

doi: 10.7541/2022.2021.0300

江湖阻隔对长江中下游湖泊鱼类群落分类多样性的影响

尚坤钰^{1,2} 姜明^{2,3} 林鹏程² 刘焕章²

(1. 华中农业大学水产学院, 武汉 430070; 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. 大连海洋大学水产与生命学院, 大连 116023)

摘要: 基于1950s以来的长江中下游湖泊鱼类调查数据, 分析通江湖泊与阻隔湖泊的鱼类分类多样性差异, 以及通江和阻隔湖泊鱼类分类多样性的时间序列变化, 探讨江湖阻隔对鱼类多样性的影响。结果显示, 阻隔湖泊鱼类物种数、平均分类差异指数(Δ^+)和分类差异变异指数(Λ^+)平均值分别为 48.47 ± 14.64 、 74.02 ± 3.09 和 736.89 ± 33.80 ; 通江湖泊为 76.22 ± 14.40 、 78.31 ± 0.98 和 697.31 ± 25.53 。阻隔湖泊物种数和 Δ^+ 值显著低于通江湖泊($P < 0.001$), 而阻隔湖泊 Λ^+ 值显著高于通江湖泊($P = 0.002$), 表明阻隔湖泊物种间亲缘关系更近, 均匀度下降, 即物种分类单元减少, 且集中分布于某几个分类阶元, 稳定性变差。典型通江与阻隔湖泊鱼类群落分类多样性的时间变化分析发现, 两种类型湖泊的鱼类物种数和 Δ^+ 值均随时间推移整体呈现下降趋势, Λ^+ 值整体呈现升高趋势; 并且阻隔湖泊的 Λ^+ 值随阻隔时间增加而大幅上升, Δ^+ 和 Λ^+ 值随时间变化多在95%置信区间之外。这表明通江湖泊也受到各种扰动影响, 导致鱼类资源整体衰退, 分类多样性下降; 但阻隔湖泊影响更显著, 稳定性更差。基于上述结果, 建议恢复阻隔湖泊与长江的连通性; 通过水环境治理改善鱼类栖息地质量; 科学调整阻隔湖泊鱼类群落结构, 放流江湖洄游型鱼类, 增加物种多样性。

关键词: 分类多样性; 通江湖泊; 阻隔湖泊; 时间变化; 鱼类群落

中图分类号: S932.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-3207(2023)01-0133-14



长江是我国最长的河流, 其中下游是我国浅水湖泊分布最集中、最具代表性的地区, 面积在 1 km^2 以上的湖泊651个^[1], 它们在历史上曾与长江干流或支流相通, 构成了一个复杂的江湖复合生态系统^[2]。江湖复合生态系统是全球最多样化和最复杂的生态系统之一, 有着高度的水生生物多样性, 并为人类提供丰富的自然资源^[3-5]。然而, 江湖复合生态系统是受人为干扰最严重的生态系统之一, 严重的外界扰动导致水体环境急剧恶化以及生物多样性丧失^[6-8]。

自20世纪50年代以来, 沿江地区普遍开展水利工程建设, 除鄱阳湖和洞庭湖等少数湖泊外, 其余大小附属湖泊均因修建堤闸节制洪水等, 形成江湖阻隔的局面, 湖泊和河流生态系统的有机联系遭到

破坏, 导致江湖洄游性和河海洄游性鱼类成为偶见类群, 鱼类生物多样性大大降低, 长江中下游湖泊鱼类资源状况已不容乐观^[9-12]。因此恢复长江中下游湖泊鱼类多样性, 保护渔业资源尤为重要。

传统的多样性指数(Shannon Wiener多样性指数、Margalef物种丰富度指数、Pielous均匀度指数等)在研究鱼类群落及其变化方面有着广泛的应用^[13-16], 这些指数主要反映群落内的物种数和物种间数量分布的均匀度^[17, 18]。但是, 这些指数仅能反映出该生物群落多样性的总体水平, 未考虑不同物种之间的亲缘关系、进化历史, 不能有效灵敏地评估人为干扰对生物多样性的影响^[19]。此外, 功能多样性主要描述群落物种间功能性状的整体差别及多样性, 但功能性状的选择和测定具有较强的主观性和随

收稿日期: 2021-10-30; 修订日期: 2022-07-18

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFD0900806); 中国科学院特色研究所项目(Y85Z051); 中国长江三峡集团公司项目(201903144); 国家自然科学基金青年基金(31801982); 中国生物多样性监测与研究网络内陆水体鱼类多样性监测专项网资助 [Supported by the National Key R & D Program of China (2018YFD0900806); the Programme for Feature Institute of Chinese Academy of Sciences (Y85Z051); the Research Program of China Three Gorges Corporation (201903144); the National Natural Science Foundation of China (31801982); SINO BON-Inland Water Fish Diversity Observation Network]

作者简介: 尚坤钰(1996—), 男, 硕士研究生; 主要从事鱼类生态学研究。E-mail: 15127315124@163.com

通信作者: 刘焕章(1966—), 男, 博士, 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

机性,导致功能性状的分析存在重复性差或不全面等问题^[20, 21]。要完整体现群落的生物多样性,不仅要将其群落结构复杂性考虑在内,还需要关注不同生物群落中各物种之间的进化和亲缘关系^[22, 23]。

20世纪90年代,国外学者提出分类多样性指数用于度量和解释群落中种间形态关系的差异,以种间分类关系的路径长度作为依据,量化群落的分类多样性和分类差异性^[24, 25]。常用的分类多样性指数为分类学差异性指数:平均分类差异指数(Average taxonomic distinctness index, Δ^+)和分类差异变异指数(Variation in taxonomic distinctness index, Λ^+),其不依赖于取样方法和采样力度,并考虑了物种间的亲缘关系,更侧重于反映生物功能多样性^[26, 27]。这两个指数在反映动物群落是否受到干扰时,比传统的多样性指数灵敏度更高,这对于开展不同区域、不同生境间和不同历史时期数据的对比研究具有重要意义^[24—28]。21世纪以来,国内外学者将分类学差异性指数广泛应用于海洋鱼类^[19, 29—31]、大型底栖动物^[32—35]和甲壳类^[36, 37]等生物类群的研究,也应用于环境评价和生物保护中,如底栖动物群落、大型藻类群落和浮生水螭组合等^[38—40]。特别是其采用有-无类型的数据用于数据分析,可以一定程度上减小采样差异的影响。目前,国内利用平均分类差异指数(Δ^+)和分类差异变异指数(Λ^+)分析淡水湖泊鱼类生物多样性的研究需要加强^[41, 42]。

本研究系统地收集了长江中下游湖泊1950s以来公开发表的鱼类数据,通过分析长江中下游湖泊鱼类群落分类多样性指数的差异,探讨江湖阻隔对湖泊鱼类分类多样性的影响,比较典型通江和阻隔湖泊的分类多样性时间变化,从而为湖泊生物多样性保护以及渔业资源科学管理提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域

本研究集中于长江中下游的代表性湖泊。长江中下游地区属于亚热带季风气候,四季分明,年平均气温15—20℃,年平均降水量大于1000 mm^[43]。长江中下游分布着数百个平均水深小于3 m的浅水湖泊,这些湖泊在历史时期均与长江干流相通。20世纪50—70年代,长江大部分湖泊由于修建堤防和闸门切断了与长江的连通,湖泊水文连通性减弱或消失。在湖泊与长江连通性丧失的同时,湖泊水生生物资源过度利用,水体环境恶化,导致阻隔的湖泊水生生物资源急剧减少,生物多样性降低^[41, 44, 45]。

1.2 数据来源

以正式发表的学术论文和专著为主,本研究共

收集整理了长江中下游46个湖泊的65组数据,鱼类数据调查时间、是否通江等信息见表1。本研究共记录鱼类155种,隶属于11目,25科,85属。所研究湖泊中鄱阳湖、洞庭湖、梁子湖、洪泽湖和洪湖分别有3、3、4、5和5个时期的调查数据。这些湖泊有广泛的代表性,同时有较好的研究基础。

基于鄱阳湖和洞庭湖2个目前依然通江和洪泽湖等历史上的7个通江湖泊,以及涨渡湖、保安湖和东湖等43个阻隔湖泊的调查数据,应用分类多样性指数分析通江湖泊与阻隔湖泊鱼类分类多样性差异。通过分析通江湖泊(鄱阳湖和洞庭湖)、阻隔湖泊或原为通江湖泊(梁子湖、洪泽湖和洪湖)鱼类分类多样性时间变化,探讨通江湖泊和阻隔湖泊鱼类群落分类多样性随时间变化的表现。

为了尽可能全面了解长江中下游湖泊鱼类物种的分布状况及江湖阻隔对其影响,我们依据多年公开发表的文献调查记录进行编辑整理成数据集。因各时期采样方法和采样强度存在不一致性,丰度数据不具备可比性,数据记录成为有-无类型的二元数据表,即某种鱼类在该湖泊出现就记录为“1”,没有出现就记录为“0”,所有用于统计分析的鱼类物种分类单元均为“种”。对于不同文献中记录的同一物种中文名可能不同,则按照其拉丁名统一为一个物种。对于没有记录到种名的物种,则不包含在本次数据分析中。

1.3 分类多样性指数计算

本文主要依据Nelson等^[86]分类系统,建立长江中下游湖泊较为全面的鱼类分类体系,4个分类等级水平为:目、科、属、种。本研究采用平均分类差异指数(Δ^+)和分类差异变异指数(Λ^+)两个指数^[24, 25, 28],分析湖泊鱼类群落分类多样性变动。 Δ^+ 是依据物种不同的分类阶元,根据物种有无数据对群落物种多样性进行评估, Δ^+ 值越小表明群落中物种间的分类学关系越近^[22, 29]。 Λ^+ 表示生物群落在等级分类学树中的“均匀程度”,即群落物种间路径长度的方差, Λ^+ 值增大表明分类进化树变得不均匀,物种集中分布在少数分类单元,物种间亲缘关系较近^[87, 88]。

平均分类差异指数(Δ^+)的表达式为:

$$\Delta^+ = \frac{2 \left[\sum \sum_{i < j} \omega_{ij} \right]}{S(S-1)} \quad (1)$$

分类差异变异指数(Λ^+)表达式为:

$$\Lambda^+ = \frac{2 \left[\sum \sum_{i < j} (\omega_{ij} - \Delta^+)^2 \right]}{S(S-1)} \quad (2)$$

式(1)、(2)中, S 为鱼类物种数, ω_{ij} 为第*i*和第*j*种鱼类

在分类系统树中的路径长度^[24, 89]。由于本次研究鱼类均属于硬骨鱼纲, 因此研究中分类等级确定为目、科、属、种4个级别。根据相关文献^[28, 31, 90], 不同等级间的权重(ω_{ij})设置为目间100、科间65.389、属间44.068和种间17.194。 Δ^+ 和 Λ^+ 指数通过PRIMER 6软件包进行计算^[91]。

1.4 数据分析

我们采用PRIMER 6软件包中的TAXDTEXT对长江中下游湖泊鱼类总名录进行随机抽样1000次, 做出多样性值的95%置信区间漏斗图(95% probability funnels), 得到分类多样性的期望值, 将不同湖泊物种数对应的平均分类差异指数(Δ^+)和分类差异

