



•研究报告•

澜沧江–湄公河中上游淡水鱼类多样性

李雪晴^{1,2} 孙赫英^{1,2} 何德奎^{1*} 陈毅峰¹

1 (中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072)

2 (中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 澜沧江–湄公河是东南亚最大的河流, 也是世界上淡水生物多样性最高的三大河流之一。由于特殊的地理位置和国际河流属性, 澜沧江–湄公河淡水鱼类的多样性现状仍缺乏系统的认识。本文在近20年调查的基础上, 系统整理了澜沧江–湄公河中上游32个支流或亚流域的淡水鱼类物种名录, 在此基础上对其种类组成和分布进行了分析, 并利用分类学多样性指数对澜沧江–湄公河中上游流域的物种多样性进行了评估。结果表明, 澜沧江–湄公河中上游共记录了淡水鱼类745种, 分属于2纲17目63科229属, 其中鲤形目鱼类451种, 占物种数的60.5%。分类学多样性指数显示, 从源头到中游, 淡水鱼类在分类阶元上的分布越来越均匀, 亲缘关系越来越远, 分类多样性越来越高。聚类分析(cluster analysis, CA)和多维尺度分析(multi-dimensional scaling, MDS)表明, 当Jaccard相似性系数为8.69时, 澜沧江–湄公河中上游32个亚流域可以分为源区、上游和中游3组; 相似性分析(ANOSIM)结果显示, 各组之间淡水鱼类组成差异显著($R = 0.877, P = 0.001$)。相似性百分比分析(similarity percentage analysis, SIMPER)结果表明, 导致3组差异性的鱼类主要是鲤形目和鲇形目鱼类, 且随着地势阶梯的升高出现了科级、属级类群的替代。近几十年来, 随着流域各国人口的增长和经济的快速发展, 澜沧江–湄公河鱼类多样性和渔业资源面临严重威胁, 未来需加强流域内国家间合作, 在流域尺度上制定科学保护计划。

关键词: 澜沧江–湄公河; 淡水鱼类; 种类组成; 分类学多样性

Freshwater fish diversity in the upper and middle reaches of the Lancang-Mekong River

Xueqing Li^{1,2}, Heying Sun^{1,2}, Dekui He^{1*}, Yifeng Chen¹

1 Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

Abstract: The Lancang-Mekong River is the longest river in Southeast Asia, and is one of the richest areas of freshwater biodiversity in the world. Because it is an international river through six countries and holds extremely high fish biodiversity, there is a lack of systematic understanding of freshwater fish diversity. Over the past two decades, this team systematically compiled a list of freshwater fish species in 32 sub-basins or tributaries in the upper and middle reaches of the Lancang-Mekong River. Now in this paper, the species composition and distribution of fish have been analyzed, and the species diversity of the upper and middle reaches of the Lancang-Mekong River has been evaluated using the taxonomic diversity index. The results showed that 745 species of freshwater fish were recorded in the middle and upper reaches of the Lancang-Mekong River. These fish belong to 229 genera, 63 families, 17 orders and 2 classes. Of these, 451 species of Cypriniformes fish accounted for 60.5% of the species. The taxonomic diversity index showed that, from the source to the middle reaches of the river, the taxonomic distribution of freshwater fish became increasingly more even, the relationships were increasingly further apart, and the fish diversity gradually increased. Cluster analysis (CA) and multi-dimensional scaling analysis (MDS) results showed that the 32 sub-basins could be divided into three groups (Jaccard similarity coefficient=8.69), and the analysis of similarity (ANOSIM) indicated that the composition of freshwater fish differed significantly between the groups ($R = 0.877, P = 0.001$). Similarity percentage analysis (SIMPER) results indicated that Cypriniformes

收稿日期: 2019-06-13; 接受日期: 2019-08-30

基金项目: 中国科学院东南亚生物多样性中心区域性国际合作基金(Y4ZK111B01)和中国科学院先导 A 类先导专项(XDA20050203)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: hedekui@ihb.ac.cn

and Siluriformes were the main fish that differed among the three groups, and the species composition of groups presented distinctive changes at the family and species levels with the altitude rising. With the rapid population growth and economic development of the countries in the river basin in recent decades, the fish diversity and fishery resources of the Lancang-Mekong River face serious threats. Thus, it is urgent that countries in the river basin cooperate and formulate a scientific protection plan at the basin scale.

