

柳江鱼类群落结构及多样性研究

朱书礼 陈蔚涛 李新辉 李捷 李跃飞

PATTERN OF FISH ASSEMBLAGE STRUCTURE AND DIVERSITY IN LIUJIANG RIVER

ZHU Shu-Li, CHEN Wei-Tao, LI Xin-Hui, LI Jie, LI Yue-Fei

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.7541/2022.2021.013>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于环境DNA宏条形码的洱海鱼类多样性研究

INVESTIGATING THE FISH DIVERSITY IN ERHAI LAKE BASED ON ENVIRONMENTAL DNA METABARCODING

水生生物学报. 2020, 44(5): 1080–1086 <https://doi.org/10.7541/2020.125>

珠江水系广西江段鱼类多样性空间分布特征

FISH DIVERSITY AND DISTRIBUTION PATTERN OF THE PEARL RIVER SYSTEM IN GUANGXI

水生生物学报. 2020, 44(4): 819–828 <https://doi.org/10.7541/2020.098>

武汉东湖夏冬两季浮游动物物种多样性及群落结构研究

SPECIES DIVERSITY AND COMMUNITY STRUCTURE OF ZOOPLANKTON IN SUMMER AND WINTER IN THE EAST LAKE, WUHAN

水生生物学报. 2020, 44(4): 877–894 <https://doi.org/10.7541/2020.105>

渭河陕西段鱼类群落结构组成及变化研究

CHARACTERISTICS OF FISH COMMUNITY STRUCTURE IN THE WEIHE RIVER OF SHAANXI SECTION

水生生物学报. 2019, 43(6): 1311–1320 <https://doi.org/10.7541/2019.155>

珠江水系四大家鱼资源现状及空间分布特征研究

RESOURCE STATUS AND SPATIAL DISTRIBUTION CHARACTERISTICS OF FOUR MAJOR CHINESE CARPS IN THE PEARL RIVER

水生生物学报. 2017, 41(6): 1336–1344 <https://doi.org/10.7541/2017.165>

新疆伊犁河不同河段鱼类的物种多样性和优势种

SPECIES DIVERSITY AND DOMINANT FISH SPECIES IN DIFFERENT REACHES OF THE ILI RIVER, XINJIANG

水生生物学报. 2017, 41(4): 819–826 <https://doi.org/10.7541/2017.102>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

doi: 10.7541/2022.2021.013

柳江鱼类群落结构及多样性研究

朱书礼 陈蔚涛 李新辉 李捷 李跃飞

(中国水产科学研究院珠江水产研究所, 国家渔业资源环境广州观测实验站, 农业农村部珠江中下游渔业资源环境科学观测实验站, 广东省水产免疫技术重点实验室, 广州 510380)

摘要: 为了解柳江鱼类群落结构、多样性及其与环境因子的关系, 2018年7月和12月在柳江9个江段(榕江、从江、融安、柳城、象州、永福、鹿寨、河池和宜州)开展鱼类和环境调查。共采集鱼类36474尾, 隶属于5目20科80属115种; 其中, 鲤科鱼类最多(68种), 占59.13%。Shannon-Wiener多样性指数、Simpson指数、Pielou均匀度指数和Margalef丰富度指数的变化范围分别为2.13—3.12、0.81—0.93、0.58—0.80和4.65—7.18。鱼类优势种以银鲃 *Squalidus argentatus*、大眼华鳊 *Sinibrama macrops*、胡鲃 *Microphysogobio chenhsienensis*、银鲴 *Xenocypris macrolepis* 和南方拟鲮 *Pseudoherculter dispar* 等小型鱼类为主。丰度/生物量比较曲线表明, 宜州、榕江、鹿寨、柳城、象州和融安江段鱼类群落受到中度或严重干扰, 河池、从江和永福鱼类群落结构相对稳定。采用非度量多维标度排序(NMDS)方法对鱼类群落的时空分布特征进行分析, 将鱼类划分为3个类群: 柳江上游的从江-榕江类群, 洛清江支流的永福-鹿寨类群, 柳江中下游及龙江支流的融安-柳城-象州-河池-宜州类群。采用典范对应分析(CCA)分析鱼类群落与环境因子的关系, 发现河宽、海拔和pH是柳江鱼类群落结构差异的主要影响因子。与历史资料相比, 柳江鱼类群落结构发生显著变化, 经济鱼类占比减少, 鱼类个体呈现小型化和低龄化。建议从以下几个方面加强柳江鱼类多样性保护: 加强执法力度, 严厉打击偷捕、电捕等非法行为; 对主要经济鱼类开展增殖放流; 恢复河流的连通性; 对流域珍稀特有鱼类进行监测、救护和繁育。

关键词: 柳江; 鱼类组成; 物种多样性; 空间分布; 环境因子

中图分类号: S932.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2022)03-0375-10



柳江是珠江水系西江干流的第二大支流, 发源于贵州省独山县, 在广西壮族自治区象州县注入西江(红水河段), 地理位置107°27'—110°34'E, 23°41'—26°30'N, 河长755 km, 流域面积58270 km²[1, 2]。柳江上游称都柳江, 入广西三江后称融江, 流至柳城县后称柳江。柳江地形独特, 生境复杂, 蕴含着丰富多样的物种[3]。据不完全统计, 柳江共记录鱼类141种[2]。柳江为区域经济发展提供了重要支撑, 但随着经济快速发展, 河道开发和水体环境污染加剧[4, 5], 导致河流生境破碎化、径流分布时空格局改变, 鱼类自然栖息环境受到的干扰加剧, 河流生态系统受到严重威胁; 加之酷渔滥捕、过度捕捞, 柳江鱼类资源及多样性呈现衰退趋势[6]。

在淡水生态系统中, 鱼类是生态系统功能最敏

感和最可靠的指标之一[7, 8], 维持鱼类的多样性是渔业可持续发展的基础。了解鱼类群落结构和多样性特征, 研究其对水域环境变化的响应机制, 对渔业资源修复和淡水生态系统保护具有重要意义, 也是当前保护科学研究的热点[9—11]。目前, 柳江鱼类群落结构及其多样性研究报道较少, 制约了柳江渔业资源的管理和保护。本研究基于2018年鱼类及环境调查数据, 分析了柳江鱼类多样性现状, 探讨鱼类群落与环境因子的关系, 以为柳江渔业资源修复和鱼类多样性保护提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究地点

龙江是柳江最大的支流, 发源于贵州省三都县,

收稿日期: 2021-02-05; **修订日期:** 2021-09-08

基金项目: 珠江渔业资源调查与评估创新团队项目(2020TD10和2020ZJTD-04); 国家重点研发计划“蓝色粮仓科技创新”项目(2018YFD0900903)资助 [Supported by the Pearl River Fishery Resources Investigation and Evaluation Innovation Team Project (2020TD10 and 2020ZJTD-04); the National Key R & D Program of China (2018YFD0900903)]

作者简介: 朱书礼(1987—), 男, 硕士; 主要从事渔业资源与生态保护研究。E-mail: zshuli2009@126.com

通信作者: 李跃飞(1982—), 男, 硕士; 主要从事渔业资源与生态保护研究。E-mail: liyuefei815@163.com

至广西柳城县入柳江,干流长367 km;洛清江发源于广西临桂县,在鹿寨县汇入柳江,干流长275 km^[1]。本研究在柳江干流的都柳江、融江、柳江江段及支流的洛清江、龙江共设置了9个调查站位,分别为榕江、从江、融安、柳城、象州、永福、鹿寨、河池和宜州。榕江、从江、融安、柳城和象州位于干流,河池和宜州位于龙江支流,永福和鹿寨位于洛清江支流(图1)。

1.2 采样方法

在各采样点渔船码头对渔民所有渔获物进行调查,掌握鱼类种类组成,调查的渔具主要为钩钓网、流刺网、定置刺网和虾笼。为了避免单一渔具捕获种类的局限性,每种渔具类型渔船随机购买1—2船渔获物,对采集到的样本进行分类,并测量体长、体重,进而分析鱼类群落结构状况。调查时间为2018年7月和12月,分别代表夏季和冬季。鱼类种类鉴定参考《珠江鱼类志》^[12]、《广西淡水鱼类志》^[2]、《中国动物志》^[13, 14],鱼类名录中分类和学名参考《中国内陆鱼类物种与分布》^[15]中的鱼类名录信息。在采样站点使用便携式水质分析仪(YSI)、测距仪和流速仪进行环境调查,测量指标包括水温(WT)、溶解氧(DO)、pH、溶解性总固体(TDS)、电导率(COD)、氧化还原电位(ORP)、盐度(SAL)、河宽(Width)、流速(Flow)和海拔(ALT)。

1.3 数据分析

鱼类物种多样性分析采用Shannon-Wiener多样性指数(H')、Margalef种类丰富度指数(D_m)、Pielou均匀度指数(J)、Simpson指数(D_s)^[16-18],计算公式如下:

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \times \ln P_i$$

$$D_m = (S-1)/\ln N$$

$$J' = H'/\ln S$$

$$D_s = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2$$

式中, S 为鱼类种类数, N 为总尾数, P_i 为第*i*种鱼类所占的比例。

生物多样性指数分级评价参考国家环境保护标准(HJ442-2008),根据 H' 指数范围将生物多样性水平划分为极贫乏($H'=0$)、贫乏($H'<1$)、一般($1 \leq H'<2$)、较丰富($2 \leq H'<3$)和丰富($H' \geq 3$)5个级别^[19]。