表 1 长江中下游湖泊调查时间及江湖连通状况

Tab. 1 Investigation time and connected or disconnected status of lakes in the middle and lower reaches of Yangtze River

湖泊 Lake	调查时间 Year of survey	湖泊类型 Status of lake	湖泊 Lake	调查时间 Year of survey	湖泊类型 Status of lake
通江湖泊			五湖 ^[75]	1974—1975	Connected
鄱阳湖1 ^[46]	1980s	Connected	保安湖 ^[67]	1992—1994	Disconnected
鄱阳湖2 ^[47]	1982—1990	Connected	澄湖 ^[68]	2002—2003	Disconnected
鄱阳湖3 ^[47]	1997—2000	Connected	东湖 ^[69]	1992—1994	Disconnected
洞庭湖1 ^[48]	1973—1979	Connected	北青菱湖 ^[67]	1993—1996	Disconnected
洞庭湖2 ^[49]	2002—2003	Connected	桥墩湖 ^[67]	1993—1996	Disconnected
洞庭湖3 ^[49]	2012—2014	Connected	扁担塘 ^[70]	1993—1996	Disconnected
阻隔湖泊(历史通江湖泊)			牛山湖 ^[71]	1996—1999	Disconnected
洪泽湖1 ^[50]	1960—1982	Connected	东汤逊湖 ^[71]	1996—1999	Disconnected
洪泽湖2 ^[51]	1989—1990	Disconnected	黄湖 ^[71]	1996—1999	Disconnected
洪泽湖3 ^[52]	2010—2011	Disconnected	龙感湖 ^[71]	1996—1999	Disconnected
洪泽湖4 ^[53]	2014	Disconnected	固城湖 ^[58]	1987—1988	Disconnected
洪泽湖5 ^[54]	2017—2018	Disconnected	长湖 ^[72]	2014	Disconnected
梁子湖1 ^[55]	1955—1957	Connected	菜子湖 ^[73]	2018	Disconnected
梁子湖2 ^[55]	1974	Disconnected	陈瑶湖 ^[74]	2000—2001	Disconnected
梁子湖3 ^[55]	1981—1983	Disconnected	天鹅洲 ^[66]	2015—2016	Disconnected
梁子湖4 ^[55]	1997—1999	Disconnected	武昌湖 ^[74]	2000—2001	Disconnected
洪湖1 ^[56]	1959	Disconnected	白荡湖 ^[74]	2000—2001	Disconnected
洪湖2 ^[56]	1964	Disconnected	泊湖 ^[74]	2000—2001	Disconnected
洪湖3 ^[56]	1981	Disconnected	淀山湖 ^[76]	2011	Disconnected
洪湖4 ^[56]	1993	Disconnected	骆马湖 ^[77]	2013—2015	Disconnected
洪湖5 ^[57]	2004	Disconnected	溇湖 ^[78]	2008	Disconnected
通江湖泊与阻隔湖泊比较			傀儡湖 ^[79]	2010	Disconnected
鄱阳湖3 ^[47]	1997—2000	Connected	何王庙 ^[80]	2016	Disconnected
洞庭湖3 ^[49]	2012—2014	Connected	武湖 ^[81]	2006—2007	Disconnected
洪泽湖1 ^[50]	1960—1982	Connected	大通湖 ^[82]	2011—2012	Disconnected
洪泽湖5 ^[54]	2017—2018	Disconnected	南湖	2020	Disconnected
梁子湖1 ^[55]	1955—1957	Connected	洋圻湖 ^[83]	1998	Disconnected
梁子湖4 ^[55]	1997—1999	Disconnected	军山湖 ^[84]	1993—1994	Disconnected
太湖1 ^[58]	1951—1985	Connected	青岚湖 ^[84]	1993—1994	Disconnected
太湖2 ^[59, 60]	2002—2003	Disconnected	陈家湖 ^[84]	1993—1994	Disconnected
巢湖1 ^[61]	1959—1963	Connected	瑶岗湖 ^[84]	1993—1994	Disconnected
巢湖2 ^[62]	2002—2004	Disconnected	观溪湖 ^[84]	1993—1994	Disconnected
五里湖1 ^[63]	1950—1953	Connected	龙窝湖 ^[85]	1979—1980	Disconnected
五里湖2 ^[64]	2007—2008	Disconnected	黄大湖 ^[74]	2000—2001	Disconnected
涨渡湖1 ^[65]	1950s	Connected	南青菱湖 ^[67]	1993—1996	Disconnected
涨渡湖2 ^[65]	2000s	Disconnected	黄家湖 ^[67]	1993—1996	Disconnected
洪湖5 ^[57]	2004	Disconnected			

变异指数(Δ^+)添加到漏斗图上, 进行比较分析。使用独立样本 T 检验(Independent two-sample t -test)分析不同类型湖泊 Δ^+ 和 Λ^+ 是否存在差异。所有计算分析采用SPSS 26、OriginPro 2021和PRIMER 6软件完成。

2 结果

2.1 通江与阻隔湖泊鱼类群落分类多样性差异

本文计算了长江中下游通江湖泊与阻隔湖泊物种数、平均分类差异指数(Δ^+)和分类差异变异指数(Λ^+)。长江中下游通江湖泊鱼类物种数、平均分类差异指数(Δ^+)和分类差异变异指数(Λ^+)平均值分别为 76.22 ± 14.40 、 78.31 ± 0.98 和 697.31 ± 25.53 ; 阻隔湖泊鱼类物种数、 Δ^+ 和 Λ^+ 平均值分别为 48.47 ± 14.64 、 74.02 ± 3.09 和 736.89 ± 33.80 (图1)。独立样本 T 检验结果显示, 物种数及两个分类多样性指数在不同类型湖泊间存在显著差异($P < 0.001$)。其中, 通江湖泊鱼类物种数和 Δ^+ 值显著高于阻隔湖泊($P < 0.001$), 表明通江湖泊拥有更高的物种丰富度, 且群落中物种间平均分类距离较长, 分类阶元数量较多; 而阻隔湖泊的 Λ^+ 值显著高于通江湖泊($P = 0.002$), 表明阻隔湖泊鱼类集中在少数分类单元中, 鱼类物种多样性与分类进化树均匀度低于通江湖泊, 鱼类群落的稳定性较差。

在阻隔湖泊中, 南湖的 Δ^+ 值最低(64.66), 分类多样性最低。南湖有鱼类18种, 隶属于3目、5科、16属, 如鲤形目, 鲃(*Hemiculter leucisculus*)、红鳍原鲃(*Chanodichthys erythropterus*)、鲤(*Cyprinus carpio*)和鲫(*Carassius auratus*)等; 鲈形目, 如子陵吻虾虎鱼(*Rhinogobius giurinus*)和乌鳢(*Channa argus*)等; 鲇形目, 黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)等。傀儡湖 Λ^+ 值最高(799.62), 物种分布不均匀。傀儡湖有鱼类26种, 隶属于6目、9科、23属, 如鲤

形目, 红鳍原鲃、鳊(*Parabramis pekinensis*)、鲤、鲫和高体鲫(*Rhodeus ocellatus*)等; 鲈形目, 乌鳢等; 鲇形目, 鲇(*Silurus asotus*)和黄颡鱼等; 合鳃鱼目, 黄鳝(*Monopterus albus*)等。傀儡湖中鲤形目鱼类占69.23%, 导致傀儡湖鱼类在分类树中分布不均匀, 即表现为 Λ^+ 值较高, 偏离置信区间。

将各通江湖泊与阻隔湖泊的 Δ^+ 和 Λ^+ 值添加到对应的95%置信区间漏斗图上, 结果显示, 所有通江湖泊的 Δ^+ 值均位于置信区间内, 而43个阻隔湖泊中有18个湖泊的 Δ^+ 值位于置信区间下方, 占阻隔湖泊总数的41.86%。9个通江湖泊的 Λ^+ 值仅有1个(太湖1951—1985)位于置信区间上方, 而阻隔湖泊中有17个湖泊的 Λ^+ 值位于置信区间上方, 占阻隔湖泊总数的39.53%(图2)。结果表明, 通江湖泊受到干扰退化程度小, 稳定性相对较高, 阻隔湖泊在外界扰动下退化程度大, 稳定性较差。

2.2 典型通江湖泊鱼类群落分类多样性时间变化

本研究比较通江湖泊鱼类各分类阶元变化趋势发现, 鄱阳湖鱼类物种数在1980s时最多(108种), 其次为1982—1990年(100种)、1997—2000年(98种), 整体呈现出随时间推移物种数降低的趋势(表2)。各分类阶元数目的变化趋势表现出一定的相似性: 目、科、属在3个时期也表现出下降趋势。洞庭湖鱼类物种数在1973—1979时间段最多(104种), 其次为2002—2003年(81种)、2012—2014年(64种), 同样呈现出随时间推移物种数下降的趋势, 与鄱阳湖相比, 洞庭湖各分类阶元(科、属、种)数目的下降趋势更加明显(表2)。

通过分析鄱阳湖和洞庭湖3个时期的分类多样性指数, 发现鄱阳湖 Δ^+ (80.12、79.61、78.50)表现出下降趋势, 1997—2000年与前两个时期相比 Δ^+ 下降更为明显, 而 Λ^+ (674.00、676.93和709.44)呈现出上升趋势, 1997—2000与前两个时期相比 Λ^+ 上升更

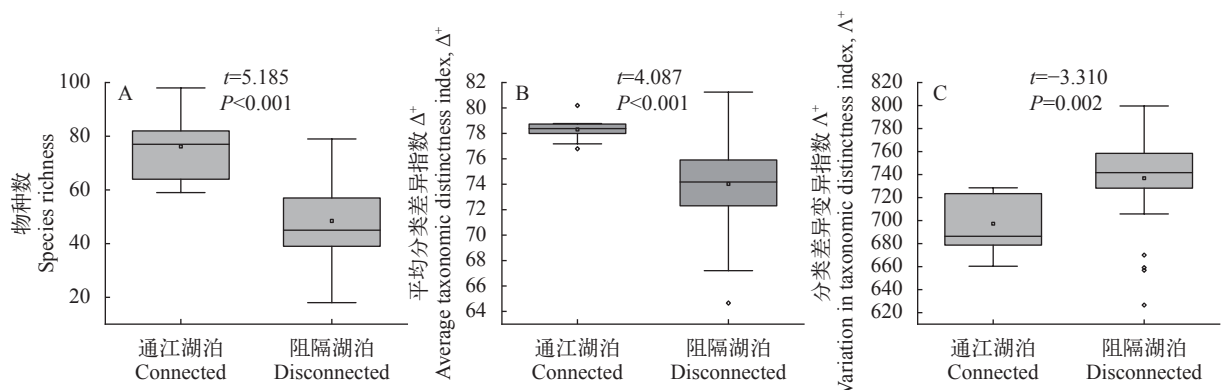


图1 长江中下游通江湖泊与阻隔湖泊物种数、 Δ^+ 和 Λ^+ 对比及 t 检验

Fig. 1 Species richness, Δ^+ and Λ^+ of the river-connected lakes and river-disconnected lakes in the middle and lower reaches of Yangtze River; the result of independent-samples t -test are also shown