Key words: Lancang-Mekong River; freshwater fish; species composition; taxonomic diversity

生物多样性是人类赖以生存的物质基础, 包括遗传多样性、物种多样性和生态系统多样性等多个层次(戈峰, 2008), 而物种多样性是生物多样性最直接也是最核心的体现(魏辅文等, 2014)。因此, 准确描述、度量和评估物种多样性是生态学和保护生物学长期关注的问题, 并为此提出了在不同尺度上的物种多样性指数及基于这些多样性指数的多元分析方法(蒋志刚和纪力强, 1999)。

澜沧江-湄公河是全球淡水生物多样性最高的三大河流之一, 估计至少有 890 种淡水鱼类(Rainboth et al, 2012), 仅次于亚马孙河(Baran, 2010)。近百年来, 众多科学家和国际组织(如湄公河委员会 MRC、WWF)对澜沧江-湄公河鱼类进行了长期、持续的研究和编目, 但是, 由于澜沧江-湄公河极高的多样性、复杂多样的生态系统、不断的新种和新记录种发现以及分类学修订和变动, 加之该河流的国际河流属性, 使得目前对该流域鱼类多样性的现状和分布缺乏一个完整的认知。

澜沧江-湄公河中上游是指从源头到老挝南端与柬埔寨的边界河段, 该流域内所有河段穿梭于高原、山地和丘陵中, 山区巨大的垂直落差、高度的景观异质性和多样的栖息环境, 加之中游又处于亚热带季风地区, 以及地处青藏高原区、东洋区的东亚区和南亚区的过渡地带, 导致中上游不同河段、支流间鱼类多样性变化明显, 区系组成差异显著。此外, 中上游还是澜沧江-湄公河水能资源最丰富的河段, 蕴藏了整个流域 70% 以上的水能资源(陈丽晖和何大明, 2000), 而澜沧江-湄公河流域水电开发引起的下游渔业资源衰退又是国际关注的重要生态环境问题。

本文依据 1999-2017 年澜沧江-湄公河流域实地调查数据, 结合相关文献、专著、调查报告以及在线数据库, 以支流和亚流域为地理单元, 系统收集和整理了澜沧江-湄公河中上游淡水鱼类物种和地理分布, 并对该区域的淡水鱼类种类组成和分布

进行了分析, 然后利用分类学多样性指数对澜沧江-湄公河中上游流域的物种多样性进一步评估验证, 以期为澜沧江-湄公河鱼类多样性的保护和鱼类资源的利用及管理提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 流域概况

澜沧江-湄公河发源于中国青海省玉树州杂多县莫云乡唐古拉山北麓, 流经中国境内青海、西藏和云南三省后, 经缅甸、老挝、泰国、柬埔寨和越南五国, 最后于越南胡志明市注入南海。全长约 4,909 km, 流域总面积约 811,000 km², 年径流量 4.75×10^{11} m³, 是著名的国际性河流(何大明, 1995)。澜沧江-湄公河为自北向南纵向性河流, 地跨纬度 30°, 地势北高南低, 呈条带状, 源头至河口海拔落差达到 5,060 m 以上(孙周亮等, 2018)。源区位于青藏高原, 平均海拔在 4,000 m 以上, 除高大险峻的雪峰外, 山势平缓; 自云南德钦至中国、老挝边界是纵贯中国西南部的纵向岭谷区, 该段落差达 1,780 m, 平均海拔 1,200 m; 从中老边界到老挝南端, 河流坡度渐缓, 河道渐宽, 一些支流注入干流, 平均海拔为 385 m; 老挝南端至干丹省, 该段水文情势变化巨大, 山区急流转变为缓流, 洞里萨湖便位于该段内; 从干丹延伸至入海口属于河口区, 是一个巨大的三角洲(游珍等, 2014; 孙周亮等, 2018)。本文所研究区域为澜沧江-湄公河中上游流域, 即从源头到老挝与柬埔寨交界之间的河段。

1.2 地理单元(亚流域)划分

在澜沧江-湄公河流域天然河流系统的基础上, 结合地形地貌、行政区划以及鱼类分布数据可获得性等因素, 将湄公河中上游流域划分为 32 个亚流域(Kang et al, 2009a; Baran, 2010; Ziv et al, 2012): 扎曲(ZQ), 包括紫曲、昂曲、子曲和麦曲; 色曲(SQ), 包括若曲; 阿东河(AD); 永春河(YC); 通甸河(TD); 泖江(BJ), 包括腊普河、瓦窑河; 黑惠江(HH); 洱海