用Pinkas相对重要性指数(IRI)研究鱼类群落优势种,计算公式如下^[20]:

$$IRI = (N\% + W\%) F\%$$

式中, $N\%$ 为某一种鱼类的尾数占总尾数的百分比, $W\%$ 为某一种鱼类的生物量占总生物量的百分比, $F\%$ 为某一种鱼类出现的站位数占总站位数的百分比。本文选取 $IRI \geq 1000$ 的鱼类为优势种。

丰度/生物量比较曲线(Abundance-Biomass Comparison Curve,简称ABC曲线)最早是利用底栖生物群落结构的特征来监测海洋环境污染状况^[21],近年来常用于鱼类群落结构受外界干扰的评价研究^[16, 22]。ABC曲线的统计量用 W 表示,计算公式为:

$$W = \sum_{j=1}^S \left[\left(\sum_{j=1}^i b_j \right) - \left(\sum_{j=1}^i a_j \right) \right] / 50(S-1)$$

式中, S 为出现的物种数, $\sum_{j=1}^i b_j$ 为物种的累计生物量, $\sum_{j=1}^i a_j$ 为物种的累计丰度。

在未受干扰的群落中, W 为正值,生物量优势度曲线在数量优势度曲线之上;当群落受到中度干扰时, W 值处于0附近,两条曲线出现相交;如果数量优势度曲线在生物量优势度曲线之上, W 为负值,表明群落处于严重干扰状态。ABC曲线采用PRIMER 6.0软件完成。

鱼类群落时空分布特征利用非度量多维尺度分析(NMDS)进行分析^[23],物种数据进行 $\lg(x+1)$ 转化,然后基于Bray-Curtis相似性度量。鱼类多样性与环境因子的关系采用典范对应分析(CCA)进行分析,确定主要的环境影响因子^[23]。为减小稀有物种的影响,CCA分析时将出现率小于5%的鱼类排除在外^[24]。NMDS和CCA分析利用R统计软件完成。



图1 柳江调查站位示意图

Fig. 1 Map of sampling sites in the Liujiang River

2 结果

2.1 鱼类组成

柳江调查统计鱼类1711 kg, 36474尾, 隶属5目20科80属, 共115种。鲤形目80种, 鲇形目16种, 鲈形目14种, 合鳃鱼目3种, 鳗鲡目2种。鲤科68种, 鳅科9种, 鲮科8种, 鲴科5种, 平鳍鳅科3, 塘鳢科、鳗鲡科、鳢科、胡子鲇科、刺鳅科、斗鱼科和鲇科各2种, 虾虎鱼科、长臀鲃科、钝头鲃科、丽鱼科、鲷科、鮡科、合鳃鱼科和沙塘鳢科各1种。在空间上, 各站位分别采集到鱼类物种数分别为: 榕江40种、从江44种、融安58种、柳城58种、象州46种、永福61种、鹿寨64种、河池56种和宜州54种。

在此次采集的鱼类中, 花鳗鲡*Anguilla marmorata*和斑鳢*Hemibagrus guttatus*为国家Ⅱ级保护野生动物^[25]; 《中国濒危动物红皮书》^[26]中将花鳗鲡和大眼卷口鱼*Ptychidio macrops*列为濒危, 长臀鲃*Cranoglanis boudierius*列为易危; 《中国物种红色名录》^[27]中将大眼卷口鱼和花鳗鲡列为濒危, 长臀鲃和波纹鳅*Siniperca undulata*列为易危; IUCN红色名录(IUCN Red List)^[28]中将卷口鱼*Ptychidio jordani*列为极危种, 日本鳗鲡*Anguilla japonica*列为濒危种, 南方拟鲈*Pseudohemiculter dispar*和长臀鲃列为易危种, 南方白甲鱼*Onychostoma gerlachi*、鲢*Hypophthalmichthys molitrix*、鳊*Cirrhinus molitorella*、三角鲤*Cyprinus multitaeniatus*和波纹鳅列为近危种。

此次柳江调查新增记录鱼类19种: 红鳍原鲃*Cultrichthys erythropterus*、寡鳞飘鱼*Pseudolaubuca engraulis*、海南似鲃*Toxabramis houdemeri*、海南鲃*Culter recurviceps*、线细鳊*Metzia lineata*、胡鲃*Huigobio chenhsienensis*、南方鳅鲃*Gobiobotia meridionalis*、虹彩光唇鱼、麦瑞加拉鲃*Cirrhinus mrigala*、拟平鳅*Liniparhomaloptera disparis disparis*、革胡子鲇*Clarias gariepinus*、斑点叉尾鲷*Ictalurus punctatus*、中间黄颡鱼*Pelteobagrus intermedius*、长吻鲃*Leiocassis longirostris*、乌苏里拟鲃*Pseudobagrus ussuriensis*、鳅*Siniperca chuatsi*、尼罗罗非鱼*Oreochromis niloticus*、云斑尖塘鳢*Oxyeleotris marmoratus*、圆尾斗鱼*Macropodus chinensis*。其中, 麦瑞加拉鲃、革胡子鲇、斑点叉尾鲷、尼罗罗非鱼和云斑尖塘鳢为外来物种。

按照鱼类栖息环境和洄游方式, 柳江鱼类分为3种生态类型: 江海洄游性鱼类、江湖洄游性鱼类和定居性鱼类; 定居性鱼类占绝对优势, 占比85.22%。按照鱼类食性类型分为4种: 杂食性、肉

食性、植食性和滤食性; 杂食性占比59.13%, 肉食性占比33.91%, 植食性占比5.22%。

2.2 鱼类多样性及优势种

Shannon-Wiener多样性指数、Simpson指数和Pielou均匀度指数均用鱼类个体数量(N)计算(图2)。Shannon-Wiener指数为2.13—3.12, Simpson指数为0.81—0.93, Pielou均匀度指数为0.58—0.80。Margalef种类丰富度指数为4.65—7.18。根据Shannon-Wiener指数可知, 各河段鱼类多样性总体处于较丰富的级别, 鱼类丰富度较高, 个体分布较均匀。

根据IRI值的大小排序, $IRI \geq 1000$ 的鱼类为优势种类。结果显示, 柳江鱼类优势种时空分布存在差异(表1)。榕江夏季8种, 冬季6种, 相同种类为银鲃*Squalidus argentatus*和大眼华鲃*Sinibrama macrops*。从江夏季7种, 冬季5种, 相同种类为鲤*Cyprinus carpio*和大眼华鲃。融安夏季和冬季各6种, 相同种类为蛇鲃*Saurogobio dabryi*和南方拟鲈。柳城夏季5种, 冬季8种, 相同种类为银鲃、南方拟鲈和鲃。象州夏季和冬季各6种, 相同种类为粗唇鲃*Pseudobagrus crassilabris*和斑鳢*Hemibagrus guttatus*。永福夏季5种, 冬季8种, 相同种类为鲤。鹿寨夏季6种, 冬季8种, 相同种类为银鲃。河池夏季9种, 冬季4种, 相同种类为银鲃和银鲃*Xenocypris macrolepis*。宜州夏季和冬季各6种, 相同种类为银鲃。各调查站点共有的优势种类为银鲃和鲤。

2.3 丰度/生物量比较曲线

丰度/生物量比较曲线显示, 宜州、榕江、鹿寨和柳城的 W 值均小于0, 丰度优势度曲线总体在生物量优势度曲线上方, 且丰度优势度曲线的起点要高于生物量优势度曲线的起点, 表明这4个站点鱼类群落受到严重干扰。象州和融安的 W 值大于0, 且生物量优势度曲线与丰度优势度曲线相交, 表明这2个站点鱼类群落受到中度干扰。河池、从江和永福的 W 值大于0, 生物量优势度曲线位于丰度优

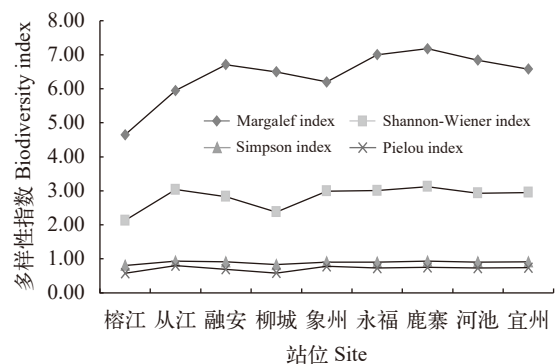


图2 各站点鱼类多样性指数

Fig. 2 Fish biodiversity index of each station

势度曲线之上,生物量优势度曲线的起点高于丰度优势度曲线的起点,表明这3个站点鱼类群落结构相对稳定(图3)。

2.4 鱼类群落时空变化

采用Bray-Curtis相似性的非度量多维尺度排序方法分析,结果表明柳江鱼类群落结构表现为空间自相关,地理空间相近的站点聚为一类。位于柳江上游的从江和榕江为一类,以宽鳍鱲、大鳍鱬、大眼华鳊和胡鲃等为主;支流洛清江的永福和鹿寨为一类,以圆吻鲴、海南拟鲈、棒花鱼、带半刺光唇鱼和麦穗鱼等为主;位于柳江中下游的融安、柳城、象州和龙江支流的河池和宜州为一类,以银鲴、南方拟鲈、鲮、鲢、鳊和尼罗罗非鱼等为主。各采样点鱼类群落组成的季节性组成变化不明显(图4)。