为明显。洞庭湖 Δ^+ (77.46、76.88和76.79)表现出较弱的下降趋势,而 Λ^+ (675.93、719.80和686.38)呈现出先上升后下降的波动趋势(图3)。鄱阳湖、洞庭湖 Δ^+ 值整体呈现下降趋势, Λ^+ 值整体呈现上升趋势,即鱼类分类多样性整体有所下降,物种分布变得不均匀,说明尽管保持通江,仍有其他各种干扰的影响。洄游型类如白鲟(*Psephurus gladius*)、中华鲟(*Acipenser sinensis*)和胭脂鱼(*Myxocyprinus asiaticus*)等鱼类消失;河流型鱼类如白甲鱼(*Onychostoma simum*)等;湖泊定居型鱼类如鲮科、鰕虎鱼科和鲤科等均有鱼类消失。两个通江湖泊不同

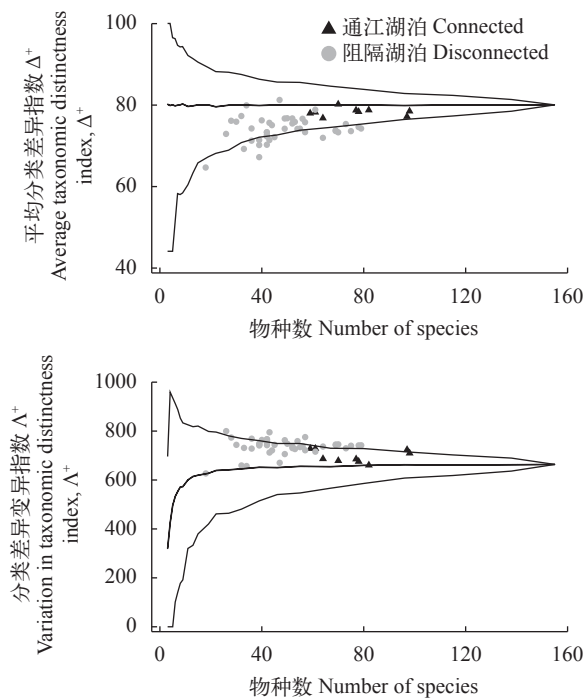


图2 长江中下游湖泊 Δ^+ 和 Λ^+ 对应物种数的95%置信区间漏斗图
Fig. 2 Funnel plots showing Δ^+ and Λ^+ versus the number of species observed for the fish fauna in the freshwater lake in the middle and lower reaches of Yangtze River; the lines showing mean value and 95% confidence intervals are determined via random selection from the total master species lists

时期物种数对应的 Δ^+ 和 Λ^+ 值均在95%置信区间内(图4),说明尽管存在外界扰动,但是通江湖泊仍保持着复杂的生境,鱼类群落稳定性高,仍然维持一定的多样性。

2.3 典型阻隔湖泊鱼类群落分类多样性时间变化

本研究比较阻隔湖泊鱼类各分类阶元变化趋势发现,梁子湖、洪泽湖和洪湖各分类阶元数目随时间推移表现为下降的趋势。梁子湖鱼类物种数1974年与前后两个时期(1955—1957、1981—1983)相比变动较大,而洪泽湖(2017—2018)、洪湖(1993)物种数随时间推移有一定的波动,但总体仍表现为下降趋势(表3)。洄游型鱼类,如中华鲟、鳗鲡(*Anguilla japonica*)、刀鲚(*Coilia nasus*)和赤眼鲮(*Squaliobarbus curriculus*)等鱼类消失,湖泊定居型鱼类成为优势物种。

通过分析梁子湖、洪泽湖及洪湖不同时期的分类多样性指数(图5),发现梁子湖 Δ^+ (77.99、77.14、74.06和76.63)表现出先下降后上升的趋势,而 Λ^+ (728.20、730.12、754.18和738.59)呈现出先上升后下降的趋势,从 Δ^+ 和 Λ^+ 变化可以看出梁子湖鱼类群落组成在1981—1983年与相邻两个时期相比变化较大。洪泽湖 Δ^+ (78.73、74.57、74.06、77.09和76.76)表现出先下降后上升的趋势,而 Λ^+ (685.37、720.42、766.45、748.61和747.85)呈现出先上升后下降的趋势。洪湖 Δ^+ (77.65、77.84、78.64、74.41和72.31)表现出先上升后下降的趋势,而 Λ^+ (698.74、708.1、673.44、755.00和751.28)呈现出先下降后上升的趋势。梁子湖、洪泽湖和洪湖 Δ^+ 值变化整体呈现下降趋势, Λ^+ 值波动幅度较大且整体呈现上升趋势,即鱼类分类多样性下降,物种分布不均匀,说明阻隔湖泊中随机选择的物种间平均分类等级路径较短,亲缘关系较近,群落的稳定性较低。

将梁子湖、洪泽湖及洪湖不同时期物种数对应的 Δ^+ 和 Λ^+ 值添加到95%置信区间漏斗图显示,梁子湖有1个时期(1981—1983年)的 Λ^+ 值位于置信区

表2 鄱阳湖、洞庭湖3个时期的鱼类分类阶元数目、 Δ^+ 和 Λ^+

Tab. 2 Number of taxa at each taxonomic resolution level of fishes, Δ^+ and Λ^+ in Poyang Lake and Dongting Lake for the three time periods

湖泊 Lake	调查时间 Year of survey	目 Order	科 Family	属 Genus	种 Species	Δ^+	Λ^+
鄱阳湖1	1980s	11	23	67	108	80.12	674.00
鄱阳湖2	1982—1990	10	22	64	100	79.61	676.93
鄱阳湖3	1997—2000	8	19	60	98	78.50	709.44
洞庭湖1	1973—1979	10	22	68	104	77.46	675.93
洞庭湖2	2002—2003	7	14	53	81	76.88	719.80
洞庭湖3	2012—2014	7	16	46	64	76.79	686.38

间上方;洪泽湖有2个时期(1989—1990年和2010—2011年)的 Δ^+ 值位于置信区间下方,2个时期(2010—2011年和2014年)的 Δ^+ 值位于置信区间上方;洪湖有1个时期(2004年) Δ^+ 值位于置信区间下方,1个时期(2004年)的 Δ^+ 值位于置信区间上方(图6)。这表明阻隔湖泊鱼类多样性降低,物种的分布集中在少数分类单元,导致鱼类群落分类进化树均匀度下降,也说明阻隔湖泊受到的扰动更大,稳定性差。

3 讨论

3.1 分类多样性指数在水生态环境评价中的应用

分类学多样性指数(包括分类学多样性和分类学差异性指数等)由Warwick和Clarke^[22, 89]于1995年提出,平均分类差异指数(Δ^+)反映群落物种间亲缘关系远近,分类差异变异指数(Λ^+)则表示分类进化树的不均匀程度。近年来,常被应用于海洋、淡水和陆地的生物群落研究中。其中,分类学差异性指数(平均分类差异指数 Δ^+ 和分类差异变异指数 Λ^+)考虑了群落中不同物种间的进化关系,且对采样方法、采样力度不敏感,在一定程度上解决了传统多

样指数(Shannon Wiener多样性指数、Margalef物种丰富度指数等)遇到的问题(如:对样本大小敏感;受采样方法、采样力度影响;将物种视为完全相同的群落构件或单元等)^[22, 27, 28],特别是其采用有-无类型的数据开展研究时,在一定程度上可以减小采样差异的影响。Liu和Wang^[10]、Jiang等^[42]研究表明,在淡水湖泊鱼类群落研究中, Δ^+ 和 Λ^+ 值不受湖泊面积的影响,物种丰富度是影响该指数的关键因素,所以在进行不同水体的研究时具有可行性。分类差异性指数考虑了物种间亲缘关系,反映了更多的生物学信息。在环境评价时,分类学差异性指数比传统的多样性指数灵敏度高,被广泛应用于区分环境受干扰和未受干扰的研究中^[92, 93]。

3.2 江湖阻隔对长江中下游湖泊鱼类群落分类多样性的影响

长江中下游江湖复合生态系统是东亚地区最重要的水生生态系统之一。研究表明,江湖阻隔会导致江湖之间营养物质和鱼类的交流中断,鱼类多样性下降,特别是洄游、半洄游型鱼类消失,导致鱼类群落以湖泊定居型鱼类为主^[42, 65]。本研究发现,

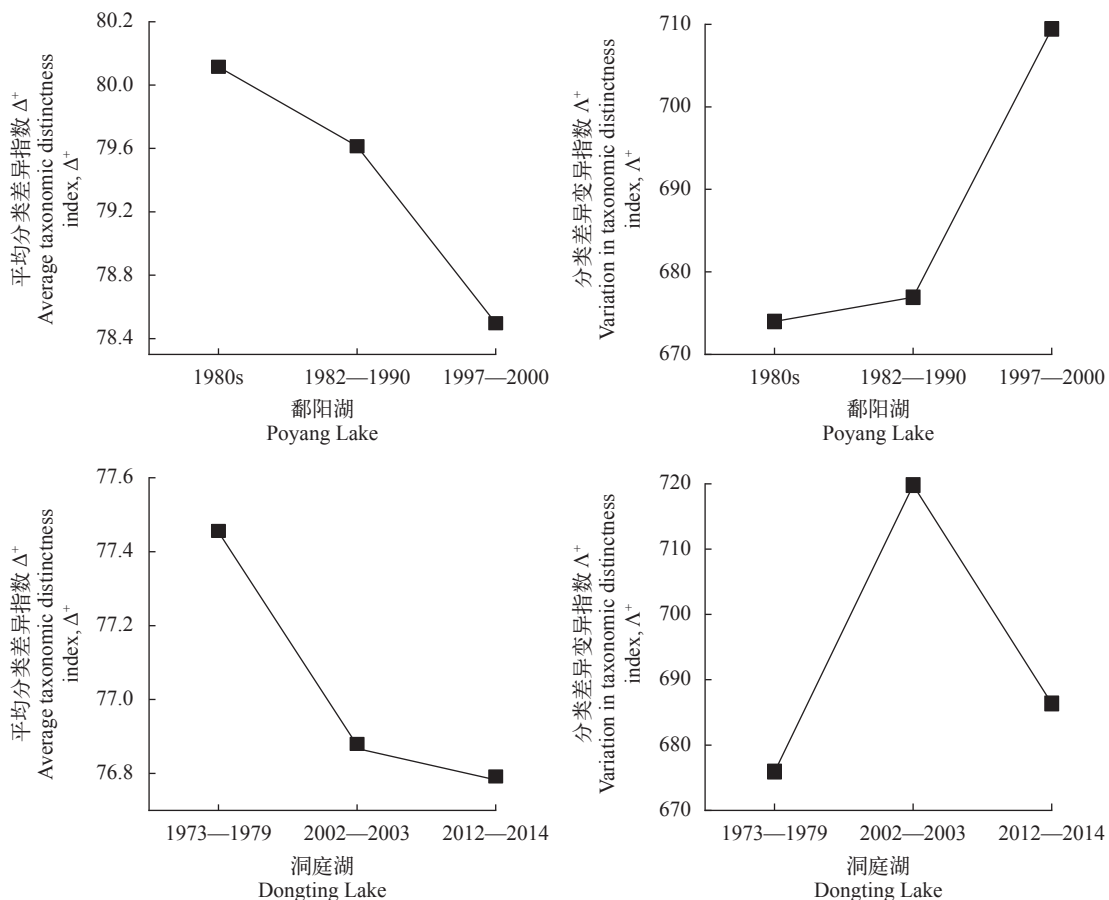


图3 鄱阳湖、洞庭湖平均分类差异指数(Δ^+)和分类差异变异指数(Λ^+)随时间变化图

Fig. 3 Temporal variations in average taxonomic distinctness index, Δ^+ and variation in taxonomic distinctness index, Λ^+ of fish assemblages in Poyang Lake and Dongting Lake

