

鄱阳湖湖区及支流修水夏季鱼类系统发育群落结构分析

张旭 杨婷越 罗小红 袁春营 刘焕章

FISH PHYLOGENETIC COMMUNITY STRUCTURE IN THE POYANG LAKE AND ITS TRIBUTARY THE XIUSHUI RIVER IN SUMMER

ZHANG Xu, YANG Ting-Yue, LUO Xiao-Hong, YUAN Chun-Ying, LIU Huan-Zhang

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.7541/2020.151>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

长江中游干流鱼类群落构建机制分析

MECHANISM OF FISH COMMUNITY ASSEMBLY IN MIDDLE REACHES OF THE YANGTZE RIVER

水生生物学报. 2020, 44(5): 1045–1054 <https://doi.org/10.7541/2020.121>

鄱阳湖子湖“铎秋湖”过程中水位变化对浮游动物群落结构的影响

EFFECTS OF WATER LEVEL ON ZOOPLANKTON COMMUNITY DURING “PLATE-SHAPED LAKE ENCLOSED IN AUTUMN” IN A SUB-LAKE OF THE POYANG LAKE

水生生物学报. 2019, 43(2): 402–414 <https://doi.org/10.7541/2019.050>

枯水期鄱阳湖子湖轮虫休眠卵空间分布特征

SPATIAL DISTRIBUTION CHARACTERISTICS OF ROTIFER RESTING EGGS IN SUB-LAKES OF THE POYANG LAKE WETLAND AREA DURING THE DRY SEASON

水生生物学报. 2018, 42(6): 1232–1239 <https://doi.org/10.7541/2018.151>

吴城鄱阳湖自然保护区鱼体重金属的富集及安全性评价

HEAVY METAL CONTENT AND SAFETY EVALUATION OF FISHES NATURE RESERVE IN WUCHENG SECTION OF POYANG LAKE, CHINA

水生生物学报. 2017, 41(4): 878–883 <https://doi.org/10.7541/2017.109>

长江湖口段春夏季仔稚鱼群落结构研究

COMMUNITY CHARACTERISTICS OF LARVAE AND JUVENILE FISH IN HUKOU SECTION OF THE YANGTZE RIVER IN SPRING AND SUMMER

水生生物学报. 2019, 43(1): 142–154 <https://doi.org/10.7541/2019.018>

浙江近海春、夏季蟹类群落结构及其与环境因子的关系

COMMUNITY STRUCTURE OF CRABS AND ITS RELATIONSHIP WITH ENVIRONMENTAL FACTORS IN ZHEJIANG COAST AREA IN SPRING AND SUMMER

水生生物学报. 2019, 43(3): 612–622 <https://doi.org/10.7541/2019.074>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

doi: 10.7541/2020.151

鄱阳湖湖区及支流修水夏季鱼类系统发育群落结构分析

张旭^{1,2} 杨婷越^{2,3} 罗小红⁴ 袁春莹^{1*} 刘焕章^{2*}

(1. 天津科技大学海洋与环境学院, 天津 300457; 2. 中国科学院水生生物研究所水生生物多样性与保护重点实验室, 武汉 430072; 3. 中国科学院大学, 北京 100049; 4. 江西省靖安县农业农村局, 宜春 330600)

摘要: 群落的物种共存及构建机制是生态学研究的核心问题之一, 系统发育群落结构分析为探究群落的构建机制提供了新的方法。研究在鄱阳湖湖区及其支流修水设立24个采样点, 采用系统发育群落结构的方法分析了不同空间尺度下鱼类群落的构建机制。结果表明: (1)鄱阳湖鱼类主要以鲤形目、鲤科鱼类为主, 表现出东亚江湖鱼类的组成特点; (2)依据物种组成和空间位置, 鄱阳湖湖区及修水鱼类群落属于不同的组群, 鄱阳湖湖区鱼类群落可以进一步分为北方群、南方群和东部群; (3)在采样点尺度, 24个采样点中, 有12个采样点靠近鄱阳湖支流的入湖口区域, 环境特别, 群落构成表现为环境过滤作用, 有12个采样点相对容纳了较多的远缘物种, 群落构成表现为竞争作用; 在区间分析的尺度, 北方群、东部群及修水群表现为竞争作用, 南方群表现为环境过滤作用; 在湖区及支流流域的尺度, 鄱阳湖湖区群为竞争作用, 修水群转变为环境过滤作用。因此, 鄱阳湖的湖区和支流修水等鱼类群落具有不同的物种组成和群落构建机制。研究结果加深了对群落构建机制的理解, 可以为鄱阳湖鱼类资源的保护提供参考。

关键词: 群落构成机制; 竞争作用; 环境过滤作用; 鄱阳湖

中图分类号: S932.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2020)06-1297-16

群落的构建机制(Community assembly mechanism)及物种共存(Species coexistence)是生态学研究的核心问题之一^[1, 2]。现代生态学将群落构建机制概括为3种类型: 中性作用、竞争作用和环境过滤作用^[3-5]。中性作用强调随机性过程, 认为所有生物物种在生态学上是等同的, 生物群落结构仅由随机过程和扩散限制所决定^[6]。竞争作用认为生态位相似或重叠的物种不可能长期稳定共存, 物种间强烈的相互作用使得生态位分化, 构成群落的物种表现为特征的分异(overdispersion)^[7]。环境过滤作用认为区域环境条件具有独特性, 使得仅适应该环境的物种在群落中得以共存^[8]。

系统发育群落结构(Phylogenetic community structure)研究是将系统发育分析的方法运用到群落生态学中。群落内现有物种组成是进化过程和生态过程共同作用的结果, 通过分析群落内物种间

亲缘关系可以从进化角度深入探究影响群落构建的主要原因^[9, 10]。系统发育群落结构分析认为, 在环境条件特殊的情况下, 生境过滤限制了区域内物种的生态策略, 使得群落物种系统发育产生聚集模式, 区域内仅有近缘物种存在, 群落构成表现为环境过滤作用。在环境条件相对宽松时, 区域内由远缘物种构成, 竞争作用会限制物种相似性, 使得物种间生态位发生分化, 群落系统发育表现为发散模式, 群落的构成机制表现为竞争作用^[9, 11, 12]。在一些特殊的情况下, 群落的物种组成不显著地表现为远缘物种或者近缘物种, 这种情况下, 群落的构成表现为中性或者随机作用。群落物种构成机制的研究对于资源的保护, 特别是有典型地域特色的资源保护有重要指导作用。如果群落的构成机制是环境过滤作用, 在资源保护时需要优先考虑环境条件的保护, 谨慎进行水利工程建设等改变环境的活

收稿日期: 2020-01-17; 修订日期: 2020-07-18

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFC0402005); 三峡工程鱼类资源保护湖北省重点实验室开放课题项目(SXSN/4381)资助 [Supported by the National Key Research and Development Program of China (2016YFC0402005); The Open Project of Hubei Key Laboratory of Three Gorges Project for Conservation of Fishes (SXSN/4381)]

作者简介: 张旭(1994—), 男, 硕士研究生; 主要从事分子生态学研究。E-mail: zhangxuk001@sina.com

通信作者: 袁春莹(1965—), 男, 教授; 主要从事水产养殖与环境调控研究。E-mail: ycy201388@163.com; 刘焕章(1966—), 男, 研究员; 主要从事进化生物学和保护生物学研究。E-mail: hzliu@ihb.ac.cn *共同通信作者

动。因为如果环境条件发生变化,群落的组成将发生变化。如果群落的构成机制是竞争作用,则说明环境条件不是第一限制因子,资源的保护需要重点防控外来种^[13]。

鄱阳湖位于长江中下游南岸,其流域总面积为 $16.22 \times 10^4 \text{ km}^2$,是中国最大的淡水湖泊,也是目前长江仅有的三个通江湖泊之一^[14, 15]。该湖汇纳赣江、抚河、信江、饶河、修水五大河流来水,经鄱阳湖调蓄后,于湖口注入长江,构成以鄱阳湖为汇聚中心的完整辐聚水系^[16, 17]。鄱阳湖是受江(长江)、河(五河)水位制约水量吞吐平衡而形成的过水性、吞吐型、季节性的湖泊,洪枯节律明显,每年4月至9月为丰水期,水位上涨,湖水漫滩,湖体扩大,水面面积可高达 3000 km^2 。10月至次年3月为枯水期,水位大降,水束如带,湖面萎缩,水面面积可低于 1000 km^2 ^[18]。洪、枯水期所出现的这种湖水面积的大变幅,形成了鄱阳湖“高水湖相,低水河相”的湖盆特征,从而出现“洪水一片,枯水一线”的独特景观^[19, 20]。近年来,围湖造田、湖沙挖掘、拦河筑坝、围堤养殖、过度捕捞等人为活动严重影响鄱阳湖鱼类物种多样性,使得鱼类群落结构发生显著性变化^[21–23]。本研究采用系统发育群落结构的方法探讨鄱阳湖鱼类群落结构及其构成机制,以期对鄱阳湖的鱼类资源保护和利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域与物种鉴定