2.5 鱼类分布与环境因子的关系

本研究监测了10个环境因子:水温(WT)、溶解氧(DO)、pH、溶解性总固体(TDS)、电导率(COD)、氧化还原电位(ORP)、盐度(SAL)、河宽(Width)、流速(Flow)和海拔(ALT)。鱼类群落结构差异与环境因子关系的CCA分析结果显示,10个环境因子对鱼类分布的总解释量为67.74%,其中CCA轴1和CCA轴2对鱼类分布的解释量分别为16.80%和10.64%,环境因子Width和ALT主要贡献于轴1,WT、DO、pH、COD和ORP主要贡献于轴2(图5)。随机置换检验结果表明,Width、ALT和

pH是柳江鱼类群落结构差异的最主要影响因子($P<0.05$;表2)。其中,鳊、鲢、赤眼鲮等种类偏好相对较宽的河段,黄尾鲴*Xenocypris davidi*、北江光唇鱼*Acrossocheilus beijiangensis*等种类偏好海拔相对较低的河段,乌苏里拟鲈*Pelteobagrus ussuriensis*、麦穗鱼、越南鲮*Acheilognathus tonkinensis*、中华花鲮*Cobitis sinensis*、带半刺光唇鱼等偏好pH相对较低的河段。

3 讨论

3.1 鱼类生物多样性及其变化

与历史资料相比,柳江鱼类种类组成发生了较大变化。《广西淡水鱼类志》^[2]记载鱼类141种,朱瑜等^[3]报道鱼类137种,本次调查采集鱼类115种,有20多种鱼类未采集到,新增记录鱼类19种。历史资料记载的赤鲴*Dasyatis akajei*、中华鲟*Acipenser sinensis*、鳢*Ochetobius elongatus*等^[2]种类此次调查均未采集到。历史资料记载象州石龙三江口曾是中华鲟的主要产卵场,现已多年未见其踪迹;鳢曾经是西江重要经济鱼类,现今其资源量衰退严重,种群已极度濒危^[29]。采集濒危物种花鳢1尾和大眼卷口鱼16尾,易危物种长臀鲃2尾,表明这些种类在柳江仍处于濒危状态。历史上柳江常见经济鱼类有50多种,主要有青鱼、草鱼、赤眼鲮、大眼近红鲃、翘嘴鲃*Culter alburnus*、鳊*Parabramis pekinensis*、细鳞鲴*Xenocypris microlepis*、圆吻鲴、

表1 柳江鱼类优势种的时空分布

Tab. 1 Spatial and temporal distribution of dominant fish species in Liujiang River

站点Site	优势种Dominant species
榕江 Rongjiang	夏季 大眼华鳊、海南拟鲈、宽鳍鱲、鲤、银鲴、粗唇鲃、黄颡鱼、大鳍鱬
	冬季 唇鲮、大眼华鳊、虹彩光唇鱼、胡鲃、银鲴、圆吻鲴
从江 Congjiang	夏季 大眼华鳊、鲤、银鲴、海南鲃、银鲴、大鳍鱬、大刺鲃
	冬季 大眼华鳊、宽鳍鱲、鲤、粗唇鲃、鲃
融安 Rongan	夏季 蛇鲃、银鲴、银鲴、南方拟鲈、子陵吻虾虎鱼、粗唇鲃
	冬季 草鱼、鲤、蛇鲃、南方拟鲈、鲈、海南似鲮
柳城 Liucheng	夏季 银鲴、鲮、南方拟鲈、赤眼鲮、鲢
	冬季 草鱼、鲫、鲤、银鲴、鲮、南方拟鲈、海南似鲮、尼罗罗非鱼
象州 Xiangzhou	夏季 银鲴、鲢、大眼鲮、粗唇鲃、斑鲃、大刺鲃
	冬季 鲤、青鱼、鳊、粗唇鲃、斑鲃、瓦氏黄颡鱼
永福 Yongfu	夏季 海南拟鲈、鲤、银鲴、圆吻鲴、黄颡鱼
	冬季 草鱼、唇鲮、鲫、鲤、棒花鱼、小鲈、尖头塘鳢、斑鲃
鹿寨 Luzhai	夏季 大眼华鳊、海南拟鲈、宽鳍鱲、银鲴、黄颡鱼、大刺鲃
	冬季 胡鲃、鲤、银鲴、鲮、带半刺光唇鱼、麦穗鱼、尼罗罗非鱼、粗唇鲃
河池 Hechi	夏季 银鲴、银鲴、大眼近红鲃、鲈、桂华鲃、子陵吻虾虎鱼、粗唇鲃、斑鲃、大刺鲃
	冬季 虹彩光唇鱼、鲤、银鲴、银鲴
宜州 Yizhou	夏季 银鲴、高体鲃、南方拟鲈、鲈、尼罗罗非鱼、斑鲃
	冬季 大眼华鳊、鲤、蛇鲃、银鲴、带半刺光唇鱼、子陵吻虾虎鱼

鳊、鲢、花鲮*Hemibarbus maculatus*、蛇鲷、光倒刺鲃*Spinibarbus hollandi*、倒刺鲃*Spinibarbus denticulatus*等^[3]。然而, 当前渔业资源状况形势严峻, 重要经济鱼类种类减少, 资源衰退严重。此次调查常见的种类为银鲷、鲤、大眼华鳊、胡鲷、银鲳、南方拟鲈, 大部分为定居性、杂食性的小型鱼类。本次调查新增鱼类记录中, 海南似鲮、红鳍原鲃和胡鲷等在珠江流域有广泛的分布, 《广西淡水鱼类志》^[2]记载柳江有拟鲮属鱼类分布, 本次采集的乌苏里拟鲮依据《中国动物志》^[14]鉴定分类, 乌苏里拟鲮从珠江至黑龙江水系均有分布^[15]。相较于柳江历史调查资料, 此次新增近二十种鱼类, 说明柳江已有的鱼类研究相对较少, 调查范围和强度较小, 未能充分体现柳江鱼类的多样性。外来水生生物入侵也对柳江鱼类多样性造成威胁, 本次调查采集的麦瑞加拉鲮、革胡子鲶、斑点叉尾鲷、尼罗罗非鱼和云斑尖塘鳢属于外来物种, 并且尼罗

罗非鱼在柳城、鹿寨和宜州已成为优势种。生物入侵是全球变化的一部分, 外来入侵生物通过与本地生物竞争生态位, 对本地生物群落和生态系统产生严重影响, 甚至导致本地种群的灭绝^[30, 31], 柳江鱼类资源的保护和管理也要关注生物入侵的威胁。根据Magurran^[32]提出的多样性指数一般范围(1.5—3.5), 柳江鱼类Shannon-Wiener多样性指数为2.13—3.12, 鱼类多样性处于一般至较丰富水平。与珠江流域其他江段相比^[33—35], 柳江鱼类多样性水平相对较高。然而, 柳江鱼类群落结构及其多样性也受到不同程度的干扰。其中, 宜州、榕江、鹿寨和柳城江段鱼类群落受到严重干扰; 象州和融安江段处于中度干扰状态。柳江大型经济鱼类占比减少, 鱼类优势种向小型化转变, 并显示低龄化趋势, 整体渔业资源水平呈下降趋势。水坝建设、水质污染和过度捕捞是造成柳江渔业资源衰退的主要原因。柳江干流规划了11级电站, 龙江已建7个水