阻隔湖泊目、科、属、种数量平均值(6.63、13.26、37.47和48.47)均低于通江湖泊(9.44、19.67、54.67和76.22),阻隔湖泊的平均分类差异指数(Δ^+)显著低于通江湖泊($P<0.001$),说明江湖阻隔后物种多样性下降,物种间平均分类距离较短,鱼类集中在少数分类单元中。同时阻隔湖泊分类差异变异指数

(Λ^+)显著高于通江湖泊($P=0.002$),说明阻隔湖泊分类进化树均匀度低于通江湖泊,稳定性较差。研究表明,当生存环境受到干扰时,物种数较少的目、科、属等高级分类阶元最先消失,而那些物种丰富的科、属等分类阶元则可以保留,从而导致受干扰的群落分类多样性指数降低^[22, 65]。Jiang等^[42]通过

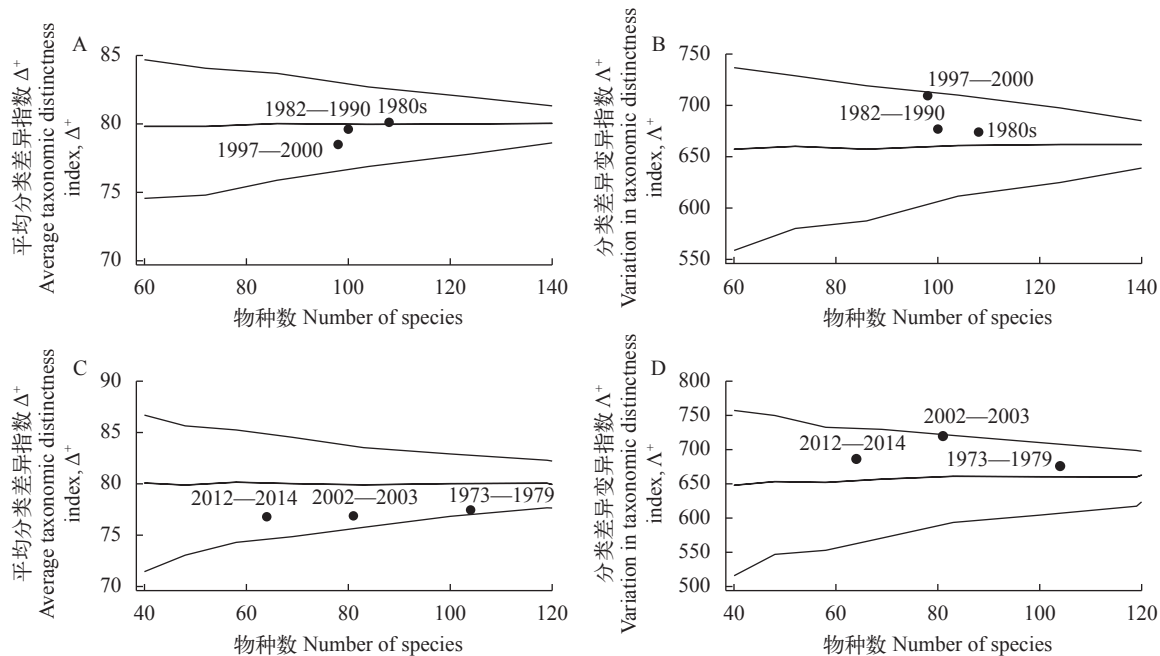


图4 鄱阳湖、洞庭湖不同时期 Δ^+ 和 Λ^+ 对应物种数的95%置信区间漏斗图

Fig. 4 Funnel plots showing Δ^+ and Λ^+ versus the number of species observed for the fish fauna in Poyang Lake and Dongting Lake in different periods; the lines showing mean value and 95% confidence intervals were determined via random selection from the total master species lists

A、B. 鄱阳湖; C、D. 洞庭湖

A and B. Poyang Lake; C and D. Dongting Lake

表3 梁子湖、洪泽湖、洪湖不同时期鱼类分类阶元数目、 Δ^+ 和 Λ^+

Tab. 3 Number of taxa at each taxonomic resolution level of fishes, Δ^+ and Λ^+ in Liangzi Lake, Hongze Lake and Honghu Lake in different periods

湖泊 Lake	调查时间 Year of survey	目 Order	科 Family	属 Genus	种 Species	Δ^+	Λ^+
梁子湖1	1955—1957	9	17	47	59	77.99	728.20
梁子湖2	1974	9	18	49	67	77.14	730.12
梁子湖3	1981—1983	7	14	42	56	74.06	754.18
梁子湖4	1997—1999	8	16	41	56	76.63	738.59
洪泽湖1	1960—1982	9	17	57	77	78.73	685.37
洪泽湖2	1989—1990	8	16	49	65	74.57	720.42
洪泽湖3	2010—2011	7	14	43	62	74.06	766.45
洪泽湖4	2014	7	13	34	41	77.09	748.61
洪泽湖5	2017—2018	8	15	40	50	76.76	747.85
洪湖1	1959	9	18	51	62	77.65	698.74
洪湖2	1964	9	18	53	71	77.84	708.10
洪湖3	1981	9	18	43	52	78.64	673.44
洪湖4	1993	7	15	43	56	74.41	755.00
洪湖5	2004	6	11	33	42	72.31	751.28

41个湖泊的50组数据分析了江湖阻隔及富营养化对鱼类群落结构的影响,发现江湖连通性丧失和水体富营养化湖泊中鲟形目、鳗鲡目等洄游性鱼类几乎全部灭绝。本研究的结果也进一步支持这一观点,物种少的分类单元和洄游型鱼类最先消失。

鱼类群落平均分类差异指数(Δ^+)和分类差异变异指数(Λ^+)漏斗图可以较好地地区分受不同程度人类干扰的湖泊。本文结果显示,阻隔湖泊的 Δ^+ 和 Λ^+ 值分别有41.86%和39.53%位于置信区间外,进一步表明阻隔湖泊退化更严重,抗干扰能力差。与此相反,

仅有1个通江湖泊(太湖1951—1985)的 Λ^+ 值位于置信区间外,而其他通江湖泊的 Δ^+ 和 Λ^+ 值均在95%置信区间内,说明通江湖泊较为复杂的生态环境,抵抗外界干扰的能力较强。

Jiang等^[42]对长江中下游湖泊的研究发现阻隔湖泊平均分类差异指数(Δ^+)降低,说明江湖阻隔导致分类多样性下降。本研究也得到了相似的结果,阻隔湖泊 Δ^+ 值显著低于通江湖泊,说明江湖阻隔导致鱼类分类多样性下降明显。但Jiang等^[42]研究中未发现阻隔湖泊分类差异变异指数(Λ^+)有显著变

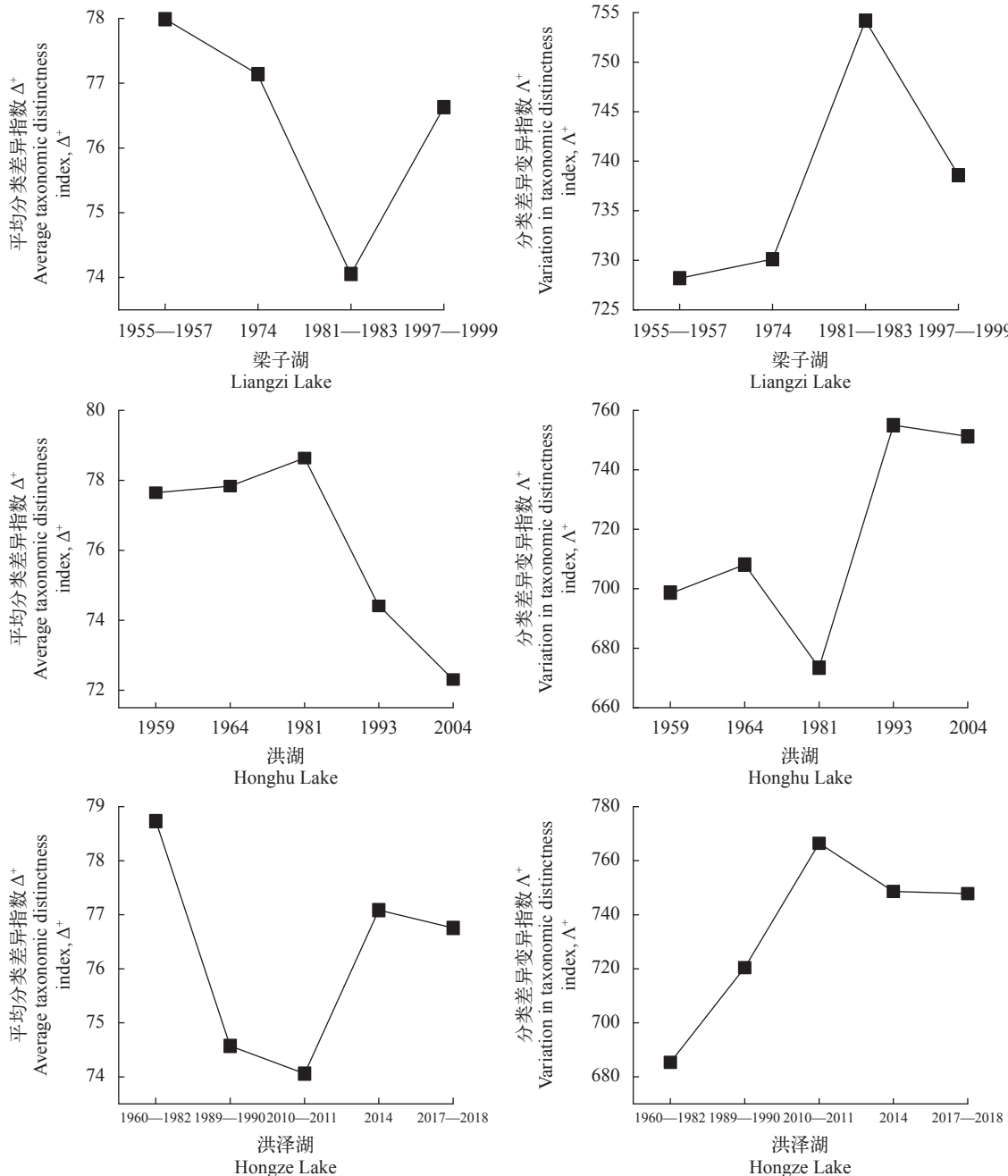


图5 梁子湖、洪泽湖、洪湖平均分类差异指数(Δ^+)和分类差异变异指数(Λ^+)随时间变化图

Fig. 5 Temporal variations in average taxonomic distinctness index, Δ^+ and variation in taxonomic distinctness index, Λ^+ of fish assemblages in Liangzi Lake, Hongze Lake and Honghu Lake