在鄱阳湖及其支流修水设立24个采样点(图1)。

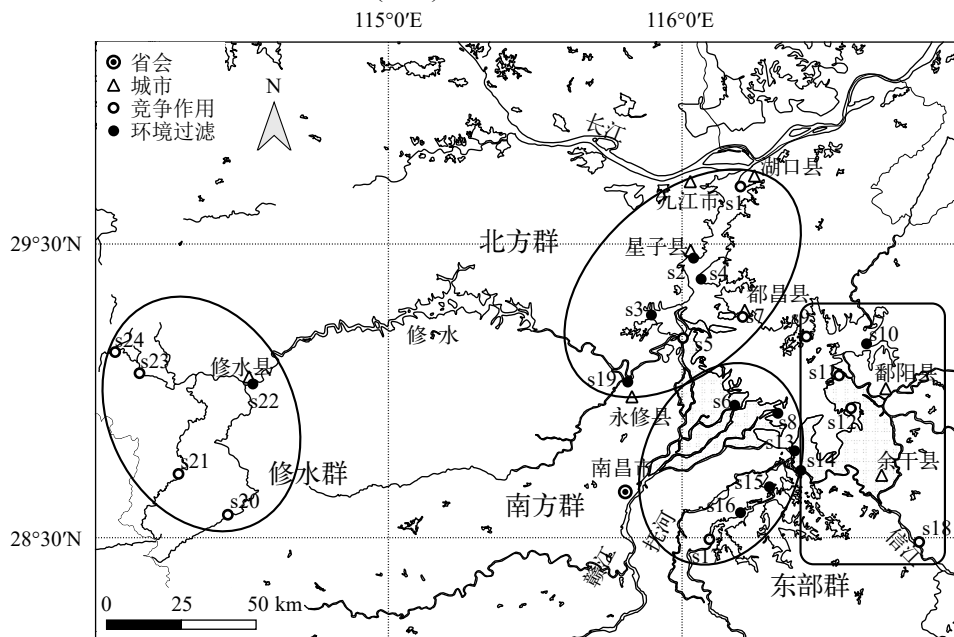


图1 鄱阳湖区域24个采样点及4个类群的分布图

Fig. 1 Twenty-four survey sites and the 4 fish groups in the Poyang Lake Basin

其中2018年7—8月对湖区部分19个采样点(s1—s19)进行鱼类资源调查,9月对修水5个采样点(s20—s24)进行鱼类资源调查。调查方式以自主捕捞为主,使用定置刺网、地笼、背包式电鱼机等工具,以走访采样点附近水产市场进行辅助调查。对采集到的鱼类样本进行形态学鉴定,物种鉴定参考《中国动物志-硬骨鱼纲-鲤形目》中卷、《中国动物志-硬骨鱼纲-鲤形目》下卷、《中国动物志-硬骨鱼纲-鲴形目海鲢目 鲱形目 鼠鲱目》、《中国动物志-硬骨鱼纲-鲈形目(五)-虾虎鱼亚目》和《中国内陆鱼类物种与分布》等^[24–29]。鱼类分类系统采用Fishes of the World (5th ed.)的观点^[30]。使用10%的福尔马林溶液和75%的酒精溶液对样本进行固定。

1.2 优势物种计算

使用PRIMER 5软件对不同鱼类物种在各采样点采集到的尾数占比进行分析,将矩阵分为湖区与支流两部分,运用百分比相似性分析(Similarity of percentage analysis, SIMPER)来分析不同鱼类对于组内相似性和组间相异性的平均贡献率,并将贡献率 $\geq 2\%$ 的种类定义为群落主要特征种^[31, 32]。

1.3 群落等级聚类分析

根据不同种类在各采样点的出现情况建立1/0(出现/不出现)矩阵进行分析。使用R软件中vegan包,以Jaccard相似性系数为基础构建不同采样点的相似性矩阵,采用Ward法构建聚类分析图^[33, 34]。

1.4 鱼类基因组DNA序列处理及分析

采取标准的高盐抽提法手工提取鱼类基因组

DNA^[35]。使用试剂有: 双蒸水(ddH₂O)、十二烷基磺酸钠(SDS)、二水乙二胺四乙酸二钠(EDTA-NA₂·2H₂O)、蛋白酶K(10 mg/mL)、氯化钠(NaCl)、Tris碱(Tris base)、氯仿(CHCl₃)、异丙醇(C₃H₈O)、无水乙醇(C₂H₅OH)、70%乙醇(C₂H₅OH)和 Super-Red核酸染料。

通过聚合酶链式反应(Polymerase Chain Reaction, PCR)对提取到的DNA进行基因扩增, 目标片段为Cyt *b*, 主要引物为通用引物L14724、H15915^[36], 对于通用引物不能提取的基因另外设计特定引物进行提取, 及使用美国国家生物技术信息中心(National Center for Biotechnology Information, NCBI)中该物种基因片段信息进行下一步分析(表 1)。PCR扩增体系总体积为30 μL, 其中包括双蒸水20.1 μL, 10× PCR缓冲液(含MgCl₂) 3.0 μL, dNTPs (2.5 mmol/L each) 2.4 μL, *Taq* DNA酶(2.5 U/mL, TaKaRa Bio) 0.3 μL, 正反向引物各1.2 μL, DNA模板1.8 μL。PCR扩增条件为: 94℃预变性5min, 94℃变性30s, 53℃退火30s, 72℃延伸60s, 扩增30个循环, 72℃终延伸10min。PCR产物经1%的琼脂糖凝胶电泳检测后, 产物送商业公司完成纯化及双向测序^[37]。

使用Clustal X1.8软件对DNA序列进行比对, 并在SEAVIEW软件中辅以手工校正^[38]。采用MEGA X软件以邻接法(Neighbor-joining)构建经1000次Bootstrap检验的系统发育树, 并基于Kimura 2-parameter模型计算物种间遗传距离^[39]。

1.5 群落系统发育结构指数计算

采用平均成对系统发育距离(Mean pairwise

distance, MPD)及净亲缘关系指数(Net relatedness index, *NRI*)评估不同空间尺度的鱼类群落系统发育结构^[9, 40]。使用R软件中的picante包根据各物种间遗传距离计算群落系统发育结构指数, 具体公式如下^[41, 42]:

$$NRI = -1 \times \frac{MPD_{\text{observed}} - \text{Mean}(MPD_{\text{null}})}{SD(MPD_{\text{random}})}$$

式中, MPD_{observed}为平均系统发育距离的观察值, mean(MPD_{null})是系统发育树上物种随机分配(taxa shuffle)运行999次进行1000次迭代产生的每个群落999个随机MPD值的平均值, SD(MPD_{random})则是随机MPD值的标准差。

若*NRI*>0, 说明物种在系统发育结构上聚集, 群落由亲缘关系较近的物种构成, 群落构成机制为环境过滤作用; 若*NRI*<0, 说明物种系统发育结构发散, 群落由亲缘关系较远的物种构成, 群落构成机制为竞争作用; 若*NRI*=0, 说明物种组成是随机的, 群落构成机制为中性作用。

2 结果

2.1 鄱阳湖鱼类群落物种组成

本研究在鄱阳湖湖区及其支流修水24个采样点共采集到鱼类8目15科60属, 共106种(附表 1)。其中鲱形目2种, 鲤形目72种, 鲇形目18种, 颌针鱼目1种, 合鳃鱼目2种, 鰕虎鱼目4种, 攀鲈目2种, 鲈形目5种。