(EH); 罗闸河(LZ); 小黑河(XH), 包括大寨河、芒帕河; 勐嘎河(MG); 威远江(WY); 黑河(HR), 包括南岸河; 大中河(DZ); 补远江(BY); 流沙河(LS), 包括南垒河、南览河、南阿河; 南腊河(NL); 中老边界至老挝博胶(Bokeo)北塔区(Paktha)的干流段(MK-1); 北塔区至琅勃拉邦(Louang Phabang)南乌江口的干流段(MK-2); 南乌江(Nam Ou River, NO); 南康河(Nam Khan River, NK); 琅勃拉邦南乌江口至万象(Vientiane)南俄河河口的干流段(MK-3); 南俄河(Nam Ngum River, NN); 南涅河(Nam Nhiep River, NNP); 南卡丁河(Nam Cadinh River, NC); 颂堪河(Songkhram River, SG); 锡河(Chi River, CHI); 蒙河(Mun River, MUN); 色邦非河(Se Bang Fai River, SBF); 色邦亨河(Se Bang Hieng River, SBH); 塞公河(Se Kong River, SK); 颂堪河口至老挝与柬埔寨边界的干流段(MK-4) (图1)。流域的划分采用 ArcMap 10.2 软件。

1.3 数据来源

依据 1999–2017 年澜沧江和湄公河流域实地调查数据, 包括国内样点 7 个, 泰国和老挝样点 16 个, 样点分布见图 1, 并参考相关文献、专著、调查报告(附录 1)以及在线数据库(Fishbase, Global Biodiversity Information Facility, MFD Fish Database 等), 排除同物异名, 更新分类地位变动。本文涉及的淡水鱼类是指终生生活在淡水(初级淡水鱼类)和生命某些阶段必须在淡水中度过的种类(如溯河和降河洄游鱼类), 不包括分布在河口、海洋和偶然进入淡水水域的物种以及外来物种。所有物种有效性和分类地位在 Catalog of Fishes 数据库中进行确认(Eschmeyer & Fricke, 2019)。物种分布数据按亚流域的存在/缺失形式整理。

1.4 数据分析

1.4.1 鱼类组成相似度分析

以 32 个亚流域的存在/缺失数据作为原始数据, 在 Jaccard 相似性系数的基础上构建相似性矩阵, 在此基础上利用聚类分析(cluster analysis, CA)和多维尺度分析(multi-dimensional scaling, MDS)展示鱼类组成格局。利用相似性分析(analysis of similarities, ANOSIM)对聚类结果进行差异检验, 并通过对聚类划分的亚流域组进行相似性百分比分析(similarity percentage analysis, SIMPER)来确定造成鱼类组成差异的主要贡献种属。Jaccard 相似

