liu LG, Yang PH, Wang WB, Yang ZY, Dai YF (2012) Three new records of fish in Hunan Province. Sichuan Journal of Zoology, 31, 959–960, 1014. (in Chinese with English abstract) [杨春英, 刘良国, 杨品红, 王文彬, 杨中意, 戴逸飞 (2012) 湖南省鱼类3新纪录. 四川动物, 31, 959–960, 1014.]
- Yang F, Yuan LH, Li YF, He DD, Liu XR, Wang DB (2022) Pollution characteristics and ecological risk assessment of heavy metals in sediments of main water systems in Hunan Province. Acta Ecologica Sinica, 42, 1934–1946. (in Chinese with English abstract) [杨帆, 袁隆湖, 黎一夫, 何丹丹, 刘旭冉, 王冬波 (2022) 湖南省主要水系底泥重金属污染特征及其生态风险评价. 生态学报, 42, 1934–1946.]
- Yuan ZY, Chen JM, Wu YH, Li XQ, Che J (2022) Revision of the list of amphibian species in Yunnan Province. Biodiversity Science, 30, 21470. (in Chinese with English abstract) [袁智勇, 陈进民, 吴云鹤, 李先琦, 车静 (2022) 云南省两栖类物种名录修订. 生物多样性, 30, 21470.]
- Yue PQ (2000) Fauna Sinica-Osteichthyes-Cypriniformes (III). Science Press, Beijing. (in Chinese) [乐佩琦 (2000) 中国动物志·硬骨鱼纲·鲤形目(下卷). 科学出版社, 北京.]
- Zhang CG, Zhao YH (2016) Species Diversity and Distribution of Inland Fishes in China. Science Press, Beijing. (in Chinese) [张春光, 赵亚辉 (2016) 中国内陆鱼类物种与分布. 科学出版社, 北京.]
- Zhang DC, Wang M, Li F, Fan H, Zhai HJ (2021) Impact of comprehensive planning of Chishui River Basin on fish resources and protection countermeasures. Environmental Science and Management, 46(9), 35–40. (in Chinese with English abstract) [张登成, 王孟, 李斐, 樊皓, 翟红娟 (2021) 赤水河流域综合规划对鱼类资源的影响及保护对策研究. 环境科学与管理, 46(9), 35–40.]
- Zhang J (2017) Biodiversity science and macroecology in the era of big data. Biodiversity Science, 25, 355–363. (in Chinese with English abstract) [张健 (2017) 大数据时代的生物多样性科学与宏生态学. 生物多样性, 25, 355–363.]
- Zhang YX (2003) Rare Animals of Lingnan. Guangdong People's Publishing House, Guangzhou. (in Chinese) [张玉霞 (2003) 岭南珍稀动物. 广东人民出版社, 广州.]
- Zhao YH, Xing YC, Lü BB, Zhou CJ, Yang WB, Zhao K (2020) Species diversity and conservation of freshwater fishes in the Yellow River basin. Biodiversity Science, 28, 1496–1510. (in Chinese with English abstract) [赵亚辉, 邢迎春, 吕彬彬, 周传江, 杨文波, 赵凯 (2020) 黄河流域淡水鱼类多样性和保护. 生物多样性, 28, 1496–1510.]
- Zhou MH, Li T, Lin XM, Ye SH, Zhang XR, Deng Y (2023) Water quality and spatial-temporal variation characteristics from main stream and main tributaries of North River. Bulletin of Soil and Water Conservation, 43(5), 111–120, 127. (in Chinese with English abstract) [周铭浩, 李彤, 林学明, 叶四化, 张雪容, 邓滢 (2023) 北江干流及主要支流水质及其时空变化特征. 水土保持通报, 43(5), 111–120, 127.]
- Zhou P (2017) If Nanling not exists. Chinese National Geography, (12), 16–25. (in Chinese) [周平 (2017) 假如没有南岭. 中国国家地理, (12), 16–25.]
- Zhu DG, Zhu Y, Lan JH (2011) Description of a new species of Barbinae, *Sinocyclocheilus huangtianensis* from China (Teleostei: Cyprinidae). Zoological Research, 32, 204–207. (in Chinese with English abstract) [朱定贵, 朱瑜, 蓝家湖 (2011) 中国鲃亚科金线鲃属鱼类一新种——黄田金线鲃(鲤形目: 鲤科). 动物学研究, 32, 204–207.]
- Zong TY, Zhou WY, Zhou P (2019) Analysis of temporal and spatial variation of rainfall in 1968–2015 in Nanling. Ecological Science, 38, 182–190. (in Chinese with English abstract) [宗天韵, 周玮莹, 周平 (2019) 南岭山地1968到2015年降雨的时空变化特征研究. 生态科学, 38, 182–190.]

(责任编辑: 陈小勇 责任编辑: 闫文杰)

附录 Supplementary Material

<https://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2023482>