在所收集到的106种鱼类中, 鲤形目是最主要的类群, 有72种, 占总物种数的67.9%。其次是鲇形目, 共18种, 占总数的17.0%。在采集到的所有鱼类中鲤科鱼类的物种数最多, 有60种, 占总物种数的56.6%; 鲿科其次, 有15种, 占总物种数的14.2%; 鳅科位居第三, 有11种, 占总物种数的10.4%; 鰕科有5种, 占总物种数的4.7%。以上4个科的物种数占总物种数的85.9%, 其余11个科各仅有1—2个物种。

根据各采样点采集到的鱼类尾数占比, 运用百分比相似性分析不同鱼类对于组内相似性和组间相异性的平均贡献率, 并将贡献率≥2%的种类定义为主要特征种。鄱阳湖湖区鱼类群落主要特征种为: 似鳊、鲮、鲫、翘嘴鲌、贝氏鲮、黄颡鱼、短颌鲚、鲤、大鳍鱮和蛇鮈等(表 2)。

鄱阳湖支流修水鱼类群落主要特征种为: 鲫、尖鳍马口鱼、黄颡鱼、高体鳊、马口鱼、似鳊、麦穗鱼、子陵吻鰕虎、银鮈和花鲢等(表 3)。

2.2 聚类分析与群组的划分

依据不同鱼类物种在各采样点的出现情况进

表 1 PCR扩增及测序使用引物信息表

Tab. 1 Primers used for PCR amplification and sequencing

引物Primers	序列Sequences (5'—3')	参考文献Reference
L14724	GACTTGAAAAACCACCGTTG	Xiao等
H15915	CTCCGATCTCCGATTACAAGAC	Xiao等
Ldqy	ATTCTTGCTCGACTCTAACC	this study
Hdqy	TATGCCTCCAATTCATGTCAGA	this study
Lzlw	AAGCAACTGACCGACTTCC	this study
Hzlw	GGTGTCTACTGGCATTCTT	this study
Lzhhcq	ACCACCACCAAACCCAGAG	this study
Hzhhcq	GGAATGTGAGGCTTCGTTGT	this study
Lbwg	CAGACACTAAGGCTACACCAAT	this study
Hbwg	GGAATGTGAGGCTTCGTTGT	this study
Lxhy	AGAAGGGTTTGAAGCCACTG	this study
Hxhy	TCTACTGGTATGCCTCCAATTC	this study
Lgtpp	AATTCTTGCTCGACTCTAACC	this study
Hgtpp	GGTATGCCTCCAATTCATGTCA	this study

表 2 鄱阳湖湖区鱼类群落主要特征种的相对丰度及其对于组内相似性的贡献率

Tab. 2 Relative biomass of the abundant fish species and their contribution to the average similarity of the Poyang Lake

物种Species	平均相对丰度 Relative biomass (%)	贡献率 Contribution (%)	累积贡献率 Cumulative contribution (%)
似鳊 <i>Pseudobrama simoni</i>	13.1	18.1	18.1
鳊 <i>Hemiculter leucisculus</i>	5.7	7.3	25.4
鲫 <i>Carassius auratus</i>	3.7	6.9	32.3
翘嘴鲌 <i>Culter alburnus</i>	4.4	6.7	39.0
贝氏鲌 <i>Hemiculter bleekeri</i>	3.7	5.3	44.3
黄颡鱼 <i>Pelteobagrus fulvidraco</i>	4.1	5.1	49.4
短颌鲚 <i>Coilia brachygnathus</i>	6.8	4.4	53.8
鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	2.3	4.1	57.9
大鳍鱮 <i>Acheilognathus macropterus</i>	3.1	3.9	61.8
蛇鲻 <i>Saurogobio dabryi</i>	4.1	3.9	65.7
红鳍原鲌 <i>Culter erythropterus</i>	2.9	3.3	69.0
蒙古鲌 <i>Culter mongolicus mongolicus</i>	2.6	2.9	71.9
鲢 <i>Silurus asotus</i>	2.7	2.7	74.6
麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i>	3.2	2.2	76.8
鳊 <i>Parabramis pekinensis</i>	1.6	2.0	78.8

行聚类分析, 结果显示, 在1.2的水平上全部鱼类群落分为两个组群: 鄱阳湖湖区类群与修水类群。在湖区类群中, 有3个表现特别的采样点(s3、s9和s17)。剩下的采样点在0.6的水平上分为3个组群(图1), 并且与各自的空间位置对应, 所以分别命名为北方群, 南方群和东部群(图2)。

根据物种在各组群中的分布情况绘制鄱阳湖区域鱼类物种分布韦恩图(图3)。在这些组群中, 鄱阳湖湖区分布有88种, 支流修水有61种。这说明鄱阳湖湖区空间大, 容纳的物种多。在鄱阳湖湖区的3个类群中, 北方群有81种, 南方群有56种, 东部群有51种。这主要是由于北方群与长江干流有广泛的交流, 所以物种丰富。

对比这些不同组群中鱼类物种的组成发现, 仅出现在湖区的物种有45种, 主要是一些江湖平原鱼类, 例如刀鲚、短颌鲚、鳊、贝氏鲌、鳊、似刺鳊、似鳊和寡鳞飘鱼等。这些物种多数在长江干

流和湖泊之间交流。仅出现在支流修水的物种有18种, 主要是偏向于流水性的一些物种, 例如光唇鱼、长体小鰾、尖鳍马口鱼、江西鰾、小鰾、大眼华鰾、刺鲃、中华花鰾、天台扁尾薄鰾和平舟原缨口鳅等。这些物种一般出现于小型的河流或溪流中。

在鄱阳湖湖区的3个类群中, 仅出现在北方群

表 3 修水鱼类群落主要特征种的相对丰度及其对于组内相似性的贡献率

Tab. 3 Relative biomass of the abundant fish species and their contribution to the average similarity of the Xiushui River

物种Species	平均相对丰度 Relative biomass (%)	贡献率 Contribution (%)	累积贡献率 Cumulative contribution (%)
鲫 <i>Carassius auratus</i>	8.1	16.8	16.8
尖鳍马口鱼 <i>Opsariichthys acutipinnis</i>	6.8	13.8	30.6
黄颡鱼 <i>Pelteobagrus fulvidraco</i>	5.0	12.8	43.4
高体鰾 <i>Rhodeus ocellatus</i>	13.4	9.9	53.3
马口鱼 <i>Opsariichthys bidens</i>	4.2	8.4	61.7
似鳊 <i>Pseudogobio vaillanti</i>	3.3	6.1	67.8
麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i>	3.7	4.9	72.7
子陵吻鰾虎 <i>Rhinogobius giurinus</i>	5.3	4.8	77.5
银鳊 <i>Squalidus argentatus</i>	6.1	4.0	81.5
花鰾 <i>Hemibarbus maculatus</i>	3.0	3.1	84.6
棒花鱼 <i>Abbottina rivularis</i>	1.7	2.3	86.9
光唇鱼 <i>Acrossocheilus fasciatus</i>	1.2	2.2	89.1
平舟原缨口鳅 <i>Vanmanenia pingchowensis</i>	1.5	2.1	91.2

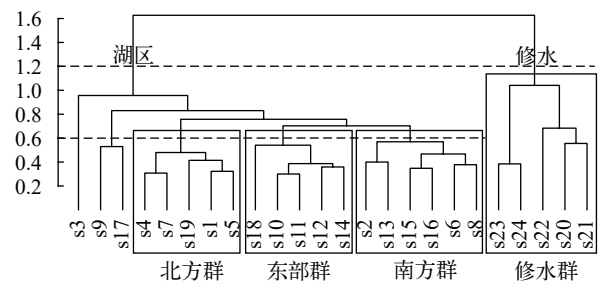


图 2 鄱阳湖区域鱼类群落采样点层次聚类图
Fig. 2 Hierarchical clustering of fish assemblages in the Poyang Lake Basin

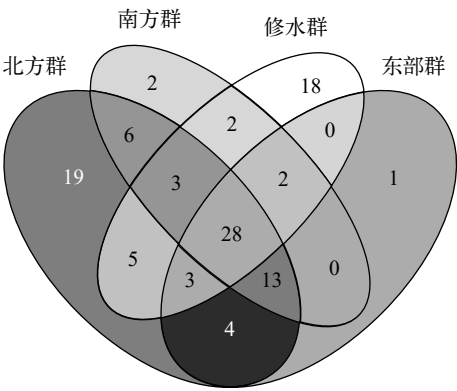


图3 鄱阳湖区域鱼类物种分布韦恩图

Fig. 3 Venn diagram of species distribution of fish assemblages in the Poyang Lake Basin