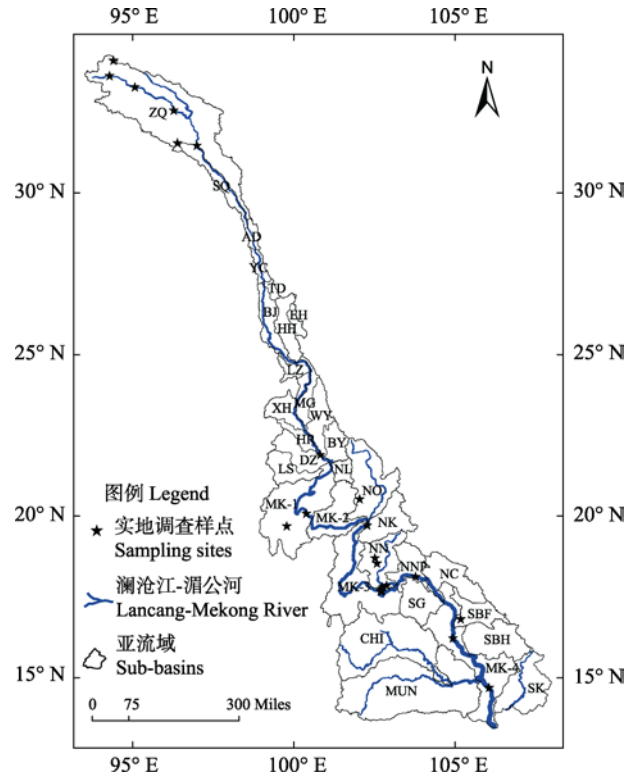


图 1 澜沧江-湄公河中上游流域、地理单元(亚流域或支流)以及调查样点分布图。亚流域划分: ZQ: 扎曲; SQ: 色曲; AD: 阿东河; YC: 永春河; TD: 通甸河; EH: 洱海; BJ: 泚江; HH: 黑惠江; LZ: 罗闸河; MG: 勐嘎河; XH: 小黑河; WY: 威远江; HR: 黑河; BY: 补远江; LS: 流沙河; NL: 南腊河; DZ: 大中河; MK-1: 中老边界-博胶; MK-2: 博胶-琅勃拉邦南乌江口; NO: 南乌江; NK: 南康河; NN: 南俄河; MK-3: 琅勃拉邦南乌江口-万象南俄河口; NNP: 南涅河; NC: 南卡丁河; SG: 颂堪河; CHI: 锡河; MUN: 蒙河; SBF: 色邦非河; SBH: 色邦亨河; SK: 塞公河; MK-4: 颂堪河口-老挝与柬埔寨边界。

Fig. 1 Map of the upper and middle reaches of the Lancang-Mekong River, the geographic regions (sub-basins or tributaries) and investigation spots in this study. Sub-basins Division: ZQ: Zaqu; SQ: Sequ; AD: Adong River; YC: Yongchun River; TD: Tongdian River; EH: Erhai; BJ: Bjiang; HH: Heihui River; LZ: Luoza River; MG: Mengga River; XH: Xiaohei River; WY: Weiyuan River; HR: Hei River; BY: Buyuan River; LS: Liusha River; NL: Nanla River; DZ: Dazhong River; MK-1: The Border between China and LAOs-Bokeo, LAOs; MK-2: Bokeo-Nam Ou River Estuary, Luang Prabang; NO: Nam Ou River; NK: Nam Khan River; NN: Nam Ngum River; MK-3: Nam Ou River Estuary, Luang Prabang-Nam Ngum Estuary, Vientiane; NNP: Nam Nhiep River; NC: Nam Cadinh River; SG: Songkhram River; CHI: Chi River; MUN: Mun; SBF: Se Bang Fai River; SBH: Se Bang Hieng River; SK: Se Kong River; MK-4: Songkhram Estuary-the border between LAOs and Cambodia.

性系数计算公式:

$$C_j = c / (a + b - c) \quad (1)$$

式中, a 为亚流域A的物种数, b 为亚流域B的物种数, c 为A、B两个亚流域之间的共有物种数。以上分析使用PRIMER 6.0软件进行(Clarke & Warwick, 2001b)。

1.4.2 分类学多样性分析

传统多样性指数受限于采样大小、方法, 忽略了物种之间的差异和亲缘关系信息(Clarke & Warwick, 1998, 2001a), 相同的计算结果可能对应着完全不同的生态群落, 影响人们对群落结构的理解和不同数据间的比较, 无法反映群落中生物分类的变化(曲方圆和于子山, 2010)。因此, 我们采用平均分类差异指数(average taxonomic distinctness, Δ^+)和分类差异变异指数(variation in taxonomic distinctness, Λ^+)来评估澜沧江-湄公河中上游流域淡水鱼类多样性:

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

$$\Lambda^+ = \sum_{i < j} (\omega_{ij} - \Delta^+)^2 / [S(S-1)/2] \quad (3)$$

其中, ω_{ij} 为第*i*和第*j*个种在分类系统树中的路径长度, S 为物种数。

根据名录中不同分类等级水平的物种丰富度设置不同分类等级间加权路径长的权重(徐宾铎等, 2005; Zhang et al, 2018), 将本研究的分类等级确定为纲、目、科、属和种5个水平。采用PRIMER 6.0软件包中的TAXDTEST进行数据分析(Warwick & Clarke, 2001)。

2 结果

2.1 物种组成

澜沧江-湄公河中上游流域内共记录淡水鱼类745种, 隶属2纲17目63科229属(附录2)。

从目的种类组成来看, 鲤形目最多, 13科124属451种, 占总物种数的60.5%; 其次是鲇形目, 12科37属144种, 占物种数的19.3%; 鲈形目排名第三, 16科29属67种, 占总物种数的9.0%; 其余为合鳃目、鲉形目、鲱形目、颌针鱼目、鲾形目、骨舌鱼目、海龙目、鱈形目、刺鱼目、鲟形目、鳗鲡目、犁头鳐目、胡瓜鱼目、银汉鱼目14目, 共22科39属83种, 占总物种数的11.2%。