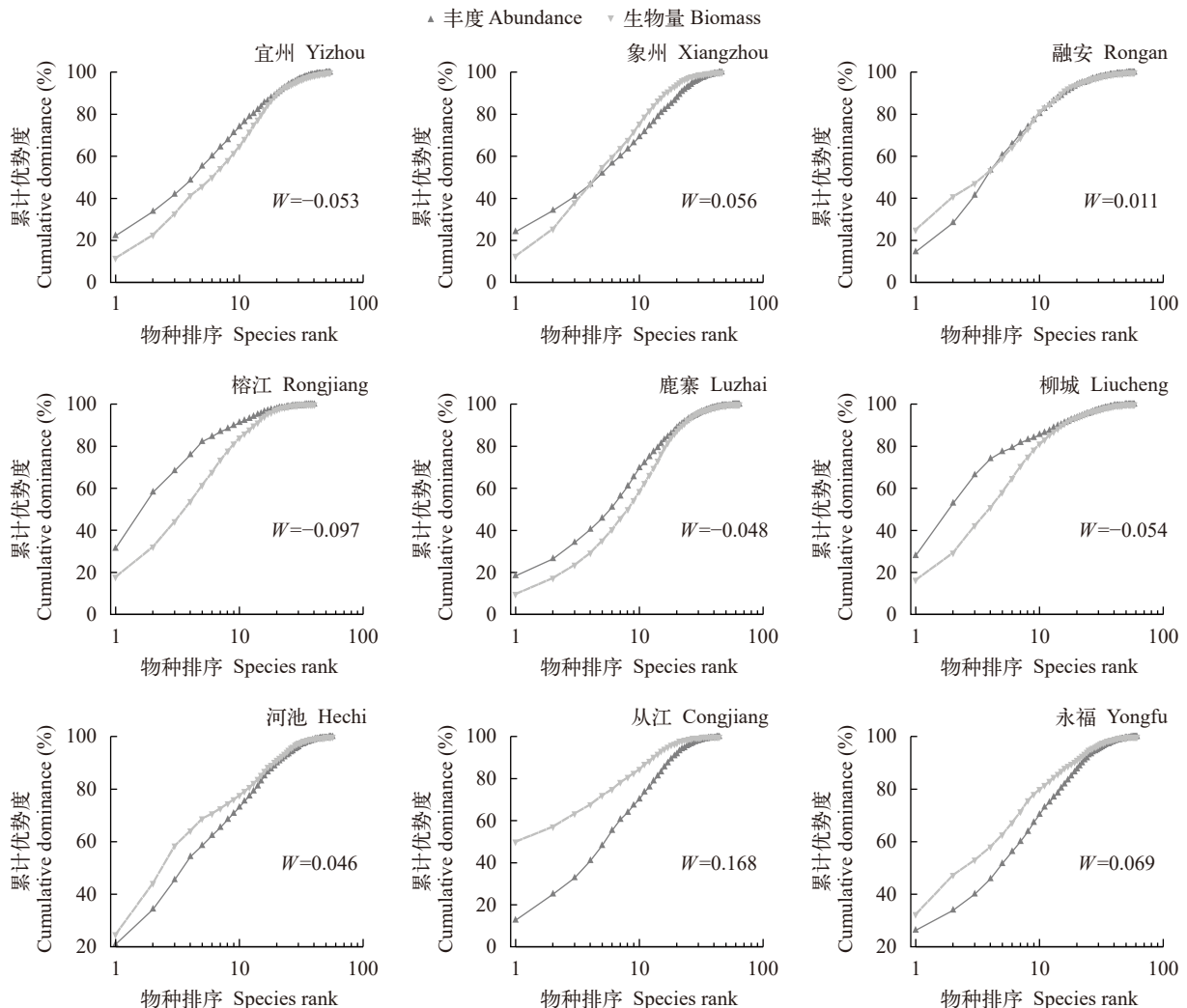


图3 各站点鱼类群落的丰度/生物量曲线

Fig. 3 Abundance/biomass curve of fish communities at each station

电站,洛清江已建5座水库^[1]。水电梯级开发对河流造成阻隔作用,改变水文情势,原有连续的河流生态系统被片段化为水库-河流生态系统,库区和坝下水文情势差异巨大。对洄游性鱼类产生阻隔,鱼类生殖和索饵等生活史过程受到影响,同时也影响鱼类的种群间交流。此外,珍稀濒危特有鱼类适应柳江原有特殊生境,水坝建设对原有特殊生境破坏大,加剧了其濒危程度。陈锋等^[6]研究表明,珠江梯级开发对鱼类造成的主要影响表现为:洄游性鱼类

大幅下降,缓流和静水鱼类大幅增加,产黏沉卵鱼类显著下降,外来物种增加,珍稀特有鱼类濒危程度加剧等。柳江总体水质较好,但局部地区仍然受到工业污染的威胁,对渔业资源产生严重影响。有些江段捞石、采砂活动频繁,破坏了鱼类栖息地,对鱼类直接造成损害。过度捕捞严重威胁淡水渔业资源和鱼类多样性^[36],目前柳江仍存在电鱼、毒鱼和炸鱼等非法捕捞行为,对鱼类种群造成巨大危害。

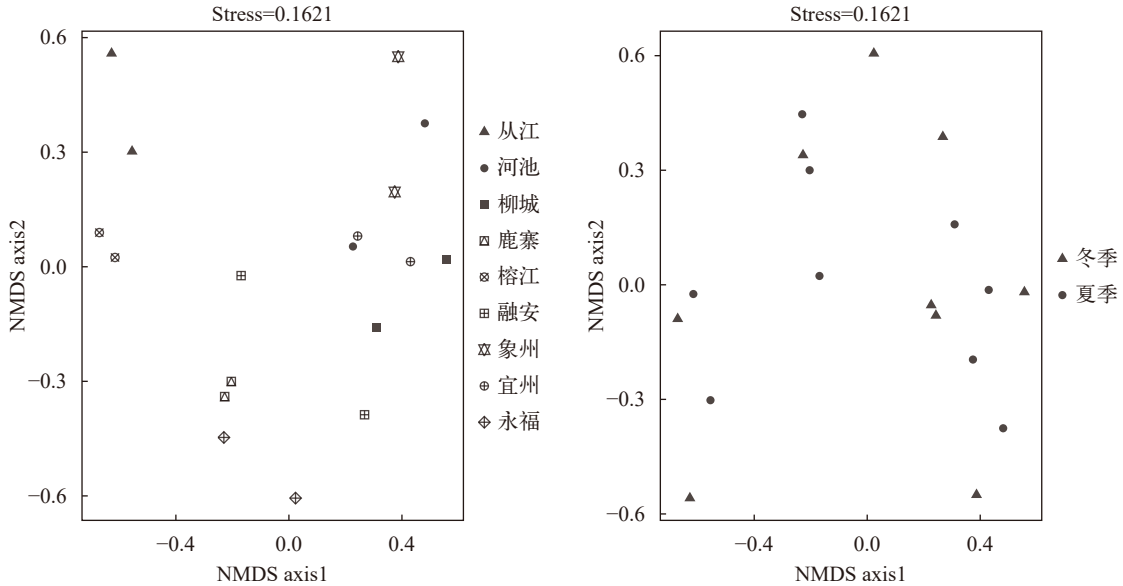


图4 鱼类群落时空变化的NMDS排序

Fig. 4 NMDS ordination of spatiotemporal variation of fish community

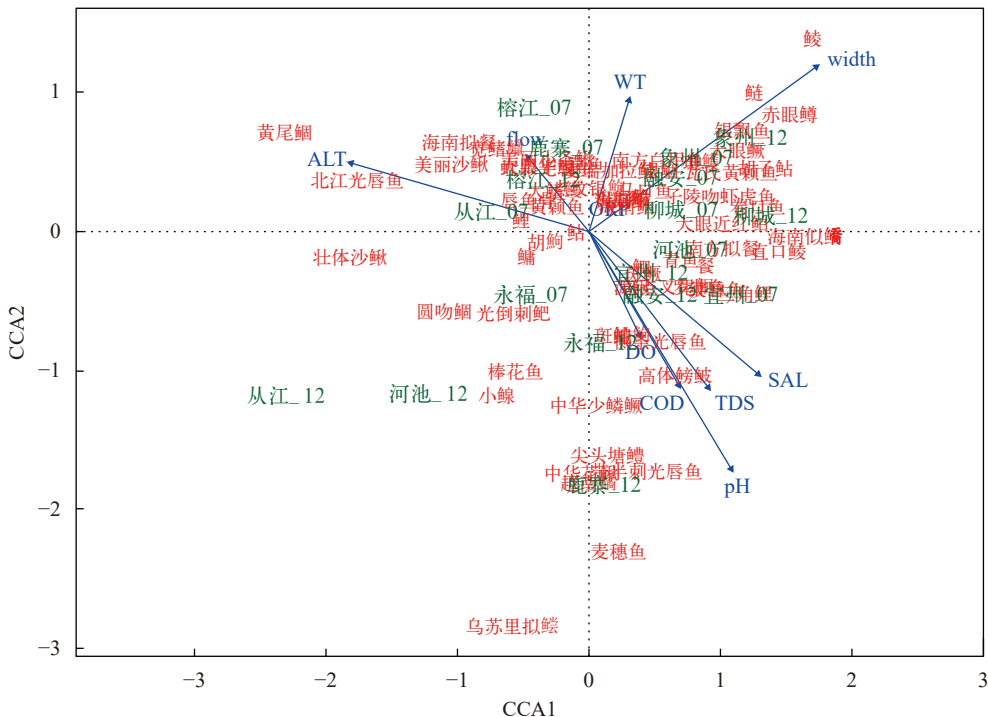


图5 鱼类分布与环境因子关系的CCA分析排序双序图

Fig. 5 Double sequence diagram of CCA analysis on the relationship between fish distribution and environmental factors

表 2 排序轴与环境因子的相关系数

Tab. 2 Correlation coefficient between the sorting axis and environmental factors

指标 Index	CCA1	CCA2	r^2	Pr (>r)
Width	0.83128	0.55586	0.3653	0.025**
ALT	-0.95757	0.28819	0.3018	0.062*
Flow	-0.65976	0.75147	0.0483	0.703
WT	0.28442	0.95870	0.0921	0.507
DO	0.47506	-0.87996	0.0705	0.558
pH	0.54684	-0.83724	0.3840	0.027**
TDS	0.63311	-0.77406	0.1962	0.183
COD	0.54322	-0.83959	0.1613	0.253
ORP	-0.03311	0.99945	0.0003	0.998
SAL	0.77494	-0.63203	0.2484	0.112