的有23种, 东部群1种, 南方群4种。其中, 仅出现在北方群的主要是江湖平原鱼类, 例如彩副鲮、铜鱼、唇鲮、鳊、长蛇鮈、紫薄鳅、武昌副沙鳅、大口鲶和长吻鲢等, 这些物种在长江干流也广泛分布。仅出现在鄱阳湖东部群的为短须鲮, 也属于江湖平原鱼类。仅出现在南方群的有4个鱼类物种, 鲮属未定种1、圆吻鲮、长须片唇鲮和寡鳞鲮。它们相对偏向于河流环境, 主要分布在支流。这样的差异反映了鄱阳湖不同区域与长江干流以及鄱阳湖支流交流的情况。

2.3 鄱阳湖鱼类物种系统发育结构

对鄱阳湖区域106个鱼类物种样本采用聚合酶链式反应(Polymerase Chain Reaction, PCR)对Cyt b基因片段进行扩增, 使用通用引物L14724和H15915^[36], 可得到93种鱼类的Cyt b基因片段, 对于使用通用引物不能扩增的13个物种, 9个自行设计引物进行扩增, 4个使用美国国家生物技术信息中心(National Center for Biotechnology Information, NCBI)下载该物种cyt b基因片段序列(表4)。

对106个鱼类物种cyt b序列排序并确定可信的部分, 得到900 bp基因片段, 以腔棘鱼*Latimeria chalumnae* (Accession ID: U82228.1)为外类群, 以邻接法(Neighbor-joining)构建经1 000次Bootstrap检验的系统发育树(图4)。

2.4 不同空间尺度系统发育群落结构分析

采样点尺度 在采样点尺度下, 分析了24个采样点的鱼类群落构建机制(表5)。结果表明, 在采样点尺度上, $NRI>0$ 的采样点有12个(s2、s3、s4、s6、s8、s10、s13、s14、s15、s16、s19和s22), 其中1个采样点(s22)在支流修水上, 其余11个采样点皆位于湖区, 这些采样点的群落构成机制表现为环境过滤作用。 $NRI<0$ 的采样点有12个(s1、s5、

s7、s9、s11、s12、s17、s18、s20、s21、s23和s24), 其中8个采样点(s1、s5、s7、s9、s11、s12、s17和s18)位于湖区, 4个采样点(s20、s21、s23和s24)在支流修水上, 这些采样点的群落构成机制表现为竞争作用。

区间尺度 将鄱阳湖湖区分为3个群, 加上支流修水群共计4个类群, 分析鱼类群落的构建机制。然后再进一步扩大空间尺度, 将鄱阳湖湖区作为一个整体, 与支流修水群进行对比分析, 探究在湖区及支流流域的尺度下鱼类群落的构建机制(表6)。

在区间分析的尺度上, 北方群、东部群及修水群净亲缘关系指数(NRI) <0 , 鱼类群落系统发育发散, 群落由远缘物种构成, 群落构成机制表现为竞争作用。南方群净亲缘关系指数(NRI) >0 , 鱼类群落系统发育聚集, 群落由近缘物种构成, 群落构成机制表现为环境过滤作用。

进一步扩大空间尺度, 在湖区及支流流域的尺度上, 对湖区和支流分别作为分析单元, 鄱阳湖湖区净亲缘关系指数(NRI) <0 , 鱼类群落系统发育发散, 群落由远缘物种构成, 群落构成机制表现为竞争作用。支流修水净亲缘关系指数(NRI) >0 , 鱼类群落系统发育聚集, 群落由近缘物种构成, 群落构成机制表现为环境过滤作用。

表4 部分用特殊引物扩增cyt b基因片段或从GenBank下载序列的物种

Tab. 4 Species with the cyt b gene sequences amplified with special primers or downloaded from the GenBank

物种Species	引物或基因登录号*Primers or Accession ID*
鲮属未定种1 <i>Acheilognathus</i> sp.1	Ldqy & Hdqy
鲮属未定种2 <i>Acheilognathus</i> sp.2	Ldqy & Hdqy
大鳍鲮 <i>Acheilognathus macropterus</i>	Ldqy & Hdqy
波氏吻鰕虎 <i>Rhinogobius cliffordpopei</i>	Lzlw & Hzlzlw
子陵吻鰕虎 <i>Rhinogobius giurinus</i>	Lzlw & Hzlzlw
中华刺鲃 <i>Sinobdella sinensis</i>	Lzhhcq & Hzhhcq
大眼鲃 <i>Siniperca knerii</i>	Lbwg & Hbwg
小黄鲃 <i>Micropercops swinhonis</i>	Lxhy & Hxhy
高体鳊 <i>Rhodeus ocellatus</i>	Lgtpp & Hgtpp
黄鳊 <i>Monopterus albus</i>	AP002945.1
东方墨头鱼 <i>Garra orientalis</i>	NC_021935.1
河川沙塘鳢 <i>Odontobutis potamophila</i>	KF305680.1
长须片唇鲮 <i>Platysmacheilus longibarbatu</i>	KU314692.1

注: *引物序列信息见表1
Note: *The primer sequence information is shown in Tab. 1

3 讨论

3.1 鄱阳湖鱼类物种组成及空间分布

物种组成 在本次调查中,共收集到鱼类物种106种,其中鲤形目是最主要的类群,有72种。其次是鲇形目,共18种。鲤形目中鲤科鱼类的物种数最多,有60种。总体上讲鄱阳湖鱼类主要以鲤形目,鲤科鱼类为主,表现出东亚特有的江湖鱼类的特点。

在湖区部分采集到86个鱼类物种(不包括2个鲮属未定种),相较于之前几次对鄱阳湖鱼类资源调查,物种丰富度有所下降:1956—1963年,记录鱼类108种^[43];1982—1990年,记录鱼类105种^[44];1997—2000,记录鱼类101种^[15]。但相较于本组2010年调查记录的72种而言有明显上升^[45],鄱阳湖鱼类物种丰富度有所恢复,近几年来鱼类资源保护

工作有明显效果。

空间分布 从总体上,鄱阳湖湖区和修水可以分为两个组群。鄱阳湖湖区分布有鱼类88种,支流修水有61种。这说明鄱阳湖湖区空间大,容纳的物种多。而且,鄱阳湖湖区主要是一些江湖平原鱼类,例如刀鲚、短颌鲚、鳊、贝氏鲮和鳊等。这些物种多数在长江干流和湖泊之间交流。在支流修水的物种主要是偏向于流水性的一些物种,例如光唇鱼、长体小鰾、尖鳍马口鱼、江西鳊、天台扁尾薄鳊和平舟原缨口鳅等。这些物种一般出现于小型的河流或溪流中。所以,物种的分布与环境条件是密切相关的。