化,而本研究中阻隔湖泊 Δ^+ 值显著高于通江湖泊,说明阻隔湖泊物种分布不均匀,稳定性降低。因此本研究更清楚地识别了江湖阻隔对鱼类物种分布均匀度的不利影响。

3.3 典型通江与阻隔湖泊鱼类群落分类多样性的时间变化

鄱阳湖和洞庭湖是目前仅存的两大通江湖泊。本研究表明,从20世纪70年代到21世纪初,通江湖泊鄱阳湖和洞庭湖鱼类分别减少10个和40个物种,相对应的平均分类差异指数(Δ^+)减少了1.62和0.66,鄱阳湖分类差异变异指数(Δ^+)增加了35.44,而洞庭湖 Δ^+ 值先升高后降低,最大值与最小值相差43.87。其具体表现是,洄游型鱼类如白鲢、中华鲟和胭脂鱼等,河流型鱼类如白甲鱼和长薄鳅(*Leptobotia elongata*),湖泊定居型鱼类如粘皮鲢鳊虎鱼(*Mugilogobius myxodermus*)等均有鱼类消失。

这表明存在江湖阻隔之外的影响因子,如过度捕捞和水利工程等^[94,95],导致长江干流和通江湖泊中整体鱼类资源的广泛衰退,使得通江湖泊的鱼类分类多样性下降。与阻隔湖泊相比,这种变化没有专门针对洄游类群,而是广泛的类群,显示出长江整体生态系统的衰退。

另一方面,与阻隔湖泊相比,鄱阳湖与洞庭湖有较高的 Δ^+ 值和较低的 Δ^+ 值,且两个指数变化始终在95%置信区间内。这说明通江湖泊具有一定的抗干扰能力,表现出一定的稳定性。梁子湖、洪泽湖和洪湖历史上均为通江湖泊,因防洪排涝闸坝工程的兴建,成为阻隔湖泊。本研究显示,从20世纪50年代到21世纪初,阻隔湖泊梁子湖、洪泽湖和洪湖鱼类分别减少了11、22和29个物种。洄游型鱼类,如鳊、刀鲚和赤眼鳟等鱼类消失;湖泊定居型鱼类,如鲤、鲫和鳊等成为优势物种。梁子湖、

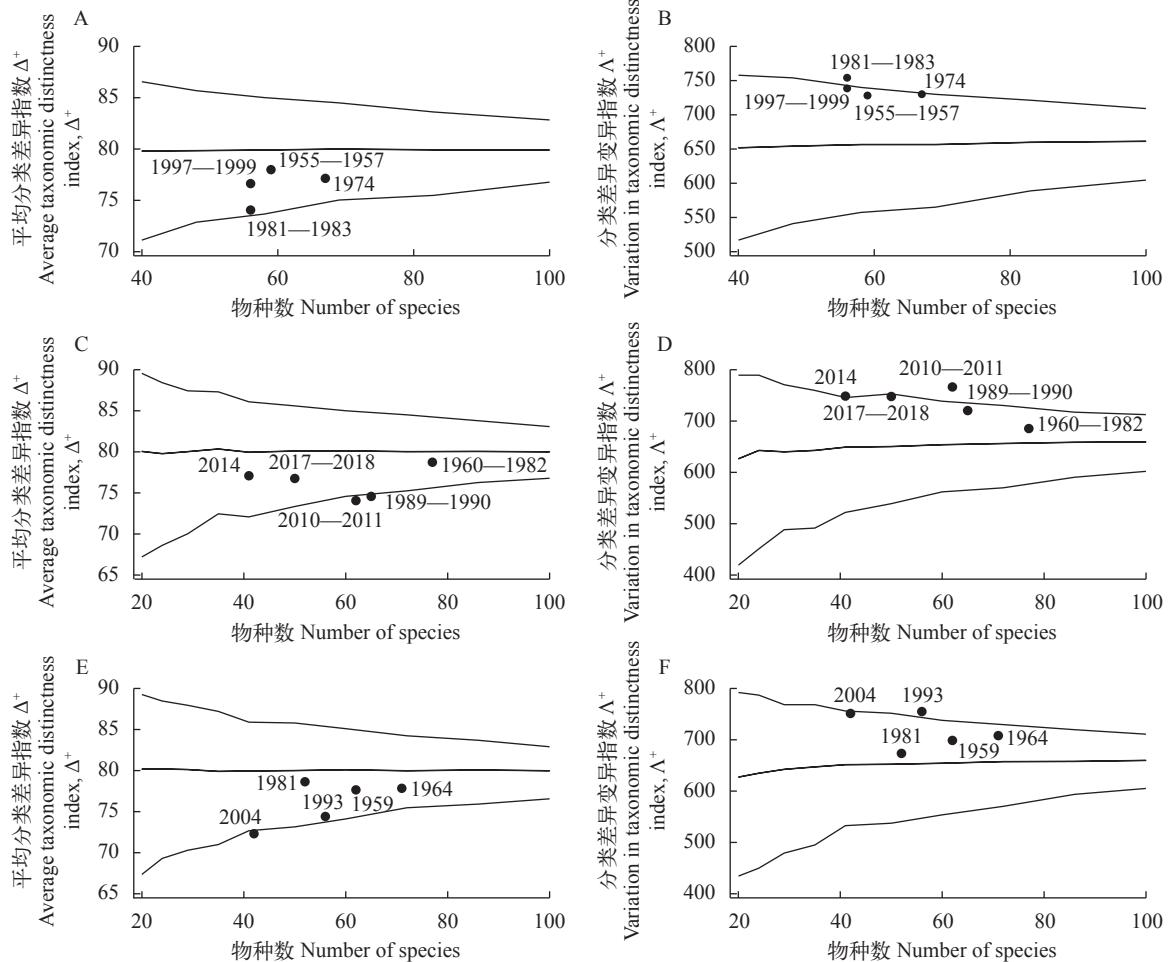


图6 梁子湖、洪泽湖、洪湖不同时期 Δ^+ 和 Δ^- 对应物种数的95%置信区间漏斗图

Fig. 6 Funnel plots showing Δ^+ and Δ^- versus the number of species observed for the fish fauna in Liangzi Lake, Hongze Lake and Honghu Lake in different periods. The lines showing mean value and 95% confidence intervals are determined via random selection from the total master species lists

A、B. 梁子湖; C、D. 洪泽湖; E、F. 洪湖

A and B. Liangzi Lake; C and D. Hongze Lake; E and F. Honghu Lake

洪泽湖和洪湖相对应的平均分类差异指数(Δ^+)和分类差异变异指数(Λ^+)最大值与最小值之差分别为3.93、4.67、6.33和25.99、81.08和81.57。梁子湖、洪泽湖和洪湖 Δ^+ 值整体呈下降趋势, Λ^+ 值表现为升高趋势,表明阻隔湖泊鱼类分类多样性下降,且稳定性变差。

同时,与通江湖泊相比,梁子湖、洪泽湖和洪湖的 Δ^+ 和 Λ^+ 值变化幅度较大,且两个指数均有在95%置信区间外的情况。更进一步说明,阻隔湖泊鱼类群落结构受到干扰更加严重,抵抗外界干扰能力较弱,稳定性较差。

3.4 生物多样性保护建议

江湖连通使得洄游型鱼类能够进入湖泊,增加湖泊中的物种多样性,这样也增加了鱼类群落的稳定性和生态系统功能的完整性,因此江湖连通是支撑和维持长江中下游江湖复合生态系统鱼类多样性的重要条件。本研究表明,在江湖阻隔以后,鱼类多样性下降,鱼类分布在少数分类单元中,群落稳定性受到破坏。因此,有必要采取措施对阻隔湖泊的水生生物多样性进行修复。例如,恢复阻隔湖泊与长江的连通性,加强江湖之间生物及物质交流;治理湖泊水环境,改善生物栖息地质量;针对湖泊具体鱼类群落结构特征,投放江湖洄游型鱼类,调整鱼类群落结构,增加物种多样性。

参考文献:

- [1] Qin B Q. Approaches to mechanisms and control of eutrophication of shallow lakes in the middle and lower reaches of the Yangze River [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2002, **14**(3): 193-202. [秦伯强. 长江中下游浅水湖泊富营养化发生机制与控制途径初探 [J]. *湖泊科学*, 2002, **14**(3): 193-202.]
- [2] Lin P C, Gao X, Liu F, *et al.* Ecological assessment of the Yangtze River environment based on fish species richness [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2021, **45**(6): 1385-1389. [林鹏程, 高欣, 刘飞, 等. 基于鱼类物种状况的长江生态环境质量评估 [J]. *水生生物学报*, 2021, **45**(6): 1385-1389.]
- [3] Wohl E, Brierley G, Cadol D, *et al.* Connectivity as an emergent property of geomorphic systems [J]. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2019, **44**(1): 4-26.
- [4] Pander J, Mueller M, Geist J. Habitat diversity and connectivity govern the conservation value of restored aquatic floodplain habitats [J]. *Biological Conservation*, 2018, **217**: 1-10.
- [5] 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.]
- [6] Reid A J, Carlson A K, Creed I F, *et al.* Emerging threats and persistent conservation challenges for freshwater biodiversity [J]. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 2019, **94**(3): 849-873.
- [7] Tockner K, Pusch M, Borchardt D, *et al.* Multiple stressors in coupled river-floodplain ecosystems [J]. *Freshwater Biology*, 2010(55): 135-151.
- [8] Liu F, Lin P C, Li M Z, *et al.* Situations and conservation strategies of fish resources in the Yangtze River Basin [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2019, **43**(S1): 144-156. [刘飞, 林鹏程, 黎明政, 等. 长江流域鱼类资源现状与保护对策 [J]. *水生生物学报*, 2019, **43**(S1): 144-156.]
- [9] Jiang Z, Dai B, Wang C, *et al.* Multifaceted biodiversity measurements reveal incongruent conservation priorities for rivers in the upper reach and lakes in the middle-lower reach of the largest river-floodplain ecosystem in China [J]. *Science of the Total Environment*, 2020(739): 140380.
- [10] Liu X, Wang H. Estimation of minimum area requirement of river-connected lakes for fish diversity conservation in the Yangtze River floodplain [J]. *Diversity and Distributions*, 2010, **16**(6): 932-940.
- [11] 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.]
- [12] Wang H Z, Liu X Q, Wang H J. The Yangtze River-floodplain ecosystem: multiple threats and holistic conservation [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2019, **43**(S1): 157-182. [王洪铸, 刘学勤, 王海军. 长江河流-泛滥平原生态系统面临的威胁与整体保护对策 [J]. *水生生物学报*, 2019, **43**(S1): 157-182.]
- [13] Costello M J, Bouchet P, Embrow C S, *et al.* European marine biodiversity inventory and taxonomic resources: state of the art and gaps in knowledge [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2006(316): 257-268.
- [14] Gaston K J. Biodiversity: a biology of numbers and difference [J]. *The Journal of Applied Ecology*, 1996, **33**(6): 1587-1588.
- [15] Zhang C, Fujiwara M, Pawluk M, *et al.* Changes in taxonomic and functional diversity of fish communities after catastrophic habitat alteration caused by construction of Three Gorges Dam [J]. *Ecology and Evolution*, 2020, **10**(12): 5829-5839.
- [16] Liu C C, Gao X, Lin P C, *et al.* Fish community structure in Gezhouba Reservoir [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2012, **21**(7): 843-849. [刘春池, 高欣, 林鹏程, 等. 葛洲坝水库鱼类群落结构特征研究 [J]. *长江流域资源与环境*, 2012, **21**(7): 843-849.]
- [17] Chiarucci A, Bacaro G, Scheiner S M. Old and new challenges in using species diversity for assessing biodiversity [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B: Biological Sciences*, 2011, **366**(1576): 2426-2437.
- [18] Harper J L, Hawksworth D L. Biodiversity: measurement and estimation [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B, Biological Sciences*, 1994,