注: *显著, **极显著

Note: * represents significant, ** represents extremely significant

3.2 鱼类群落空间变化及其与环境因子的关系

鱼类群落的时空分布受环境因子影响, 河流中不同区域鱼类群落组成因栖息地类型不同而表现出差异^[37-40]。柳江鱼类群落组成表现为空间自相关, 大体划分为“从江-榕江”“永福-鹿寨”和“河池-宜州-柳城-象州-融安”3个类群。在地理位置上, 从江和榕江位于柳江干流上游都柳江段, 柳城、融安和象州位于柳江干流下游融江和柳江段, 河池和宜州位于支流龙江, 鹿寨和永福位于支流洛清江。柳江各江段鱼类群落组成空间变化与地理位置基本一致, 而支流龙江与干流融江段鱼类组成较为相似。鱼类群落分布受多种因子的影响, 已有的研究表明距源距离、河流宽度、pH、水深、水温、溶解氧、浊度、河床类型和坡度等是影响鱼类群落分布的主要因子^[37, 41, 42]。本研究发现河流宽度、海拔和pH是柳江鱼类群落分布差异的主要影响因素。作为影响鱼类分布的主要因子, 河流宽度和深度的比值用于河流鱼类生境评价, 通常比值越大物种的丰富度越大, 意味着鱼类栖息地更优良; 相反, 较小的比值表明鱼类栖息地较差^[43]。Rodrigues-Filho等^[44]研究认为, 河流鱼类多样性受pH和河流宽度影响, 在某种程度上, 具有较高酸度值和较宽河道的河流生物多样性水平较低。Dangles等^[45]的研究中也观察到水生系统的自然酸性导致生物多样性丰富度的降低。本研究结果与此相似, pH较高的永福(8.23)、鹿寨(8.99)、河池(8.79)和宜州(8.5)站点鱼类丰富度相对较高, pH较低的榕江(7.79)和从江(7.69)站点鱼类丰富度较低。pH是影响鱼类物种丰富度的主要原因之一, 柳江属于典型的喀斯特地貌地区, 岩性较为复杂, 以碳酸岩石为

主; 水化学组成主要由岩石风化作用所控制, 以碳酸盐岩贡献为主, 不同的下伏岩层分布决定了相应江段控制作用的强弱, 从而决定了流域水化学组成的空间差异性^[1, 46]。本研究中鱼类物种丰富度随海拔增加而呈现下降趋势, 符合Rapoport's法则^[47]; 其他流域鱼类物种研究也表明, 淡水鱼类的多样性随着海拔升高而逐渐降低^[48, 49]。

3.3 保护管理措施建议

珠江是我国重要的水源地和水生生物宝库, 为珍稀濒危物种和重要水生经济物种提供了良好生存条件和繁衍空间^[50], 柳江作为珠江的重要支流, 研究其鱼类多样性对流域渔业资源修复和水生态系统保护具有重要作用。由于水坝建设、采砂、过度捕捞等因素影响, 柳江鱼类资源呈现衰退趋势, 主要体现在经济鱼类占比减少、鱼类小型化和低龄化。因此, 建议在以下几个方面加强鱼类多样性保护: (1)水产种质资源保护区是鱼类资源保护的一种有效形式, 在渔业保护中发挥重要作用^[51]。目前柳江已有“柳江长臀鲩桂华鲮赤鲃国家级水产种质资源保护区”, 建议进一步根据柳江独特的生境特征, 以珍稀濒危特有鱼类为保护对象, 在关键生境区域划定保护区生态红线, 遏制鱼类生境的丧失和退化。(2)渔业监管部门应严格执行渔业法和禁渔期制度的规定, 加大执法力度, 严厉打击偷捕、电捕行为, 杜绝非法捕捞。(3)针对柳江重要经济鱼类, 例如四大家鱼, 赤眼鲮、翘嘴鲮、光倒刺鲃、倒刺鲃等开展增殖放流, 并进行增殖放流效果评估。(4)开展鱼类洄游通道与产卵场修复研究, 推进河流连通、水利调控和产卵场生态修复。在已有梯级水电站加建过鱼通道, 或者补建集运鱼系统促进鱼类种群交流。根据鱼类繁殖需要, 进行水文生态调度。(5)对于珍稀濒危特有鱼类, 例如花鳗鲡、大眼卷口鱼、长臀鲩、南方白甲鱼、三角鲤等建立鱼类保育中心, 同时开展流域珍稀特有鱼类的科研、监测、救护和繁育工作。

参考文献:

- [1] Committee of Encyclopedia of Rivers and Lakes in China. Encyclopedia of Rivers and Lakes in China Section of Zhujiang Rivers Basin [M]. Beijing: China Water and Power Press, 2013: 87-122. [《中国河湖大典》编纂委员会. 中国河湖大典 珠江卷 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2013: 87-122.]
- [2] Guangxi Academy of Fishery Sciences, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences. Freshwater Fishes of Guangxi, China (second edition) [M]. Nanning: Guangxi People's Publishing House, 2006: 1-502. [广西水产研究

- 所, 中国科学院动物研究所. 广西淡水鱼类志(第二版) [M]. 南宁: 广西人民出版社, 2006: 1-502.]
- [3] Zhu Y, Luo C Y, Gong Z L. Investigation of fish resources in Liujiang River, Guangxi [J]. *Fisheries Science & Technology of Guangxi*, 2001(2): 15-20. [朱瑜, 罗春业, 龚竹林. 广西柳江鱼类资源调查 [J]. 广西水产科技, 2001(2): 15-20.]
- [4] Zhang S K. Liujiang River Planning and cascade development scheme [J]. *Guangxi Electric Power Construction Science and Technology Information*, 2003(1): 1-7. [张绍康. 柳江规划与梯级开发方案 [J]. 广西电力建设科技信息, 2003(1): 1-7.]
- [5] Yan R R, Pang Y. Reaching function analysis of water quality and protecting measure in water supply sources [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2007, 14(3): 303-305. [颜润润, 逢勇. 水源地水质可达性及保护对策研究——以柳州为例 [J]. 水土保持研究, 2007, 14(3): 303-305.]
- [6] Chen F, Lei H, Zheng H T, et al. Impacts of cascade reservoirs on fishes in the mainstream of Pearl River and mitigation measures [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2018, 30(4): 1097-1108. [陈锋, 雷欢, 郑海涛, 等. 珠江干流梯级开发对鱼类的影响与减缓对策 [J]. 湖泊科学, 2018, 30(4): 1097-1108.]
- [7] Guo C B, Lek S, Ye S W, et al. Predicting fish species richness and assemblages with climatic, geographic and morphometric factors: A broad-scale study in Chinese lakes [J]. *Limnologica*, 2015(54): 66-74.
- [8] Park Y S, Grenouillet G, Esperance B, et al. Stream fish assemblages and basin land cover in a river network [J]. *Science of the Total Environment*, 2006, 365(1-3): 140-153.
- [9] Maloney K O, Weller D E, Michaelson D E, et al. Species distribution models of freshwater stream fishes in maryland and their implications for management [J]. *Environmental Modeling and Assessment*, 2013(18): 1-12.
- [10] Zhang H, Kang M, Shen L, et al. Rapid change in Yangtze fisheries and its implications for global freshwater ecosystem management [J]. *Fish and Fisheries*, 2020, 21(3): 601-620.
- [11] Buisson L, Thuiller W, Lek S, et al. Climate change hastens the turnover of stream fish assemblages [J]. *Global Change Biology*, 2008, 14(10): 2232-2248.
- [12] Zheng C Y. Fish Fauna of the Pearl River [M]. Beijing: Science Press, 1989: 1-398. [郑慈英. 珠江鱼类志 [M]. 北京: 科学出版社, 1989: 1-398.]
- [13] Chen Y Y. Fauna Sinica, Osteichthyes, Cypriniformes (II) [M]. Beijing: Science Press, 1998: 19-444. [陈宜瑜. 中国动物志, 硬骨鱼纲, 鲤形目(中卷) [M]. 北京: 科学出版社, 1998: 19-444.]
- [14] Chu X L, Zheng B S, Dai D Y, et al. Fauna Sinica Osteichthyes: Siluriformes [M]. Beijing: Science Press, 1999: 34-191. [褚新洛, 郑葆珊, 戴定远, 等. 中国动物志, 硬骨鱼纲, 鲇形目 [M]. 北京: 科学出版社, 1999: 34-191.]
- [15] Zhang C G, Zhao Y H, et al. Species Diversity and Distribution of Inland Fishes in China [M]. Beijing: Science Press, 2016: 44-213. [张春光, 赵亚辉, 等. 中国内陆鱼类物种与分布 [M]. 北京: 科学出版社, 2016: 44-213.]
- [16] Lin P C, Li S Z, Qin X C, et al. Pattern of fish diversity and assemblage structure in the middle and lower reaches of the Yiluo River, Yellow River [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2019, 31(2): 482-492. [林鹏程, 李淑贞, 秦祥朝, 等. 黄河伊洛河中下游鱼类多样性及群落结构 [J]. 湖泊科学, 2019, 31(2): 482-492.]
- [17] Xiong M H, Yang Z, Hu X K, et al. Studies on fish community structure in Jianli section of the middle reaches of the Yangtze River [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2019, 28(9): 2109-2118. [熊美华, 杨志, 胡兴坤, 等. 长江中游监利江段鱼类群落结构研究 [J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(9): 2109-2118.]
- [18] Mao Z G, Gu X H, Gong Z J, et al. The structure of fish community and changes of fishery resources in Lake Hongze [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2019, 31(4): 1109-1119. [毛志刚, 谷孝鸿, 龚志军, 等. 洪泽湖鱼类群落结构及其资源变化 [J]. 湖泊科学, 2019, 31(4): 1109-1119.]
- [19] Ministry of Environmental Protection. Specification for Offshore Environmental Monitoring (HJ 442-2008) [S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2009: 21-23. [环境保护部. 近岸海域环境监测规范 (HJ 442-2008) [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2009: 21-23.]
- [20] Liu Y S, Tang S K, Li D M, et al. Characteristics of the fish community structure in Jiangsu reach of the Huaihe River [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2020, 27(2): 224-235. [刘燕山, 唐晟凯, 李大命, 等. 淮河江苏段鱼类群落结构特征 [J]. 中国水产科学, 2020, 27(2): 224-235.]
- [21] Qu F Y, Yu Z S, Sui J X, et al. The limitations of abundance biomass comparison method [J]. *Marine Sciences*, 2009, 33(6): 118-121. [曲方圆, 于子山, 隋吉星, 等. 丰度生物量比较法应用局限性 [J]. 海洋科学, 2009, 33(6): 118-121.]
- [22] Hu M L, Wang C Y, Liu Y Z, et al. Fish species composition, distribution and community structure in the lower reaches of Ganjiang River, Jiangxi, China [J]. *Scientific Reports*, 2019, 9(1): 1-13.
- [23] Borcard D, Gillet F, Legendre P, et al. Numerical Ecology with R [M]. Beijing: Higher Education Press, 2014: 8-200. [Borcard D, Gillet F, Legendre P, 等. 数量生态学: R语言的应用 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2014: 8-200.]
- [24] Jin B, Qin H, Xu W, et al. Nekton use of intertidal creek edges in low salinity salt marshes of the Yangtze River estuary along a stream-order gradient [J]. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 2010, 88(3): 419-428.