在鄱阳湖湖区的3个类群中,北方群物种最为丰富。这主要是由于北方群靠近鄱阳湖的通江水

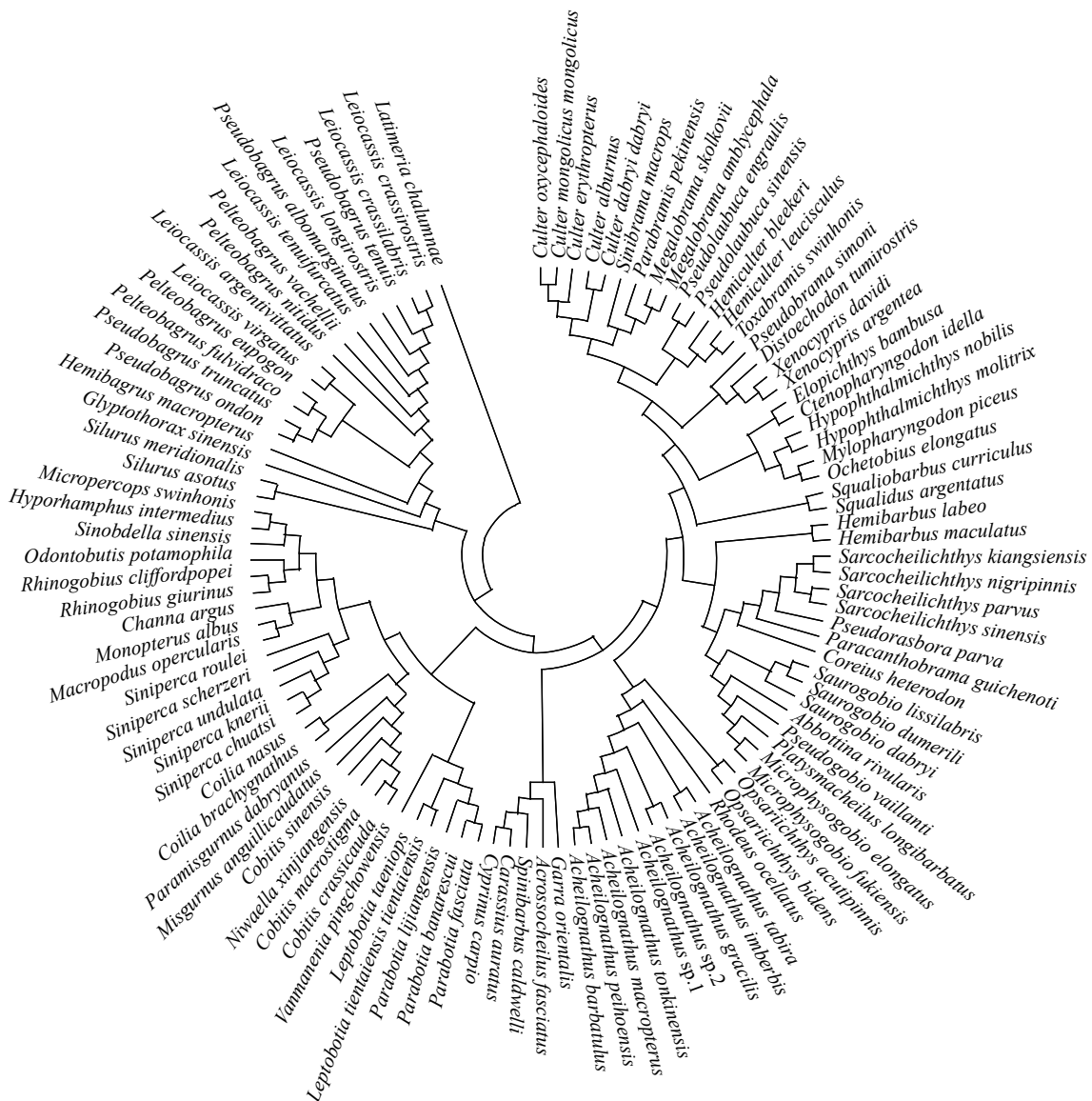


图4 鄱阳湖区域鱼类系统发育树

Fig. 4 Phylogeny of fish assemblages in the Poyang Lake Basin

表 5 鄱阳湖区域24个采样点净亲缘关系指数(NRI)

Tab. 5 Net relatedness index (NRI) of fish assemblages of the 24 survey sites from the Poyang Lake Basin

采样点 Site	MPD平均随机值 MPD randomization	MPD观测值 MPD observed	标准 差SD	净亲缘关系 指数NRI	采样点 Site	MPD平均随机值 MPD randomization	MPD观测值 MPD observed	标准 差SD	净亲缘关系 指数NRI
s1	0.2314	0.2332	0.0049	-0.3709	s13	0.2190	0.1950	0.0107	2.2325
s2	0.2216	0.1932	0.0093	3.0471	s14	0.2226	0.2164	0.0086	0.7175
s3	0.2161	0.1501	0.0207	3.1887	s15	0.2233	0.2117	0.0079	1.4615
s4	0.2254	0.2167	0.0072	1.2161	s16	0.2257	0.2143	0.0073	1.5595
s5	0.2285	0.2320	0.0059	-0.5888	s17	0.2207	0.2227	0.0102	-0.2030
s6	0.2249	0.2111	0.0075	1.8521	s18	0.2206	0.2223	0.0095	-0.1711
s7	0.2287	0.2426	0.0060	-2.2913	s19	0.2306	0.2283	0.0051	0.4541
s8	0.2228	0.2167	0.0082	0.7458	s20	0.2217	0.2407	0.0092	-2.0604
s9	0.2184	0.2354	0.0121	-1.4018	s21	0.2180	0.2424	0.0135	-1.8040
s10	0.2218	0.2068	0.0088	1.6984	s22	0.2296	0.2273	0.0055	0.4245
s11	0.2236	0.2342	0.0081	-1.3116	s23	0.2170	0.2489	0.0172	-1.8567
s12	0.2213	0.2350	0.0087	-1.5668	s24	0.2173	0.2734	0.0218	-2.5709

表 6 鄱阳湖区域不同空间尺度净亲缘关系指数(NRI)

Tab. 6 Net relatedness index (NRI) with different spatial scales of fish assemblages of the Poyang Lake Basin

空间尺度Spatial scale	MPD平均随机值 MPD randomization	MPD观测值 MPD observed	标准差 SD	净亲缘关系 指数 NRI
湖区3个群组、支流群3 lake groups and tributary group				
北方群The Northern group	0.2370	0.2402	0.0025	-1.3205
东部群The Eastern group	0.2308	0.2346	0.0052	-0.7347
南方群The Southern group	0.2327	0.2219	0.0045	2.4204
修水群The Xiushui group	0.2339	0.2350	0.0040	-0.2685
湖区群/支流群Lake group/tributary group				
鄱阳湖湖区The Poyang Lake group	0.2378	0.2386	0.0019	-0.4135
修水群The Xiushui River group	0.2361	0.2350	0.0029	0.3974

道,许多河流洄游性鱼类、江湖半洄游性鱼类自长江通过通江水道进入鄱阳湖育肥,因此北方群物种数显著高于其他区域^[46, 47]。

3.2 鄱阳湖鱼类群落构成机制

采样点尺度 系统发育群落结构的原理认为,若某一区域环境条件较为特殊,使得组成群落的物种为适应该环境的近缘物种,则群落的构成机制表现为环境过滤作用;若该区域环境条件的压力相对较小,则群落中可以包含远缘物种,群落的构成机制表现为竞争作用^[48]。在本研究中,s6、s8、s13、s14、s15和s16等采样点鱼类群落系统发育结构聚集,表现为环境过滤作用。这些采样点环境相对于湖区其他采样点要更为特殊,如s13采样点为

赣江、抚河和信江三江汇入鄱阳湖处,s14为信江流入鄱阳湖的入湖口,s6和s8采样点为赣江流入鄱阳湖的入湖口,s2—s4采样点为鄱阳湖通江水道,河道及支流入湖口水流流速相对较大,环境条件相对特殊,使得仅适应该环境条件的物种得以共存,群落的构成机制表现为环境过滤作用^[46, 47]。而鄱阳湖支流修水采样点(s20—s24)及主湖区部分采样点(s7、s9、s11、s12)鱼类群落系统发育结构表现为发散,物种间的竞争作用主导群落构建。修水采样点表现为竞争作用主导群落的构成,可能与下游柘林水库的修建相关,阻隔了一些近缘种的洄游。这些采样点环境压力相对较小,群落内容纳了亲缘关系较远的远缘物种。许多远缘物种食性相似,例如,黄颡鱼与鲃类等均为肉食性鱼类,以水生昆虫、小型鱼类和虾为食^[24, 26]。食物的重叠使得物种间表现了较强的竞争作用。

区间尺度 在区间分析的尺度下,北方群、东部群及修水群鱼类群落系统发育结构发散,群落构建表现为竞争作用。反映出这些区域由于空间异质性高,环境容量大,容纳了较多的远缘物种。特别是北方群,由于与长江干流的交流,物种丰富,群落构建为竞争作用。

南方群鱼类群落的系统发育结构聚集,群落构建表现为环境过滤作用。这主要是因为这一区域的物种相对较少,物种进行的交流也相对较少,主要表现为对湖泊及南方支流环境的适应。

进一步扩大尺度,即将所有群落划分为鄱阳湖湖区群和修水群的情况下,湖区群鱼类群落的系统发育结构发散,群落构建表现为竞争作用。同样地,这是由于鄱阳湖主湖区空间异质性高,环境容量大,