- 345(1311): 5-12.
- [19] Rogers S I, Clarke K R, Reynolds J D. The taxonomic distinctness of coastal bottom-dwelling fish communities of the North-east Atlantic [J]. *Journal of Animal Ecology*, 1999, **68**(4): 769-782.
- [20] Weiss K C B, Ray C A. Unifying functional trait approaches to understand the assemblage of ecological communities: synthesizing taxonomic divides [J]. *Ecography*, 2019, **42**(12): 2012-2020.
- [21] Ma S Q. Research on fish classification and functional diversity-take the fish of Jinan as an example [D]. Dalian: Dalian Ocean University, 2020: 3-5. [马思琦. 鱼类分类和功能多样性研究-以济南地区鱼类为例 [D]. 大连: 大连海洋大学, 2020: 3-5.]
- [22] Clarke K R, Warwick R M. A further biodiversity index applicable to species lists: variation in taxonomic distinctness [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2001(216): 265-278.
- [23] Tilman D, Knops J, Wedin D, *et al.* The influence of functional diversity and composition on ecosystem processes [J]. *Science*, 1997, **277**(5330): 1300-1302.
- [24] Clarke K R, Warwick R M. A taxonomic distinctness index and its statistical properties [J]. *Journal of Applied Ecology*, 1998, **35**(4): 523-531.
- [25] Warwick R M, Clarke K R. New 'biodiversity' measures reveal a decrease in taxonomic distinctness with increasing stress [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1995(129): 301-305.
- [26] Gwali S, Okullo P, Hafashimana D, *et al.* Taxonomic diversity, distinctness, and abundance of tree and shrub species in Kasagala forest reserve in Uganda: implications for management and conservation policy decisions [J]. *Tropical Conservation Science*, 2010, **3**(3): 319-333.
- [27] Stenger-Kovács C, Hajnal É, Lengyel E, *et al.* A test of traditional diversity measures and taxonomic distinctness indices on benthic diatoms of soda pans in the Carpathian basin [J]. *Ecological Indicators*, 2016(64): 1-8.
- [28] Clarke K R, Warwick R M. The taxonomic distinctness measure of biodiversity: weighting of step lengths between hierarchical levels [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1999(184): 21-29.
- [29] Xu B D, Jin X S, Liang Z L. Calculation of hierarchical diversity of fish in the Huanghai and Bohai Seas [J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2005, **35**(1): 25-28. [徐宾铎, 金显仕, 梁振林. 对黄、渤海鱼类等级多样性的推算 [J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2005, **35**(1): 25-28.]
- [30] Azevedo M C C, Gomes-Gonçalves R D S, Mattos T M, *et al.* Taxonomic and functional distinctness of the fish assemblages in three coastal environments (bays, coastal lagoons and oceanic beaches) in Southeastern Brazil [J]. *Marine Environmental Research*, 2017(129): 180-188.
- [31] Sun P, Wang Y X, Tian K, *et al.* Taxonomic diversity of fish species in five bays in Zhejiang Province [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2018, **49**(6): 1325-1333. [孙鹏, 王咏雪, 田阔, 等. 浙江5个海湾鱼类分类多样性研究 [J]. 海洋与湖泊, 2018, **49**(6): 1325-1333.]
- [32] Leonard D R P, Robert Clarke K, Somerfield P J, *et al.* The application of an indicator based on taxonomic distinctness for UK marine biodiversity assessments [J]. *Journal of Environmental Management*, 2006, **78**(1): 52-62.
- [33] Zhou H, Zhang Z, Liu X, *et al.* Decadal change in sublittoral macrofaunal biodiversity in the Bohai Sea, China [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2012, **64**(11): 2364-2373.
- [34] Zhu X F, Chen B, Yu W W, *et al.* Discussion on taxonomic diversity indices and taxonomic sufficiency for macrobenthos in Xiamen Bay [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, **38**(15): 5554-5565. [朱晓芬, 陈彬, 俞炜炜, 等. 厦门湾大型底栖动物分类学多样性指数及分类充分性 [J]. 生态学报, 2018, **38**(15): 5554-5565.]
- [35] Ge M L, Li Y X, Zhang X L, *et al.* Taxonomic diversity of the benthic polychaetes in China Seas [J]. *Advances in Marine Science*, 2020, **38**(2): 287-303. [葛美玲, 李一璇, 张学雷, 等. 中国海底栖多毛类分类多样性 [J]. 海洋科学进展, 2020, **38**(2): 287-303.]
- [36] Wu Q, Li Z Y, Dai F Q, *et al.* Taxonomic diversity of crustaceans in Yellow Sea and Bohai Sea [J]. *Biodiversity Science*, 2016, **24**(11): 1306-1314. [吴强, 李忠义, 戴芳群, 等. 黄渤海甲壳类的分类多样性 [J]. 生物多样性, 2016, **24**(11): 1306-1314.]
- [37] Liu H, Guo P J, Yu C G, *et al.* Community structure of crustaceans in the Zhoushan coastal fishery [J]. *Marine Sciences*, 2020, **44**(2): 90-98. [刘惠, 郭朋军, 俞存根, 等. 舟山沿岸渔场甲壳类群落结构特征研究 [J]. 海洋科学, 2020, **44**(2): 90-98.]
- [38] Prato S, Morgana J G, La Valle P, *et al.* Application of biotic and taxonomic distinctness indices in assessing the Ecological Quality Status of two coastal lakes: Caprolace and Fogliano lakes (Central Italy) [J]. *Ecological Indicators*, 2009, **9**(3): 568-583.
- [39] Ceschia C, Falace A, Warwick R. Biodiversity evaluation of the macroalgal flora of the Gulf of Trieste (Northern Adriatic Sea) using taxonomic distinctness indices [J]. *Hydrobiologia*, 2007, **580**(1): 43-56.
- [40] Bevilacqua S, Fraschetti S, Terlizzi A, *et al.* The use of taxonomic distinctness indices in assessing patterns of biodiversity in modular organisms [J]. *Marine Ecology*, 2009, **30**(2): 151-163.
- [41] Ji L, He P, Ye J, *et al.* The taxonomic distinctness diversity of fish community in Lake Honghu during the past 50 years [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2017, **29**(4): 932-941. [纪磊, 何平, 叶佳, 等. 近50年来洪湖鱼类群落分类学多样性变动 [J]. 湖泊科学, 2017, **29**(4): 932-941.]
- [42] Jiang X, Pan B, Sun Z, *et al.* Application of taxonomic distinctness indices of fish assemblages for assessing effects of river-lake disconnection and eutrophication in floodplain lakes [J]. *Ecological Indicators*, 2020(110): 105955.
- [43] Li J, Wu H W, Zhou Y Q, *et al.* Variations of stable oxygen and deuterium isotopes in river and lake waters during flooding season along the middle and lower reaches of the Yangtze River regions [J]. *Environmental Science*, 2020, **41**(3): 1176-1183. [李静, 吴华武, 周永强, 等. 长

- 江中下游地区丰水期河、湖水氢氧同位素组成特征 [J]. 环境科学, 2020, **41**(3): 1176-1183.]
- [44] Jiang Z G, Brosse S, Jiang X M, *et al.* Measuring ecosystem degradation through half a century of fish species introductions and extirpations in a large isolated lake [J]. *Ecological Indicators*, 2015(58): 104-112.
- [45] Le C, Zha Y, Li Y, *et al.* Eutrophication of lake waters in China: cost, causes, and control [J]. *Environmental Management*, 2010, **45**(4): 662-668.
- [46] Guo Z Z, Zou D L, Liu R L, *et al.* Investigation report on fish in Poyang Lake (one of the investigation reports on wildlife resources in Jiangxi) [J]. *Journal of Nanchang University (Natural Science)*, 1964: 121-130. [郭治之, 鄒多祿, 刘瑞蘭, 等. 鄱阳湖鱼类调查报告(江西野生动物资源调查报告之一) [J]. 南昌大学学报(理科版), 1964: 121-130.]
- [47] 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.]
- [48] Tang J H, Qian M Q. Fish fauna of Dongting Lake [J]. *Freshwater Fisheries*, 1979, **9**(S1): 26-34. [唐家汉, 钱名全. 洞庭湖的鱼类区系 [J]. 淡水渔业, 1979, **9**(S1): 26-34.]
- [49] Zhu Y, Lv C, Hu H J, *et al.* Changes in fish community structure in West Dongting Lake after the operation of the Three Gorges Dam [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2014, **26**(6): 844-852. [朱轶, 吕偲, 胡慧建, 等. 三峡大坝运行前后西洞庭湖鱼类群落结构特征变化 [J]. 湖泊科学, 2014, **26**(6): 844-852.]
- [50] Compile Group of the Fisheries History of the Hongze Lake ed. The Fisheries History of the Hongze Lake [M]. Nanjing: Phoenix Science Press, 1990: 9-47. [《洪泽湖渔业史》编写组. 洪泽湖渔业史 [M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1990: 9-47.]
- [51] Zhu S Q, Dou H S. The Hongze Lake-Water Resources and Hydrobiology [M]. Hefei: University of Science and Technology of China, 1993: 174-181. [朱松泉, 窦鸿身. 洪泽湖——水资源和水生生物资源 [M]. 合肥: 中国科学技术出版社, 1993: 174-181.]
- [52] Lin M L, Zhang T L, Ye S W, *et al.* Status of fish resources, historical variation and fisheries management strategies in Hongze Lake [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2013, **37**(6): 1118-1127. [林明利, 张堂林, 叶少文, 等. 洪泽湖鱼类资源现状、历史变动和渔业管理策略 [J]. 水生生物学报, 2013, **37**(6): 1118-1127.]
- [53] Liu X Z. Current situation, problems and countermeasures of fishery resources in Hongze Lake [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2015: 21-26. [刘孝珍. 洪泽湖渔业资源现状、问题及对策 [D]. 南京: 南京农业大学, 2015: 21-26.]
- [54] 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.]
- [55] Ye S W. Studies on fish communities and trophic network model of shallow lakes along the middle reach of the Yangtze River [D]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, 2007: 35-38. [叶少文. 长江中游浅水湖泊鱼类群落和系统营养网络模型的研究 [D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 2007: 35-38.]
- [56] Song T X, Zhang G H, Chang J B, *et al.* Fish diversity in Honghu Lake [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, **10**(1): 86-90. [宋天祥, 张国华, 常剑波, 等. 洪湖鱼类多样性研究 [J]. 应用生态学报, 1999, **10**(1): 86-90.]
- [57] Lu S, Hu J H, Xiao C Y, *et al.* Fish species composition in Honghu Lake and estimation of influencing factors [J]. *Chinese Journal of Wildlife*, 2006, **27**(6): 14-17. [卢山, 胡军华, 肖成云, 等. 洪湖鱼类物种组成及影响因素评价 [J]. 野生动物, 2006, **27**(6): 14-17.]
- [58] Ni Y, Zhu C D. Fishes of the Taihu Lake [M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 2005: 61-277. [倪勇, 朱成德. 太湖鱼类志 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2005: 61-277.]
- [59] Mao Z G, Gu X H, Zeng Q F, *et al.* Community structure and diversity of fish in Lake Taihu [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2011, **30**(12): 2836-2842. [毛志刚, 谷孝鸿, 曾庆飞, 等. 太湖鱼类群落结构及多样性 [J]. 生态学杂志, 2011, **30**(12): 2836-2842.]
- [60] Zhu S Q, Liu Z W, Gu X H. Changes of the fish fauna and fish yield analysis in Lake Taihu [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2007, **19**(6): 664-669. [朱松泉, 刘正文, 谷孝鸿. 太湖鱼类区系变化和渔获物分析 [J]. 湖泊科学, 2007, **19**(6): 664-669.]
- [61] Wang Q S. Study on ichthyological fauna of Chao Lake [J]. *Journal of Anhui University (Natural Sciences)*, 1987, **11**(2): 70-78. [王岐山. 巢湖鱼类区系研究 [J]. 安徽大学学报(自然科学版), 1987, **11**(2): 70-78.]
- [62] Guo L G, Xie P, Ni L Y *et al.* The status of fishery resources of Lake Chaohu and its response to eutrophication [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2007, **31**(5): 700-705. [过龙根, 谢平, 倪乐意, 等. 巢湖渔业资源现状及其对水体富营养化的响应研究 [J]. 水生生物学报, 2007, **31**(5): 700-705.]
- [63] Wu X W. Limnological survey of Lake Wulihu in year 1951-Part 5, fish fauna analysis [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1962(1): 109-112. [伍献文. 五里湖1951年湖泊学调查五、鱼类区系及其分析 [J]. 水生生物学报, 1962(1): 109-112.]
- [64] Zhang H Y, Yuan Y M, He Y H, *et al.* Composition of fishes and spatial analysis of biodiversity in Lihu Lake [J]. *Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science)*, 2010, **25**(1): 22-28. [张红燕, 袁永明, 贺艳辉, 等. 蠡湖鱼类群落结构及物种多样性的空间特征 [J]. 云南农业大学学报, 2010, **25**(1): 22-28.]
- [65] Wang L M, Hu H J, Wang D. Ecological impacts of disconnection from the Yangtze on fish resources in Zhangdu Lake [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2005, **14**(3): 287-292. [王利民, 胡慧建, 王丁. 江湖阻隔对涨渡湖区鱼类资源的生态影响 [J]. 长江流域资源与环境, 2005, **14**(3): 287-292.]