- [25] The revised Lists of wild animals under special state protection in China was officially announced [J]. *China Fisheries*, 2021(3): 22-35. [调整后的《国家重点保护野生动物名录》正式公布 [J]. 中国水产, 2021(3): 22-35.]
- [26] Yue P Q, Chen Y Y. China Red Data Book of Endangered Animals: Pisces [M]. Beijing: Science Press, 1998: 50-222. [乐佩琦, 陈宜瑜. 中国濒危动物红皮书: 鱼类 [M]. 北京: 科学出版社, 1998: 50-222.]
- [27] Wang S, Xie Y. China Species Red List Vol. I Red List [M]. Beijing: Higher Education Press, 2004: 158-176. [汪松, 解焱. 中国物种红色名录 第一卷 红色名录 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2004: 158-176.]
- [28] IUCN Species Survival Commission. IUCN Red List Categories and Criteria Version 3.1 [S/OL]. [2020-02-09]. <http://www.iucn.org/themes/ssc/redlists/rcategories2000.html>. [IUCN物种生存委员会. IUCN物种红色名录濒危等级和标准(3.1版) [S/OL]. [2020-02-09]. <http://www.iucn.org/themes/ssc/redlists/rcategories2000.html>.]
- [29] Yang J P, Li C, Chen W T, et al. Genetic diversity and population demographic history of *Ochetobius elongatus* in the middle and lower reaches of the Xijiang River [J]. *Biodiversity Science*, 2018, **26**(12): 1289-1295. [杨计平, 李策, 陈蔚涛, 等. 西江中下游鳊的遗传多样性与种群动态历史 [J]. *生物多样性*, 2018, **26**(12): 1289-1295.]
- [30] Britton J R, Ruiz-Navarro A, Verreycken H, et al. Trophic consequences of introduced species: Comparative impacts of increased interspecific versus intraspecific competitive interactions [J]. *Functional Ecology*, 2018, **32**(2): 486-495.
- [31] Simberloff D, Martin J L, Genovesi P, et al. Impacts of biological invasions: what's what and the way forward [J]. *Trends in Ecology and Evolution*, 2013, **28**(1): 58-66.
- [32] Magurran A E. Ecological Diversity and Its Measurement [M]. Princeton: Princeton University Press, 1988: 7-45.
- [33] Zhang Y Q, Huang D T, Li X H, et al. Fish community structure and environmental effects of West River [J]. *South China Fisheries Science*, 2020, **16**(1): 42-52. [张迎秋, 黄稻田, 李新辉, 等. 西江鱼类群落结构和环境影响分析 [J]. *南方水产科学*, 2020, **16**(1): 42-52.]
- [34] Shuai F M, Li X H, Liu Q F, et al. Spatial patterns of fish diversity and distribution in the Pearl River [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, **37**(9): 3182-3192. [帅方敏, 李新辉, 刘乾甫, 等. 珠江水系鱼类群落多样性空间分布格局 [J]. *生态学报*, 2017, **37**(9): 3182-3192.]
- [35] Shuai F M, Li X H, He A Y, et al. Fish diversity and distribution pattern of the Pearl River system in Guangxi [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2020, **44**(4): 819-828. [帅方敏, 李新辉, 何安尤, 等. 珠江水系广西江段鱼类多样性空间分布特征 [J]. *水生生物学报*, 2020, **44**(4): 819-828.]
- [36] Chen Y S, Qu X, Xiong F Y, et al. Challenges to saving China's freshwater biodiversity: Fishery exploitation and landscape pressures [J]. *Ambio*, 2020, **49**(4): 926-938.
- [37] Li J, Huang L, Zou L, et al. Spatial and temporal variation of fish assemblages and their associations to habitat variables in a mountain stream of north Tiaoxi River, China [J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2012(93): 403-417.
- [38] Guo C B, Chen Y S, Lek S, et al. Large scale patterns in the diversity of lake fish assemblages in China and the effect of environmental factors [J]. *Fundamental and Applied Limnology*, 2016, **188**(2): 129-145.
- [39] Taylor C M. A Large-scale comparative analysis of riffle and pool fish communities in an upland stream system [J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2000, **58**(1): 89-95.
- [40] Zhang X, Yang T Y, Luo X H, et al. Fish phylogenetic community structure in the Poyang Lake and its tributary the Xiushui River in summer [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2020, **44**(6): 1297-1312. [张旭, 杨婷越, 罗小红, 等. 鄱阳湖湖区及支流修水夏季鱼类系统发育群落结构分析 [J]. *水生生物学报*, 2020, **44**(6): 1297-1312.]
- [41] Wolter C. Temperature influence on the fish assemblage structure in a large lowland river, the lower Oder River, Germany [J]. *Ecology of Freshwater Fish*, 2007, **16**(4): 493-503.
- [42] Kouamelan E P, Teugels G G, N'Douba V, et al. Fish diversity and its relationships with environmental variables in a West African basin [J]. *Hydrobiologia*, 2003(505): 139-146.
- [43] Sekine M, Wang J, Yamamoto K, et al. Fish habitat evaluation based on width-to-depth ratio and eco-environmental diversity index in small rivers [J]. *Environmental Science and Pollution Research International*, 2020(27): 34781-34795.
- [44] Rodrigues-Filho C A S, Gurgel-Lourenço R C, Lima S M Q, et al. What governs the functional diversity patterns of fishes in the headwater streams of the humid forest enclaves: environmental conditions, taxonomic diversity or biotic interactions [J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2017, **100**(9): 1023-1032.
- [45] Dangles O, Malmqvist B, Laudon H. Naturally acid freshwater ecosystems are diverse and functional: evidence from boreal streams [J]. *Oikos*, 2004(104): 149-155.
- [46] Wen Z W, Ru X, Xie B B, et al. Characteristics and sources analysis of hydrochemistry in the Longjiang-Liujiang-Xijiang watershed [J]. *Environmental Chemistry*, 2016, **35**(9): 1853-1864. [文泽伟, 汝旋, 谢彬彬, 等. 龙江-柳江-西江流域的水化学特征及其成因分析 [J]. *环境化学*, 2016, **35**(9): 1853-1864.]
- [47] Rapoport E H. Areography: Geographical Strategies of Species [M]. Oxford: Pergamon Press, 1982: 11-232.
- [48] Askeyev A, Askeyev O, Yanybaev N, et al. River fish assemblages along an elevation gradient in the eastern extremity of Europe [J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2017(100): 585-596.

- [49] Fu C Z, Wu J H, Wang X Y, *et al.* Patterns of diversity, altitudinal range and body size among freshwater fishes in the Yangtze River basin, China [J]. *Global Ecology and Biogeography*, 2004, **13**(6): 543-552.
- [50] Circular of the Ministry of Ecology and Environment, the Ministry of Agriculture and Rural Affairs and the Ministry of Water Resources on Printing and Issuing the Program for Conservation of Aquatic Biodiversity in Significant River Basins [J]. *The Gazette of the State Council of the People's Republic of China*, 2018(28): 71-79. [生态环境部, 农业农村部, 水利部关于印发《重点流域水生生物多样性保护方案》的通知 [J]. 中华人民共和国国务院公报, 2018(28): 71-79.]
- [51] Sheng Q, Ru H J, Li Y F, *et al.* The distribution pattern of national aquatic germplasm reserves in China [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2019, **43**(1): 62-80. [盛强, 茹辉军, 李云峰, 等. 中国国家级水产种质资源保护区分布格局现状与分析 [J]. 水产学报, 2019, **43**(1): 62-80.]