容纳了较多的远缘物种,所以群落的构建表现为竞争作用。值得注意的是,在区间分析的尺度上,修水群鱼类群落表现为竞争作用主导群落构建;在湖区及支流流域的尺度上,修水群鱼类群落转变为环境过滤作用主导群落构建。这是因为,在进行区间分析的尺度分析时,修水群空间异质性相对较高,容纳了较多的远缘物种,相对表现为竞争作用。在进行湖区及支流流域的尺度分析时,与鄱阳湖湖区相比,修水群的环境相对特殊,鱼类物种组成也没有湖区的物种广泛,所以在湖区及支流流域的尺度上,修水群表现为环境过滤作用主导群落的构建。

采用群落系统发育分析方法探讨鱼类群落构建机制的研究工作还不是很多。Hubert等^[49]分析了印度洋及太平洋3个岛屿的14个采样点珊瑚礁鱼类的群落构建机制。结果发现,在地区采样点尺度下(Local scale),14个采样点内部,群落构成机制为中性随机作用;在区域尺度下(Regional scale),不同岛屿珊瑚礁鱼类群落构建机制为竞争排斥作用。基于5个采样点的数据(宜昌、荆州、枝江、汉南和湖口),杨婷越等^[50]分析了长江中游干流不同尺度鱼类群落的构建机制,发现在采样点尺度下,荆州江段鱼类群落构建机制为竞争作用,其余4个采样点均表现为环境过滤作用;在区域尺度下,宜昌江段为一个区域,鱼类群落构建机制仍然为环境过滤作用,其余4个采样点为一个区域,群落构建机制为竞争作用,特别是枝江、汉南和湖口3个采样点,在扩大尺度后鱼类群落构建机制发生转变,由环境过滤作用转变为竞争排斥作用。这种变化反映出在不同的尺度进行分析时,物种的生态学作用是不同的。因此,生态学的研究需要关注不同尺度下的规律表现,进行综合、全面的考量。

本研究发现,鄱阳湖鱼类群落构建机制表现了环境因子和空间尺度的共同作用,空间异质性强,物种交流广泛,群落表现为竞争作用;环境因子特别,交流受限制,群落表现为环境过滤作用。同样的群落,在不同的空间尺度分析时,群落的构建机制可能发生变化。本文的结果发现,鄱阳湖的南方群、北方群和支流修水等鱼类群落具有不同的物种组成和群落构建机制。这些结果对于理解群落的构建机制有重要作用,给未来鄱阳湖鱼类的保护也可以提供参考。例如要维持鄱阳湖与长江之间的联通,维护不同区域的环境特性等。特别是环境过滤作用起主导因素的区域,例如一些支流的河口区域,要特别谨慎考虑水利工程建设、湖岸改造等人类活动对鱼类的影响。

参考文献:

- [1] Chave J. Competition, Neutrality, and Community Organization [M]//Levin S A, Carpenter S R, Godfray H C J, *et al* (Eds.), *The Princeton Guide to Ecology*. Princeton University Press, 2012: 264-273.
- [2] Holt R D. Species Coexistence [C]//Levin S A (Eds.), *Encyclopedia of Biodiversity*. 2nd ed. Beijing: Science Press. 2013(5): 667-678.
- [3] Tilman D. Niche tradeoffs, neutrality, and community structure: a stochastic theory of resource competition, invasion, and community assembly [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2004, **101**(30): 10854-10861.
- [4] Weiher E, Keddy P A. Assembly rules, null models, and trait dispersion: new questions from old patterns [J]. *Oikos*, 1995, **74**(1): 159.
- [5] Kraft N J B, Ackerly D D. Functional trait and phylogenetic tests of community assembly across spatial scales in an Amazonian forest [J]. *Ecological Monographs*, 2010, **80**(3): 401-422.
- [6] Hubbell S P. *The Unified Neutral Theory of Biodiversity and Biogeography* [M]. Princeton: Princeton University Press, 2001: 152-200.
- [7] Vandermeer J H. Niche theory [J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1972, **3**(1): 107-132.
- [8] Bazzaz F A, Coleman J S, Morse S R. Growth responses of seven major co-occurring tree species of the northeastern United States to elevated CO₂ [J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 1990, **20**(9): 1479-1484.
- [9] Webb C O, Ackerly D D, McPeck M A, *et al*. Phylogenies and community ecology [J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 2002, **33**(1): 475-505.
- [10] Huang J X, Zheng F Y, Mi X C. Influence of environmental factors on phylogenetic structure at multiple spatial scales in an evergreen broad-leaved forest of China [J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, **34**(3): 309-315. [黄建雄, 郑凤英, 米湘成. 不同尺度上环境因子对常绿阔叶林群落的谱系结构的影响 [J]. *植物生态学报*, 2010, **34**(3): 309-315.]
- [11] Kraft N J B, Cornwell W K, Webb C O, *et al*. Trait evolution, community assembly, and the phylogenetic structure of ecological communities [J]. *The American Naturalist*, 2007, **170**(2): 271-283.
- [12] Gong X. The research of community assembly along a slope aspect gradient in an alpine meadow based in community phylogeny [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2016: 4-7. [宫晓. 基于群落系统发育对沿坡向梯度上亚高寒草甸群落构建的分析 [D]. 兰州: 兰州大学, 2016: 4-7.]
- [13] Groom M J, Meffe G K, Carroll C R, *et al*. *Principles of Conservation Biology* [M]. Sunderland: Sinauer Associates Sunderland, 2006: 293-332.

- [14] Zhu H H, Zhang B. Poyang Lake: Hydrology, Biology, Sediment, Wetland, Development and Management [M]. Hefei: China Science and Technology Press, 1997: 3-15. [朱海虹, 张本. 鄱阳湖: 水文、生物、沉积、湿地、开发治理 [M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1997: 3-15.]
- [15] Zhang T L, Li Z J. Fish resources and fishery utilization of Lake Poyang [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2007, **19**(4): 434-444. [张堂林, 李钟杰. 鄱阳湖鱼类资源及渔业利用 [J]. *湖泊科学*, 2007, **19**(4): 434-444.]
- [16] Zhang B. The hydrological features and the renovative strategy of the Poyang Lake [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 1993, **2**(1): 36-42. [张本. 鄱阳湖一些水文特征和整治战略 [J]. *长江流域资源与环境*, 1993, **2**(1): 36-42.]
- [17] Yin Z X, Zhang J C. The hydrological features of Poyang Lake (I) [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1987, **18**(1): 22-27. [尹宗贤, 张俊才. 鄱阳湖水文特征(I) [J]. *海洋与湖沼*, 1987, **18**(1): 22-27.]
- [18] Zeng S L, Lai G Y, Yang T. Relationship between water level and area based on water fluctuating in Poyang Lake [J]. *Journal of China Hydrology*, 2019, **39**(3): 46-51. [曾少龙, 赖格英, 杨涛. 从涨退水看鄱阳湖水位-湖面面积关系 [J]. *水文*, 2019, **39**(3): 46-51.]
- [19] Hu Y T. Morphological, genetic differentiation and community ecological process of fish in different ecological type from Poyang Lake [D]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, 2012: 15-17. [胡玉婷. 鄱阳湖不同生态类型鱼类的形态、遗传分化及鱼类群落生态过程 [D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 2012: 15-17.]
- [20] Zhu Q G. Study on variation of fish community structure in Poyang lake channel in summer and autumn and the otolith and growth of juvenile domestic Chinese carps [D]. Nanchang: Nanchang University, 2011: 1-2. [朱其广. 鄱阳湖通江水道鱼类夏秋季群落结构变化和四大家鱼幼鱼耳石与生长的研究 [D]. 南昌: 南昌大学, 2011: 1-2.]
- [21] Hu M L, Wu Z Q, Liu Y L. Fish diversity and community structure in Hukou area of Lake Poyang [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2011, **23**(2): 246-250. [胡茂林, 吴志强, 刘引兰. 鄱阳湖湖口水域鱼类群落结构及种类多样性 [J]. *湖泊科学*, 2011, **23**(2): 246-250.]
- [22] Chen W J, Zhang Y P, Zhao C L, *et al.* Species composition and biodiversity of fish community in Hukou section of the Yangtze River [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2012, **21**(6): 684-691. [陈文静, 张燕萍, 赵春来, 等. 近年长江湖口江段鱼类群落组成及多样性 [J]. *长江流域资源与环境*, 2012, **21**(6): 684-691.]
- [23] Hu M L, Wu Z Q, Liu Y L. Time course of the juvenile major Chinese carps in the Hukou waters of Poyang Lake [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2011, **20**(5): 534-539. [胡茂林, 吴志强, 刘引兰. 鄱阳湖湖口水域四大家鱼幼鱼出现的时间过程 [J]. *长江流域资源与环境*, 2011, **20**(5): 534-539.]
- [24] Chen Y Y. Fauna Sinica, Osteichthyes, Cypriniformes II [M]. Beijing: Science Press, 1998: 1-454. [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: 1-454.]
- [25] Yue P Q. Fauna Sinica, Osteichthyes, Cypriniformes III [M]. Beijing: Science Press, 2000: 1-567. [乐佩琦. 中国动物志-硬骨鱼纲-鲤形目 下卷 [M]. 北京: 科学出版社, 2000: 1-567.]
- [26] Chu X L, Zheng B S, Dai D Y. Fauna Sinica, Osteichthyes: Siluriformes [M]. Beijing: Science Press, 1999: 1-191. [褚新洛, 郑葆珊, 戴定远. 中国动物志-硬骨鱼纲-鲇形目 [M]. 北京: 科学出版社, 1999: 1-191.]
- [27] Zhang S Y. Fauna Sinica, Osteichthyes, Acipenseriformes, Elopiformes, Clupeiformes, Gonorhynchiformes [M]. Beijing: Science Press, 2001: 1-164. [张世义. 中国动物志-硬骨鱼纲-鲟形目海鲢目鲱形目鼠鲮目 [M]. 北京: 科学出版社, 2001: 1-164.]
- [28] Wu H L, Zhong J S. Fauna Sinica, Osteichthyes: Perciformes V: Gobioidae [M]. Beijing: Science Press, 2007: 1-785. [伍汉霖, 钟俊生. 中国动物志-硬骨鱼纲-鲈形目(五)-虾虎鱼亚目 [M]. 北京: 科学出版社, 2007: 1-785.]
- [29] Zhang C G, Zhao Y H. Species Diversity and Distribution of Inland Fishes in China [M]. Beijing: Science Press, 2016: 44-216. [张春光, 赵亚辉. 中国内陆鱼类物种与分布 [M]. 北京: 科学出版社, 2016: 44-216.]
- [30] Nelson J S, Grande T C, Wilson M V H. Fishes of the World [M]. 5th ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2016: 1-526.
- [31] Liu F. Fish community ecology in the Chishui River [D]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, 2013: 22-28. [刘飞. 赤水河鱼类群落生态学研究 [D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 2013: 22-28.]
- [32] Clarke K R, Gorley R N, Somerfield P J, *et al.* Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation [CP]. Plymouth: Primer-E Ltd, 2014: 1-14.
- [33] Oksanen J, Kindt R, Legendre P, *et al.* The vegan Package [CP]. 2009: 272-276..
- [34] Singh K P, Malik A, Sinha S. Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Gomti river (India) using multivariate statistical techniques—a case study [J]. *Analytica Chimica Acta*, 2005, **538**(1-2): 355-374.
- [35] Aljanabi S M, Martinez I. Universal and rapid salt-extraction of high quality genomic DNA for PCR-based techniques [J]. *Nucleic Acids Research*, 1997, **25**(22): 4692-4693.
- [36] Xiao W H, Zhang Y P, Liu H Z. Molecular systematics of Xenocyprinae (Teleostei: Cyprinidae): taxonomy, biogeography, and coevolution of a special group restricted in