- [66] Gong J, Wang T, Li X, *et al.* Interannual variation of the fish community structure in the Tian-e-Zhou oxbow of Yangtze River [J]. *Journal of Hydroecology*, 2018, **39**(4): 46-53. [龚江, 王腾, 李霄, 等. 长江天鹅洲故道鱼类群落结构特征及其年际变化 [J]. 水生生态学杂志, 2018, **39**(4): 46-53.]
- [67] Zhang T L, Fang R L, Cui Y B. Comparisons of fish community diversity in five lake areas under different levels of fishery development [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1996, **20**(Supplement): 191-199. [张堂林, 方榕乐, 崔亦波. 渔业发展阶段不同的五个水体鱼类多样性的比较 [J]. 水生生物学报, 1996, **20**(Supplement): 191-199.]
- [68] Chen Z P, Xu A G, Wang Z L, *et al.* Fish fauna and resource proliferation of Lake Chenghu in Suzhou [J]. *Inland Fisheries*, 2004, **29**(8): 33-35. [陈祖培, 许爱国, 王志林, 等. 苏州澄湖鱼类区系与资源增殖 [J]. 内陆水产, 2004, **29**(8): 33-35.]
- [69] Huang G T, Xie P. Changes in the structure of fish community with the analysis on the possible reasons in lake Donghu, Wuhan [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1996, **20**(Supplement): 38-46. [谢平, 黄根田. 武汉东湖鱼类群落结构的变化及其原因的分析 [J]. 水生生物学报, 1996, **20**(Supplement): 38-46.]
- [70] Zhang T L. Life-history strategies, trophic patterns and community structure in the fishes of Lake Biandantang [D]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, 2005: 158-159. [张堂林. 扁担塘鱼类生活史策略、营养特征及群落结构研究 [D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 2005: 158-159.]
- [71] Zhang T L, Li Z J, Guo Q S. Investigations on fishes and fishery of four lakes along the middle and lower basins of the Changjiang River [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2008, **32**(2): 167-177. [张堂林, 李钟杰, 郭青松. 长江中下游四个湖泊鱼类与渔业研究 [J]. 水生生物学报, 2008, **32**(2): 167-177.]
- [72] He Y F, Li H C, Wang X G, *et al.* Spatial-temporal variation of fish community structure in Lake Changhu [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2016, **25**(2): 265-273. [何勇凤, 李昊成, 王旭歌, 等. 长湖鱼类群落结构的时空变化 [J]. 长江流域资源与环境, 2016, **25**(2): 265-273.]
- [73] Gu C, Jiang M T, Jiang Z G. Impacts of habitat filtering on taxonomic and functional composition of fish communities in Lake Caizi, lower reaches of the Yangtze River [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2020, **32**(1): 124-133. [古辰, 姜美彤, 蒋忠冠. 生境过滤作用对长江下游菜子湖鱼类物种和功能组成的影响 [J]. 湖泊科学, 2020, **32**(1): 124-133.]
- [74] Fu C C. Biodiversity pattern and resources of fish in the Yangtze River basin with discussion on biodiversity and phylogeny of silver fish [D]. Shanghai: Fudan University, 2003: 42-44. [傅萃长. 长江流域鱼类多样性空间格局与资源分析 [D]. 上海: 复旦大学, 2003: 42-44.]
- [75] Liang Z S, Zhou C S, Huang H N. Composition and seasonal changes of fishes in Lake Wuhu connected with Changjiang River [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1981, **12**(5): 468-478. [梁秩桑, 周春生, 黄鹤年. 长江中游通江湖泊——五湖的鱼类组成及其季节变化 [J]. 海洋与湖沼, 1981, **12**(5): 468-478.]
- [76] Liu S X. Study on fish community structures and the biology and biomass estimation of the main fish species in Dianshan Lake [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2016: 14-16. [刘仕鑫. 淀山湖鱼类群落结构及主要鱼种生物学和资源量估算研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2016: 14-16.]
- [77] Tang S K, Zhang T Q, Li D M, *et al.* The structure and spatial distribution of fish community in Luoma Lake in summer [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2018, **46**(1): 107-111. [唐晟凯, 张彤晴, 李大命, 等. 骆马湖夏季鱼类群落结构及其空间分布 [J]. 江苏农业科学, 2018, **46**(1): 107-111.]
- [78] Tang S K, Zhang T Q, Kong Y J, *et al.* Ichthyological survey and fish yield analysis of Lake Gehu [J]. *Journal of Hydroecology*, 2009, **30**(6): 20-24. [唐晟凯, 张彤晴, 孔优佳, 等. 漏湖鱼类学调查及渔获物分析 [J]. 水生生态学杂志, 2009, **30**(6): 20-24.]
- [79] Zhang J J. Analysis on fish community and ecosystem structure in Lake Kuilei [D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2012: 22-23. [张晶晶. 槐蓩湖鱼类群落及生态系统结构分析 [D]. 合肥: 安徽农业大学, 2012: 22-23.]
- [80] Gong J. The comparative study on fish community structure in He-Wang-Miao Oxbow and Tian-e-Zhou Oxbow, Yangtze River [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2017: 13-15. [龚江. 长江何王庙故道和天鹅洲故道鱼类群落结构比较研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2017: 13-15.]
- [81] Xia W K. Studies on the fisheries resources and fish stocking model of Wuhu Lake [D]. Nanchang: Nanchang University, 2007: 17-19. [夏文凯. 武湖渔业资源及鱼类放养模式的研究 [D]. 南昌: 南昌大学, 2007: 17-19.]
- [82] Yang P H, Chen H W, Yu Y, *et al.* An investigate of the natural resources and the strategic thinking of comprehensive development and utilization in Datonghu Lake [J]. *Journal of Hunan University of Arts and Science (Natural Science Edition)*, 2013, **25**(1): 21-27. [杨品红, 陈红文, 于杨, 等. 大通湖自然资源调查及综合开发利用战略思考 [J]. 湖南文理学院学报(自然科学版), 2013, **25**(1): 21-27.]
- [83] Yang D Q, Fang C Y, Zou S X, *et al.* Studies on the fish resources and silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) growth in Yangqi Lake [J]. *Journal of Hubei Agricultural College*, 1998(4): 326-329. [杨代勤, 方长琰, 邹社校, 等. 洋圻湖的鱼类资源及白鲢生长的研究 [J]. 湖北农学院学报, 1998(4): 326-329.]
- [84] Xu J X, Fang C L, Liao H M. Fauna composition of lake fishes in Jinxian County [J]. *Jiangxi Fishery Science and Technology*, 1999(2): 15-19. [徐金星, 方春林, 廖华明. 进贤湖泊鱼类区系组成 [J]. 江西水产科技, 1999(2): 15-19.]
- [85] Hu J Y, Yao W Q, Li Z Y. Fish population composition and fishery survey report in Longwo Lake [J]. *Journal of Anhui University (Natural Science Edition)*, 1981(1): 93-99. [胡菊英, 姚闻卿, 李志云. 龙窝湖鱼类种群组成及渔业调查报告 [J]. 安徽大学学报(自然科学版), 1981(1):

- 93-99.]
- [86] Nelson J S, Grande T C, Wilson M V H. Fishes of the World [M]. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc, 2016.
- [87] Gibson R, Barnes M, Atkinson R. Practical measures of marine biodiversity based on relatedness of species [J]. *Oceanography and Marine Biology*, 2001(39): 207-231.
- [88] Graham N A J, McClanahan T R, Letourneur Y, *et al.* Anthropogenic stressors, inter-specific competition and ENSO effects on a Mauritian coral reef [J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2007, **78**(1): 57-69.
- [89] Warwick R M, Clarke K R. Taxonomic distinctness and environmental assessment [J]. *Journal of Applied Ecology*, 1998, **35**(4): 532-543.
- [90] Li F, Zhou X, Zhang L, *et al.* Taxonomic diversity of fish assemblages in coastal waters off Shandong [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, **35**(7): 2322-2330. [李凡, 周兴, 张岚, 等. 山东近海鱼类群落分类多样性 [J]. 生态学报, 2015, **35**(7): 2322-2330.]
- [91] Clarke K R, Gorley R N. PRIMER: Getting started with v6 [J]. *PRIMER-E Ltd: Plymouth, UK*, 2005, **931**: 932.
- [92] Bhat A, Magurran A E. Taxonomic distinctness in a linear system: a test using a tropical freshwater fish assemblage [J]. *Ecography*, 2006, **29**(1): 104-110.
- [93] Campbell N, Neat F, Burns F, *et al.* Species richness, taxonomic diversity, and taxonomic distinctness of the deep-water demersal fish community on the Northeast Atlantic continental slope (ICES Subdivision VIa) [J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2010, **68**(2): 365-376.
- [94] Hall S J, Greenstreet S P. Taxonomic distinctness and diversity measures: responses in marine fish communities [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1998, **166**: 227-229.
- [95] Abellan P, Bilton D T, Millan A, *et al.* Can taxonomic distinctness assess anthropogenic impacts in inland waters? A case study from a Mediterranean River Basin [J]. *Freshwater Biology*, 2006, **51**(9): 1744-1756.