PATTERN OF FISH ASSEMBLAGE STRUCTURE AND DIVERSITY IN LIUJIANG RIVER

ZHU Shu-Li, CHEN Wei-Tao, LI Xin-Hui, LI Jie and LI Yue-Fei

(Guangzhou Scientific Observing and Experimental Station of National Fisheries Resources and Environment; Scientific Observing and Experimental Station of Fishery Resources and Environment in the Middle and Lower Reaches of Pearl River, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; Key Laboratory of Aquatic Animal Immune Technology of Guangdong Province, Pearl River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510380, China)

Abstract: Liujiang River is the second largest tributary of Xijiang River in the Pearl River. It has rich species diversity and complex habitat types, which play an important role in maintaining the biodiversity of the basin. In aquatic ecosystems, fish species richness and assemblages have been recognized as one of the most sensitive and reliable indicators for ecosystem processes and function. Maintaining fish diversity is the basis of the sustainable development of fisheries. To understand the diversity of fish community structure and its relationship with environmental factors in the Liujiang River, fish and environmental surveys were conducted in 9 sections of Liujiang River (Rongjiang, Congjiang, Rong'an, Liucheng, Xiangzhou, Yongfu, Luzhai, Hechi, and Yizhou) in both July and December 2018. A total of 36474 individuals belonging to 115 species, 80 genera, 20 families, and 5 orders were collected, among which, Cyprinidae was the most abundant with 68 species, accounting for 59.13%. Shannon-Wiener diversity index, Simpson index, Pielou evenness index, and Margalef richness index ranged from 2.13 to 3.12, 0.81 to 0.93, 0.58 to 0.80, and 4.65 to 7.18, respectively. The fish diversity was relatively rich, the fish richness was high, and the individual distribution was relative uniform. The dominant fish species were small fishes, such as *Squalidus argentatus*, *Sinibrama macrops*, *Microphysogobio chenhshienensis*, *Xenocypris macrolepis*, *Pseudohemiculter dispar*. The abundance/biomass comparison curve showed that the fish communities in Yizhou, Rongjiang, Luzhai, Liucheng, Xiangzhou, and Rong'an were moderately or seriously disturbed, and there were relatively stable in Hechi, Congjiang, and Yongfu. The spatial and temporal distribution characteristics of fish communities were analyzed by non-metric multidimensional scale sorting (NMDS), and the fish communities were divided into three groups: Congjiang-Rongjiang group in the upper reaches of the Liujiang River, Yongfu-Luzhai group in the tributaries of the Luoqing River, and Rong'an-Liucheng-Xiangzhou-Hechi-Yizhou group in the middle and lower reaches of the Liujiang River and the tributaries of the Longjiang River. Canonical correspondence analysis (CCA) was used to analyze the relationship between the fish community and environmental factors. It was found that river width, altitude, and pH were the main impact factors of fish community structure in the Liujiang River. Compared with the historical data, the fish community structure in the Liujiang River has been changed significantly, the proportion of economic fish has decreased, and the fish individuals have become smaller and younger. In addition, the Liujiang River was threatened by alien aquatic species invasion. There are several ways to strengthen the protection of fish diversity in Liujiang River such as strengthen law enforcement, crack down on illegal activities such as poaching and electric fishing; released the economic fish; restoration of river connectivity; to monitor, rescue and breed the rare and endemic fish in the basin.

Key words: Liujiang River; Fish composition; Biodiversity; Spatial distribution pattern; Environmental factors

附表 1 柳江鱼类调查名录

Attached table 1 Fish species in the Liujiang River

物种Species	生态类型 Ecological type	榕江	从江	融安	柳城	象州	永福	鹿寨	河池	宜州	广西鱼类志 ^[2]	朱瑜等 ^[3]
鲢形目Myliobatiformes												
鲟科Dasyatidae												
1. 赤鲟 <i>Dasyatis akajei</i>	C; RS										+	
鲟形目Acipenseriformes												
鲟科Acipenseridae												
2. 中华鲟 <i>Acipenser sinensis</i>	C; RS										+	
鳗鲡目Anguilliformes												
鳗鲡科Anguillidae												
3. 日本鳗鲡 <i>Anguilla japonica</i>	C; RS							+			+	+
4. 花鳗鲡 <i>Anguilla marmorata</i>	C; RS									+	+	
鲤形目Cypriniformes												
鲤科Cyprinidae												
[鱼丹]亚科Danioninae												
5. 宽鳍鱲 <i>Zacco platypus</i>	O; SE	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
6. 马口鱼 <i>Opsariichthys bidens</i>	C; SE	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
7. *瑶山鲤 <i>Yaoshanicus arcus</i>	O; SE										+	+
8. 南方波鱼 <i>Rasbora steineri</i>	O; SE										+	+
雅罗鱼亚科Leuciscinae												
9. 青鱼 <i>Mylopharyngodon piceus</i>	C; RL			+	+	+		+	+			+
10. 草鱼 <i>Ctenopharyngodon idella</i>	H; RL	+	+	+	+	+	+	+	+			+
11. *大眼黑线鲮 <i>Atrilinea macrops</i>	O; SE										+	+
12. 鳊 <i>Ochetobius elongatus</i>	O; RL										+	+
13. 鳊 <i>Elopichthys bambusa</i>	C; RL				+						+	
14. 赤眼鳟 <i>Squaliobarbus curriculus</i>	O; RL			+	+	+			+		+	+
鲃亚科Cultrinae												
15. 红鳍原鲃 <i>Cultrichthys erythropterus</i>	C; SE					+	+					
16. 银飘鱼 <i>Pseudolaubuca sinensis</i>	O; SE			+	+						+	+
17. 寡鳞飘鱼 <i>Pseudolaubuca engraulis</i>	O; SE				+							
18. 鲃 <i>Parabramis pekinensis</i>	H; RL			+		+					+	+
19. 海南似鲃 <i>Toxabramis houdemeri</i>	O; SE			+	+	+			+	+		
20. 鲃 <i>Hemiculter leucisculus</i>	O; SE			+	+	+	+	+	+	+	+	+
21. 伍氏半鲃 <i>Hemiculterella wui</i>	O; SE				+							+
22. 南方拟鲃 <i>Pseudohemiculter dispar</i>	O; SE	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
23. 海南拟鲃 <i>Pseudohemiculter hainanensis</i>	O; SE	+	+				+	+	+		+	+
24. 翘嘴鲃 <i>Culter alburnus</i>	C; SE	+									+	+
25. 海南鲃 <i>Culter recurviceps</i>	C; SE		+	+	+	+	+	+		+		
26. 蒙古鲃 <i>Culter mongolicus</i>	C; SE										+	+
27. 大眼华鲃 <i>Sinibrama macrops</i>	H; RL	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
28. 大眼近红鲃 <i>Ancherythroculter lini</i>	C; SE			+	+		+	+	+	+	+	+
29. 线细鲃 <i>Metzia lineata</i>	H; RL			+								
30. 三角鲂 <i>Megalobrama terminalis</i>	O; RL										+	+
鲃亚科Xenocyprinae												
31. 圆吻鲃 <i>Distoechodon tumirostris</i>	O; SE	+	+	+	+		+	+			+	+
32. 银鲃 <i>Xenocypris argentea</i>	O; SE		+	+	+	+		+	+	+	+	+