- East Asia [J]. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 2001, **18**(2): 163-173.
- [37] Palumbi S R, Martin A P, Romano S L, *et al.* The Simple Fool's Guide to PCR [M]. Honolulu: University of Hawaii Press, 1991: 1-18.
- [38] Thompson J. The CLUSTAL_X windows interface: flexible strategies for multiple sequence alignment aided by quality analysis tools [J]. *Nucleic Acids Research*, 1997, **25**(24): 4876-4882.
- [39] Kumar S, Stecher G, Li M, *et al.* MEGA X: molecular evolutionary genetics analysis across computing platforms [J]. *Molecular Biology and Evolution*, 2018, **35**(6): 1547-1549.
- [40] Webb C O. Exploring the phylogenetic structure of ecological communities: an example for rain forest trees [J]. *The American Naturalist*, 2000, **156**(2): 145-155.
- [41] Kembel S W, Cowan P D, Helmus M R, *et al.* Picante: R tools for integrating phylogenies and ecology [J]. *Bioinformatics*, 2010, **26**(11): 1463-1464.
- [42] Kembel S W, Ackerly D D, Blomberg S P, *et al.* Picante: integrating phylogenies and ecology [CP]. 2018: 17-18.
- [43] Guo Z Z, Zou D L, Liu R L, *et al.* Fish survey report of Poyang Lake [J]. *Journal of Nanchang University (Natural Science)*, 1964: 121-130. [郭治之, 邹多禄, 刘瑞兰, 等. 鄱阳湖鱼类调查报告 [J]. 南昌大学学报(理科版), 1964: 121-130.]
- [44] Guo Z Z, Liu R L. Fish study in Jiangxi province [J]. *Journal of Nanchang University (Natural Science)*, 1995, **19**(3): 222-232. [郭治之, 刘瑞兰. 江西鱼类的研究 [J]. 南昌大学学报(理科版), 1995, **19**(3): 222-232.]
- [45] Yang S R, Li M Z, Zhu Q G, *et al.* Spatial and temporal variations of fish assemblages in Poyanghu Lake [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2015, **24**(1): 54-64. [杨少荣, 黎明政, 朱其广, 等. 鄱阳湖鱼类群落结构及其时空动态 [J]. 长江流域资源与环境, 2015, **24**(1): 54-64.]
- [46] Chang J B, Cao W X. Fishery significance of the river-communicating lakes and strategies for the management of fish resources [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 1999, **8**(2): 153-157. [常剑波, 曹文宣. 通江湖泊的渔业意义及其资源管理对策 [J]. 长江流域资源与环境, 1999, **8**(2): 153-157.]
- [47] He G, Fang C L, Chen W J, *et al.* Community structure and diversity of fish at Pingfeng section in Poyang lake channel [J]. *Jiangxi Fishery Science and Technology*, 2016(4): 3-6, 9. [贺刚, 方春林, 陈文静, 等. 鄱阳湖通江水道屏峰段鱼类群落结构及多样性 [J]. 江西水产科技, 2016(4): 3-6, 9.]
- [48] Webb C O, Losos J B, Agrawal A A. Integrating phylogenies into community ecology [J]. *Ecology*, 2006, **87**(7): 1-2.
- [49] Hubert N, Paradis E, Bruggemann H, *et al.* Community assembly and diversification in Indo-Pacific coral reef fishes: evolution of coral reef fish communities [J]. *Ecology and Evolution*, 2011, **1**(3): 229-277.
- [50] Yang T Y, Yu D, Gao X, *et al.* Analysis on mechanism of fish community assembly in middle reaches of the Yangtze River [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2020, **44**(5): 1045-1054. [杨婷越, 俞丹, 高欣, 等. 长江中游干流鱼类群落构建机制分析 [J]. 水生生物学报, 2020, **44**(5): 1045-1054.]

FISH PHYLOGENETIC COMMUNITY STRUCTURE IN THE POYANG LAKE AND ITS TRIBUTARY THE XIUSHUI RIVER IN SUMMER

ZHANG Xu^{1,2}, YANG Ting-Yue^{2,3}, LUO Xiao-Hong⁴, YUAN Chun-Ying¹ and LIU Huan-Zhang²

(1. College of Marine and Environmental Sciences, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China; 2. The Key Laboratory of Aquatic Biodiversity and Conservation, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 4. Jing'an County Agriculture and Rural Bureau of Jiangxi Province, Yichun 330600, China)