RIVER-LAKE DISCONNECTION ON FISH TAXONOMIC DISTINCTNESS IN LAKES FROM MIDDLE AND LOWER REACHES OF THE YANGTZE RIVER

SHANG Kun-Yu^{1,2}, JIANG Ming^{2,3}, LIN Peng-Cheng² and LIU Huan-Zhang²

(1. College of Fishery, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 2. The Key Laboratory of Aquatic Biodiversity and Conservation, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China; 3. College of Fisheries and Life Science, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China)

Abstract: In the middle-lower reach of the Yangtze River, there are many lakes with intensive fish biodiversity, which are connected with the Yangtze mainstream historically. Since the 1950s, most of these lakes have experienced river-lake disconnection by anthropogenic impacts, leading to remarkable biodiversity decline of fish in these lakes. Based on the published literatures about fish assemblages in lakes, the taxonomic distinctness and temporal changes of fish communities in the connected lakes and disconnected lakes were examined by using two taxonomic diversity indices (average taxonomic distinctness, Δ^+ and variation in taxonomic distinctness, Λ^+), to assess the impact of river-lake disconnection. The results indicated that disconnected lakes showed significantly lower species richness and Δ^+ values (average values of 48.47 ± 14.64 and 74.02 ± 3.093 , respectively) than connected lakes (average values of 76.22 ± 14.40 and 78.31 ± 0.98 , respectively; $P < 0.001$), indicating the loss of fish diversity. On the contrary, the disconnected lakes showed significantly higher Λ^+ values (average values 736.89 ± 33.80) than connected lakes (average values of 697.31 ± 25.53 ; $P = 0.002$), indicating the increasing unevenness of taxonomic distinctness. Our analysis of temporal changes showed that species richness and Δ^+ generally declined, and Λ^+ generally increased through time within representative connected and disconnected lakes. However, the species richness, Δ^+ and Λ^+ values of the connected lake fluctuated over time, and the Λ^+ increased significantly over time. These mean that connected lakes were also affected by various disturbances, which led to the decline of taxonomic diversity and the distribution of fish in disconnected lakes was more concentrated in some taxa resulting high unevenness and low stability in the community. Based on our results, we suggested to restore the fish diversity in the middle and lower reaches of the Yangtze River by recovering the connection between the lakes and the Yangtze mainstream, improving the quality of fish habitat through water environment management, and scientifically adjusting the fish community structure.

Key words: Taxonomic distinctness; River-connected lakes; River-disconnected lakes; Fish community; Temporal dynamic

Attached table 1 Fish species composition in lakes in the middle and lower reaches of the Yangtze River

续表 1

目Order	科Family	属Genus	种Species	拉丁名Latin name
		麦穗鱼属	麦穗鱼	<i>Pseudorasbora parva</i>
			长麦穗鱼	<i>Pseudorasbora elongata</i>
		鯪属	华鯪	<i>Sarcocheilichthys sinensis</i>
			小鯪	<i>Sarcocheilichthys parvus</i>
			江西鯪	<i>Sarcocheilichthys kiangsiensis</i>
			黑鳍鯪	<i>Sarcocheilichthys nigripinnis</i>
		颌须鲃属	短须颌须鲃	<i>Gnathopogon imberbis</i>
		银鲃属	银鲃	<i>Squalidus argentatus</i>
			亮银鲃	<i>Squalidus nitens</i>
			点纹银鲃	<i>Squalidus wolterstorffi</i>
		铜鱼属	圆口铜鱼	<i>Coreius guichenoti</i>
			铜鱼	<i>Coreius heterodon</i>
		吻鲃属	吻鲃	<i>Rhinogobio typus</i>
			圆筒吻鲃	<i>Rhinogobio cylindricus</i>
		似鲃属	似鲃	<i>Pseudogobio vaillanti</i>
		棒花鱼属	棒花鱼	<i>Abbottina rivularis</i>
		小鰾鲃属	福建小鰾鲃	<i>Microphysogobio fukiensis</i>
			乐山小鰾鲃	<i>Microphysogobio kiatingensis</i>
			小口小鰾鲃	<i>Microphysogobio brevirostris</i>
			洞庭小鰾鲃	<i>Microphysogobio tungtingensis</i>
		蛇鲃属	长蛇鲃	<i>Saurogobio dumerili</i>
			蛇鲃	<i>Saurogobio dabryi</i>
			光唇蛇鲃	<i>Saurogobio gymnocheilus</i>
			细尾蛇鲃	<i>Saurogobio gracilicaudatus</i>
		鳅鲇属	宜昌鳅鲇	<i>Gobiobotia filifer</i>
		鲮属	大鳍鲮	<i>Acheilognathus macropterus</i>
			越南鲮	<i>Acheilognathus barbatus</i>
			须鲮	<i>Acheilognathus barbatus</i>
			短须鲮	<i>Acheilognathus barbatulus</i>
			无须鲮	<i>Acheilognathus gracilis</i>
			兴凯鲮	<i>Acheilognathus chankaensis</i>
			大口鲮	<i>Acheilognathus tabira</i>
			多鳞鲮	<i>Acheilognathus polylepis</i>
			白河鲮	<i>Acheilognathus peihoensis</i>
			彩副鲮	<i>Acheilognathus imberbis</i>
		田中鲮属	革条田中鲮	<i>Tanakia himantegus</i>
		鲮属	高体鲮	<i>Rhodeus ocellatus</i>
			中华鲮	<i>Rhodeus sinensis</i>
			方氏鲮	<i>Rhodeus fangi</i>
		倒刺鲃属	中华倒刺鲃	<i>Spinibarbus sinensis</i>
			光倒刺鲃	<i>Spinibarbus hollandi</i>
		华鲮属	湘华鲮	<i>Bangana tungting</i>
		光唇鱼属	光唇鱼	<i>Acrossocheilus fasciatus</i>
		白甲鱼属	白甲鱼	<i>Onychostoma simum</i>
		鲤属	鲤	<i>Cyprinus carpio</i>
		鲫属	鲫	<i>Carassius auratus</i>

续表 1

目Order	科Family	属Genus	种Species	拉丁名Latin name
鲇形目	胭脂鱼科	细鲫属	中华细鲫	<i>Aphyocypris chinensis</i>
		胭脂鱼属	胭脂鱼	<i>Myxocyprinus asiaticus</i>
		犁头鳅属	犁头鳅	<i>Lepturichthys fimbriata</i>
		后平鳅属	峨嵋后平鳅	<i>Metahomaloptera omeiensis</i>
		副沙鳅属	花斑副沙鳅	<i>Parabotia fasciata</i>
		薄鳅属	武昌副沙鳅	<i>Parabotia banarescui</i>
			长薄鳅	<i>Leptobotia elongata</i>
			红唇薄鳅	<i>Leptobotia rubrilabris</i>
			紫薄鳅	<i>Leptobotia taeniops</i>
		花鳅属	中华沙鳅	<i>Sinibotia superciliaris</i>
		泥鳅属	泥鳅	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>
		鳅属	中华花鳅	<i>Cobitis sinensis</i>
			大斑花鳅	<i>Cobitis macrostigma</i>
			大鳞副泥鳅	<i>Paramisgurnus dabryanus</i>
			鲇	<i>Silurus asotus</i>
	鲇科	鲇属	南方鲇	<i>Silurus meridionalis</i>
	胡子鲇科	胡子鲇属	胡子鲇	<i>Clarias fuscus</i>
			黄颡鱼	<i>Pelteobagrus fulvidraco</i>
			长须黄颡鱼	<i>Pelteobagrus eupogon</i>
			瓦氏黄颡鱼	<i>Pelteobagrus vachellii</i>
		鳊属	光泽黄颡鱼	<i>Pelteobagrus nitidus</i>
			纵带鳊	<i>Leiocassis argentivittatus</i>
			长吻鳊	<i>Leiocassis longirostris</i>
			粗唇鳊	<i>Leiocassis crassilabris</i>
		拟鲮属	白边拟鲮	<i>Pseudobagrus albomarginatus</i>
			圆尾拟鲮	<i>Pseudobagrus tenuis</i>
			细体拟鲮	<i>Pseudobagrus pratti</i>
			切尾拟鲮	<i>Pseudobagrus truncatus</i>
		鳊属	乌苏拟鲮	<i>Pseudobagrus ussuriensis</i>
			大鳍鳊	<i>Mystus macropterus</i>
颌针鱼目	钝头鳊科	鳊属	黑尾鳊	<i>Liobagrus nigricauda</i>
			白缘鳊	<i>Liobagrus marginatus</i>
			司氏鳊	<i>Liobagrus styani</i>
			鳊尾鳊	<i>Liobagrus anguillicauda</i>
		纹胸鲃属	拟缘鳊	<i>Liobagrus marginatoides</i>
			中华纹胸鲃	<i>Glyptothorax sinensis</i>
		青鲮属	青鲮	<i>Oryzias latipes</i>
			间下鲮	<i>Hyporhamphus intermedius</i>
		刺鲃属	刺鲃	<i>Macrogathus aculeatus</i>
			中华刺鲃属	<i>Sinobdella sinensis</i>
		黄鲮属	黄鲮	<i>Monopterus albus</i>
			鳊	<i>Siniperca chuatsi</i>
			长身鳊	<i>Siniperca roulei</i>
			大眼鳊	<i>Siniperca kneri</i>
鲈形目	鳊科	鳊属	斑鳊	<i>Siniperca scherzeri</i>
			波纹鳊	<i>Siniperca undulata</i>

续表 1

目Order	科Family	属Genus	种Species	拉丁名Latin name
鲈形目	沙塘鳢科	黄魮鱼属	小黄魮鱼	<i>Micropercops swinhonis</i>
		沙塘鳢属	河川沙塘鳢	<i>Odontobutis potamophila</i>
	鰕虎鱼科	鲮鰕虎鱼属	粘皮鲮鰕虎鱼	<i>Mugilogobius myxodermus</i>
			子陵吻虾虎鱼	<i>Rhinogobius giurinus</i>
		吻鰕虎鱼属	波氏吻鰕虎鱼	<i>Rhinogobius cliffordpopei</i>
			褐吻鰕虎鱼	<i>Rhinogobius Brunneus</i>
			须鰕虾虎鱼	<i>Taenioides cirratus</i>
			红狼牙鰕虎鱼	<i>Odontamblyopus rubicundus</i>
		狼鰕虎鱼属	拉氏狼牙鰕虎鱼	<i>Odontamblyopus lacepedii</i>
			纹鰕鰕虎鱼	<i>Tridentiger trigonocephalus</i>
		缟鰕虎鱼属	纹缟鰕虎鱼	<i>Tridentiger trigonocephalus</i>
	丝足鲈科	斗鱼属	圆尾斗鱼	<i>Macropodus chinensis</i>
			叉尾斗鱼	<i>Macropodus opercularis</i>
	鳢科	鳢属	乌鳢	<i>Channa argus</i>
			月鳢	<i>Channa asiatica</i>
鲈形目	舌鳎科	舌鳎属	三线舌鳎	<i>Cynoglossus trigrammus</i>
			窄体舌鳎	<i>Cynoglossus gracilis</i>
鲉形目	鲉科	东方鲉属	弓斑多纪鲉	<i>Takifugu ocellatus</i>
			暗纹东方鲉	<i>Takifugu obscurus</i>