续表 1

物种Species	生态类型 Ecological type	榕江	从江	融安	柳城	象州	永福	鹿寨	河池	宜州	广西鱼类志 ^[2]	朱瑜等 ^[3]
70. 鲫 <i>Carassius auratus</i>	O; SE	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+
鲃亚科 Barbinae												
71. 条纹小鲃 <i>Barbodes semifasciolatus</i>	O; SE			+			+	+			+	+
72. 光倒刺鲃 <i>Spinibarbus hollandi</i>	H; RL	+	+		+		+	+	+	+	+	+
73. 倒刺鲃 <i>Spinibarbus denticulatus</i>	H; RL								+	+	+	+
74. 大鳞金线鲃 <i>Sinocyclocheilus macrolepis</i>	O; SE										+	
75. *宜山金线鲃 <i>Sinocyclocheilus yishanensis</i>	O; SE										+	
76. 多斑金线鲃 <i>Sinocyclocheilus multipunctatus</i>	O; SE										+	
77. 长须金线鲃 <i>Sinocyclocheilus longibarbatulus</i>	O; SE										+	
78. *短身金线鲃 <i>Sinocyclocheilus brevis</i>	O; SE										+	
79. *驯乐金线鲃 <i>Sinocyclocheilus xunlensis</i>	O; SE										+	
80. 单纹似鲮 <i>Luciocyprinus langsoni</i>	O; SE										+	+
81. 厚唇光唇鱼 <i>Acrossocheilus labiatus</i>	O; SE										+	+
82. 侧条光唇鱼 <i>Acrossocheilus parallens</i>	O; SE	+		+			+	+		+	+	
83. 带半刺光唇鱼 <i>Acrossocheilus hemispinus cinctus</i>	O; SE			+			+	+		+		+
84. 窄条光唇鱼 <i>Acrossocheilus stenotaeniatus</i>	O; SE		+	+			+	+			+	+
85. 北江光唇鱼 <i>Acrossocheilus beijiangensis</i>	O; SE	+	+						+	+		+
86. 宽口光唇鱼 <i>Acrossocheilus monticola</i>	O; SE											+
87. 云南光唇鱼 <i>Acrossocheilus yunnanensis</i>	O; SE											+
88. 多耙光唇鱼 <i>Acrossocheilus clivosius</i>	O; SE				+						+	+
89. 虹彩光唇鱼 <i>Acrossocheilus iridescens</i>	O; SE	+	+	+	+				+	+		
90. 长鳍虹彩光唇鱼 <i>Acrossocheilus longipinnis</i>	O; SE								+	+	+	+
91. 粗须白甲鱼 <i>Onychostoma barbata</i>	O; RL											+
92. 白甲鱼 <i>Onychostoma sima</i>	O; RL										+	+
93. 南方白甲鱼 <i>Onychostoma gerlachi</i>	O; RL	+	+		+	+	+		+	+	+	+
94. 小口白甲鱼 <i>Onychostoma lini</i>	O; RL										+	+
95. 珠江卵形白甲鱼 <i>Onychostoma ovalis rhomboides</i>	O; RL										+	+
96. 稀有白甲鱼 <i>Onychostoma rara</i>	O; RL										+	+
97. 叶结鱼 <i>Parator zonatus</i>	O; RL										+	+
98. 瓣结鱼 <i>Foliter brevifilis brevifilis</i>	O; RL		+						+		+	+
野鲮亚科 Labeoninae												
99. 桂华鲮 <i>Bangana decora</i>	O; RL								+		+	+
100. 伍氏华鲮 <i>Bangana wui</i>	O; RL										+	+
101. 鲮 <i>Cirrhinus molitorella</i>	O; SE					+				+		+
102. △ 麦瑞加拉鲮 <i>Cirrhinus mrigala</i>	O; SE				+		+	+	+	+		
103. 纹唇鱼 <i>Osteochilus salsburyi</i>	O; SE				+	+	+	+	+	+		+
104. 直口鲮 <i>Rectoris posehensis</i>	O; RL					+		+	+	+	+	+
105. 巴马拟缨鱼 <i>Pseudocrossocheilus bamaensis</i>	O; SE						+			+	+	

续表 1

物种Species	生态类型 Ecological type	榕江	从江	融安	柳城	象州	永福	鹿寨	河池	宜州	广西鱼类志 ^[2]	朱瑜等 ^[3]
106.*柳城拟缨鱼 <i>Pseudocrossocheilus liuchengensis</i>	O; SE										+	+
107.异华鲮 <i>Parasinilabeo assimilis</i>	O; RL										+	
108.唇鲮 <i>Semilabeo notabilis</i>	O; RL										+	+
109.卷口鱼 <i>Ptychidio jordani</i>	O; SE			+	+	+			+	+		+
110.*大眼卷口鱼 <i>Ptychidio macrops</i>	O; SE				+					+		+
111.东方墨头鱼 <i>Garra orientalis</i>	O; SE		+	+							+	+
112.四须盘鮡 <i>Discogobio tetrabarbatus</i>	O; SE					+		+	+	+	+	+
条鳅科 Nemacheilidae												
113.美丽小条鳅 <i>Micronemacheilus pulcher</i>	O; SE	+	+	+	+		+	+			+	+
114.平头平鳅 <i>Oreonectes platycephalus</i>	O; SE										+	+
115.无斑南鳅 <i>Schistura incerta</i>	O; SE							+			+	+
116.横纹南鳅 <i>Schistura fasciolata</i>	O; SE	+	+		+			+		+	+	+
花鳅科 Cobitidae												
花鳅亚科 Cobiniinae												
117.沙花鳅 <i>Cobitis arenae</i>	O; SE										+	
118.中华花鳅 <i>Cobitis sinensis</i>	O; SE				+		+	+			+	+
119.泥鳅 <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	O; SE	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
沙鳅亚科 Botiinae												
120.美丽沙鳅 <i>Botia pulchra</i>	O; SE	+	+	+		+	+	+			+	+
121.壮体沙鳅 <i>Botia robusta</i>	O; SE		+	+				+			+	+
122.花斑副沙鳅 <i>Parabotia fasciata</i>	O; SE										+	+
123.武昌副沙鳅 <i>Parabotia banarescui</i>	O; SE										+	+
124.点面副沙鳅 <i>Parabotia maculosa</i>	O; SE										+	
125.后鳍薄鳅 <i>Leptobotia posterodorsalis</i>	O; SE										+	
126.*桂林薄鳅 <i>Leptobotia guilinensis</i>	O; SE										+	
127.斑纹薄鳅 <i>Sinibotia zebra</i>	O; SE	+									+	
128.大斑薄鳅 <i>Leptobotia pellegrini</i>	O; SE					+					+	+
爬鳅科 Balitoridae												
腹吸鳅亚科 Gastromyzoninae												
129.贵州爬岩鳅 <i>Beaufortia kweichowensis kweichowensis</i>	O; SE	+	+	+				+			+	+
130.中华原吸鳅 <i>Erromyzon sinensis</i>	O; SE	+									+	+
131.厚唇原吸鳅 <i>Protomyzon pachychilus</i>	O; SE											+
132.东坡长汀品唇鳅 <i>Pseudogastromyzon changtingensis tungpeiensis</i>	O; SE											+
133.方氏品唇鳅 <i>Pseudogastromyzon fangi</i>	O; SE										+	+
134.*平头原缨口鳅 <i>Vanmanenia homalocephala</i>	O; SE										+	
135.线纹原缨口鳅 <i>Vanmanenia lineata</i>	O; SE											+
136.平舟原缨口鳅 <i>Vanmanenia pingchowensis</i>	O; SE										+	+
137.拟平鳅 <i>Liniparhomaloptera disparis disparis</i>	O; SE	+						+				
爬鳅亚科 Balitorinae												

续表 1

物种Species	生态类型 Ecological type	榕江	从江	融安	柳城	象州	永福	鹿寨	河池	宜州	广西鱼类志 ^[2]	朱瑜等 ^[3]
168.大眼鳊 <i>Siniperca knerii</i>	C; SE		+	+	+	+			+	+	+	+
169.鳊 <i>Siniperca chuatsi</i>	C; SE		+	+								
丽鱼科 Cichlidae												
170.△尼罗罗非鱼 <i>Oreochromis niloticus</i>	O; SE		+	+	+	+	+	+	+	+		
沙塘鳢科 Odontobutidae												
171.萨氏华黝鱼 <i>Sineleotris saccharae</i>	C; SE			+							+	
172.中华沙塘鳢 <i>Odontobutis sinensis</i>	C; SE										+	
173.沙塘鳢 <i>Odontobutis obscura</i>	C; SE											+
塘鳢科 Eleotridae												
174.尖头塘鳢 <i>Eleotris oxycephala</i>	C; SE					+	+	+	+	+	+	+
175.海南新沙塘鳢 <i>Neodontobutis hainanensis</i>	C; SE										+	
176.△云斑尖塘鳢 <i>Oxyeleotris marmoratus</i>	C; SE						+					
虾虎鱼科 Gobiidae												
177.子陵吻虾虎鱼 <i>Rhinogobius giurinus</i>	C; SE	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+
178.褐吻虾虎鱼 <i>Rhinogobius brunneus</i>	C; SE											+
179.溪吻虾虎鱼 <i>Rhinogobius duospilus</i>	C; SE										+	+
180.丝鳍吻虾虎鱼 <i>Rhinogobius filamentosus</i>	C; SE										+	
181.李氏吻虾虎鱼 <i>Rhinogobius leavelli</i>	C; SE										+	
182.*瑶山吻虾虎鱼 <i>Rhinogobius yaoshanensis</i>	C; SE										+	+
斗鱼科 Osphronemidae												
183.叉尾斗鱼 <i>Macropodus opercularis</i>	O; SE								+		+	+
184.圆尾斗鱼 <i>Macropodus chinensis</i>	O; SE						+					
鳢科 Channidae												
185.斑鳢 <i>Channa maculata</i>	C; SE			+	+		+	+	+	+	+	+
186.月鳢 <i>Channa asiatica</i>	C; SE	+	+				+				+	+
鲃形目 Tetraodontiformes												
鲃科 Tetraodontidae												
187.弓斑东方鲃 <i>Takifugu ocellatus</i>	C; RS										+	+

注: *-柳江特有鱼类; △-外来物种; F-滤食性; C-肉食性; H-植食性; O-杂食性; RL-河湖洄游性; SE-定居性; RS-江海洄游性

Note: *-endemic species of the Liujiang River; △-alien species; F-filter feeding; C-carnivorous; H-phytophagy; O-omnivory; RL-potamodromous migration; SE-settled fishes; RS-diadromous fishes