Abstract: Community assembly mechanisms and species coexistence have long been central in ecological studies. Up to now, 3 mechanisms of community assembly have been proposed: neutral assembly, competitive exclusion and habitat filtering. Neutral mechanism emphasizes that all species in a community are equivalent ecologically, and the species composition in communities are determined by their random processes and dispersal limitation. Competition exclusion holds that species with similar or overlapping niches cannot coexist stably for a long time, because strong interactions among species would result in niche differentiation, leading to the species constituting a community showing character differentiation. Habitat filtering holds that the local environmental conditions are usually very special, which make only the species adapted to the environment can exist. In recent years, the analysis of phylogenetic community structure provides a new and useful method for exploring mechanisms of community assembly. The Poyang Lake is the largest

freshwater lake in China, and one of the 3 only lakes which still have natural connection to main stream of the Yangtze River. Therefore, investigation of fish community assembly mechanisms in the Poyang Lake is of great significance to understanding origin and maintenance of the biodiversity in the Yangtze River basin. In the present study, we selected 24 sites to collect fish samples in Poyang Lake and its tributary, the Xiushui River, between July and September 2018. Fishes were collected by various methods, including fishing and market survey. Specimens were fixed in 10% formalin and transferred to 75% ethanol for final preservation. All specimens were identified to species by morphological and molecular systematic characters. Cluster analysis was carried out to explore community structure according to the presence-absence data of fish species in each sampling site. Combining the results of cluster analysis and fish spatial distribution for each sampling site, the fish communities in Poyang Lake were classified to identify subgroups. Genomic DNA was extracted from muscle samples using the high salt method. Universal primers L14724/H15915 and some specific primers were used to amplify and sequence *cyt b* gene through polymerase chain reaction. According to the 900 bp segment corresponding to the *cyt b* gene, the genetic distance among species was calculated by MEGA X. Phylogenetic community structures of fish species in different sampling sites and regions were analyzed based on the genetic distance and presence-absence data of fish species in each sampling site by the package *picante* in R, to explore the fish community assembly mechanism at different spatial scales. A total of 106 species were collected during the study period, which belonged to 8 orders, 15 families and 60 genera. Among them, Clupeiformes comprised 2 species; Cypriniformes 72 species; Siluriformes 18 species; Beloniformes 1 species; Synbranchiformes 2 species; Gobiiformes 4 species; Anabantiformes 2 species; Perciformes 2 species. Among the 60 species, Cyprinidae is the main group, accounting for 56.6% of the total species. These species showed the compositional characteristics of river-lake fish fauna of East Asian region. A total of 86 fish species were collected in the lake area, which showed a decrease in species richness compared with several surveys of fish resources in the Poyang Lake in the past 60 years. However, compared with the 72 species recorded in the survey in 2010, the species richness of fish in the Poyang Lake was increasing. According to the species composition and spatial distribution, the fish communities of the Poyang Lake Basin can be divided into the Poyang group and the Xiushui group. The fish communities of the Poyang group can be further divided into three sub-groups: the Northern group, the Southern group and the Eastern group. In the analysis of phylogenetic community structure, the fish communities of 12 survey sites were driven by habitat filtering at the local scale, where the sampling sites were close to the tributary estuary and with special environmental conditions; while the fish communities in the other 12 sites were driven by competition, because they contained more far-related species. At the regional scale, the fish communities of the Northern group, the Eastern group and the Xiushui group were structured by competitive exclusion, while fish communities of the Southern group were structured by environmental filtering. At the scale between lake and tributary, the fish communities of the Poyang Lake group were structured by competitive exclusion, while fish communities of the Xiushui group structured by environment filtering. In the present study, species composition and community assembly mechanisms of the fish communities of the Northern group, the Southern group, the Eastern group and the Xiushui group were different, indicating that the fish communities in different regions of the Poyang Lake were affected by different factors. In overall, the different assembly mechanisms of fish communities revealed by the present study showed that community species composition was shaped by both environmental factors and spatial scale. We believe that our results will be useful for understanding of community assembly mechanisms and may provide a theoretical basis for fish conservation in the Poyang Lake Basin.

Key words: Community assembly mechanism; Competitive exclusion; Habitat filtering; the Poyang Lake Basin

续表 1

目	科	属	种	拉丁名	湖口s1	星子县s2	蚌湖s3	老爷庙s4	吴城镇s5	伍湖分场s6	都昌s7	南矶山s8	西源乡s9	白沙洲s10	莲湖s11	大莲湖子湖s12	三江口s13	瑞洪镇s14	金溪湖s15	青岚湖s16	塔城乡s17	黄金埠s18	永修s19	铜鼓s20	棋坪s21	修水s22	古市s23	全丰s24
				<i>L. tientaiensis</i>																				+				
				<i>tientaiensis</i>																								
		泥鳅属		<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	+		+	+	+		+			+		+		+			+	+	+			+	+	+
		后鳍花鳅属		信江后鳍花鳅 <i>Niwaella xinjiangensis</i>																			+					
		副沙鳅属		武昌副沙鳅 <i>P. banarensis</i>	+																							
				花斑副沙鳅 <i>Parabotia fasciata</i>	+		+	+	+					+		+		+										
				滴江副沙鳅 <i>P. lijiangensis</i>					+																			
		副泥鳅属		大鳞副泥鳅 <i>Paramisgurnus dabryanus</i>	+						+											+						
		原缨口鳅属		平舟原缨口鳅 <i>Vanmanenia pingchowensis</i>																			+				+	
鲇形目	鲇科	鲇属		<i>Silurus asotus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+				
				大口鲇 <i>S. meridionalis</i>																								
		鲢科		大鲢 <i>Hemibagrus macropterus</i>	+																	+				+	+	+
				纵带鲢 <i>Leiocassis argenteivittatus</i>					+																			
				粗唇鲢 <i>L. crassilabris</i>	+				+		+																	
				钝吻鲢 <i>L. crassirostris</i>																						+		
				长吻鲢 <i>L. longirostris</i>	+																							
				叉尾鲢 <i>L. tenuifurcatus</i>																								
				条纹鲢 <i>Leiocassis virgatus</i>	+		+		+		+																	
		黄颡鱼属		长须黄颡鱼 <i>Pelteobagrus eupogon</i>	+				+					+	+	+	+		+	+	+	+						
				黄颡鱼 <i>P. fulvidraco</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+
				光泽黄颡鱼 <i>P. nitidus</i>	+	+	+	+	+		+	+		+	+	+	+		+	+	+							

续表 1

目 Order	科 Family	属 Genus	种 Species	拉丁名 Latin name	湖口s1	星子县s2	蚌湖s3	老爷庙s4	吴城镇s5	伍湖分场s6	都昌s7	南矶山s8	西源乡s9	白沙洲s10	莲湖s11	大莲湖s12	三江口s13	瑞洪镇s14	金溪湖s15	青岚湖s16	塔城乡s17	黄金埠s18	永修s19	铜鼓s20	棋坪s21	修水s22	古市s23	全丰s24
			瓦氏黄颡鱼	<i>P. vachellii</i>	+	+									+							+						
		拟鲮属	白边拟鲮	<i>Pseudobagrus alboniger</i>	+				+								+	+				+			+			
			盍堂拟鲮	<i>P. ondon</i>																	+							
			圆尾拟鲮	<i>P. tenuis</i>						+										+								
			切尾拟鲮	<i>P. truncatus</i>																						+		
	鲃科	纹胸鲃属	中华纹胸鲃	<i>Glyptothorax sinensis</i>																		+						
		下鲃属	间下鲃	<i>Hyporhamphus intermedius</i>					+	+					+				+									
颌针鱼目	鲃科	黄鲃属	黄鲃	<i>Monopterus albus</i>	+					+					+													+
合鰓鱼目	刺鲃科	中华刺鲃属	中华刺鲃	<i>Sinobdella sinensis</i>	+			+	+	+					+					+			+					
鰟鱼目	沙塘鳢科	小鰟鱼属	小鰟鱼	<i>Microperca ps swinhonis</i>						+																		
		沙塘鳢属	河川沙塘鳢	<i>Odontobutis potamophila</i>					+								+											
		吻鰟虎属	波氏吻鰟虎	<i>Rhinogobius cliffordpopei</i>					+														+					
			子陵吻鰟虎	<i>R. giurinus</i>	+				+	+	+	+	+	+	+				+		+	+	+	+	+	+		
攀鲈目	丝足鲈科	斗鱼属	叉尾斗鱼	<i>Macropodus opercularis</i>					+		+				+								+					
		鲃属	乌鲃	<i>Channa argus</i>	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+				+			+	+	+	+	+		
鲃形目	鲃科	鲃属	鲃	<i>Siniperca chuatsi</i>	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+				+			+	+	+	+	+		
			大眼鲃	<i>S. kneri</i>																						+		
			长身鲃	<i>S. roulei</i>																					+	+		
			斑鲃	<i>S. scherzeri</i>																		+			+	+		
小计			波纹鲃	<i>S. undulata</i>	56	31	10	40	48	39	48	34	22	32	36	31	25	33	36	40	28	29	54	32	20	51	12	9