从科的组成来看: 以鲤科为主, 包含190种, 占总数的25.5%; 条鳅科次之, 107种, 占总数的14.4%; 鲟科第三, 53种, 占总数的7.1%; 鲱科36种, 占总数的4.8%; 鲿科30种, 占总数的4%; 鲇科28种, 占

总数的3.8%; 鳅科26种, 占总数的3.5%; 鲈科20种, 占总数的2.7%; 爬鳅科和鮡科均为18种, 分别占总数的2.4%; 虾虎鱼科17种, 占总数的2.3%; 鲇科15种, 占总数的2%; 沙鳅科14种, 占总数的1.9%; 粒鲇科13种, 占总数的1.7%。以上15科包括的物种数超过湄公河中上游淡水鱼类物种总数的80%。

从属的组成看, 物种数排列在前10位的分别是南鳅属(*Schistura*)、波鱼属(*Rasbora*)、吻孔鲃属(*Poropuntius*)、纹胸鮡属(*Glyptothorax*)、鳊属(*Myxus*)、神鲃属(*Devario*)、鲃属(*Pangasius*)、墨头鱼属(*Garra*)、野鲮属(*Labeo*)、单孔鲃属(*Pao*)。

从分布频度看, 宽额鳊(*Channa gachua*)频次最多, 在21个亚流域中出现; 其次是大刺鳅(*Mastacembelus armatus*)和长嘴鱮(*Raiamas guttatus*), 在20个亚流域中出现; 最少的是泰国小眼刺鳅(*Acanthopsis thiemmedhi*)、鞍斑粒鲇(*Akysis ephippifer*)、北梭短吻鱼(*Albulichthys albuloides*)等240种鱼类, 仅出现在1个亚流域。

2.2 分类学多样性指数

根据物种名录计算得到澜沧江-湄公河中上游淡水鱼类平均分类差异指数(Δ^+)和分类差异变异指数(Λ^+) (表1)。平均分类差异指数(Δ^+)介于56.92–72.31之间, 在该范围内 Δ^+ 值越大, 表明亚流域间的亲缘关系越远。从源头到中游, Δ^+ 整体趋势增大, 说明分类学等级水平越来越高, 亲缘关系也越来越远, 分类多样性越来越高。分类差异变异指数(Λ^+)介于182.76–550.32之间, 在该范围内 Λ^+ 值越大, 表明亚流域间的分类地位关系越不均匀。相对来说, 阿东河的 Λ^+ 最大, 其次是扎曲、大中河、洱海、永春、通甸河和色曲, 说明源区附近的鱼类在分类阶元上是最不均匀的, 颂堪河的 Λ^+ 最小, 其次是锡河和颂堪河口至老挝与柬埔寨边界的干流段, 说明中游附近的鱼类在分类阶元上是最均匀的。

进一步做 Δ^+ 和 Λ^+ 的95%置信漏斗图(图2), 置信漏斗中部的虚线是平均值曲线, 其上方为最大值曲线, 下方为最小值曲线。 Δ^+ 的理论平均值为69.5, 源区和上游亚流域的 Δ^+ 值均低于平均值曲线, 其中洱海、扎曲、色曲、沘江、小黑河、补远江、流沙河、南腊河、南乌江、塞公河低于最小值曲线, 意味着受到了扰动; 颂堪河、锡河、蒙河和颂堪河口至老挝柬埔寨边界的干流段高于最大值曲线, 说明流域

表1 澜沧江-湄公河中上游32个亚流域平均分类差异指数(Δ^+)和分类差异变异指数(Δ^+) (河流代号见图1)。

Table 1 Average taxonomic distinctness (Δ^+) and variation in taxonomic distinctness (Δ^+) of 32 sub-basins in the upper and middle Lancang-Mekong River. Sub-basin codes are shown in Fig. 1.

亚流域 Sub-basin	物种数 Species number	平均分类差异指数 Average taxonomic distinctness (Δ^+)	分类差异变异指数 Variation in taxonomic distinctness (Δ^+)	亚流域 Sub-basin	物种数 Species number	平均分类差异指数 Average taxonomic distinctness (Δ^+)	分类差异变异指数 Variation in taxonomic distinctness (Δ^+)
ZQ	17	60.88	434.52	NL	116	65.78	221.76
SQ	24	61.45	348.62	MK-1	240	68.52	233.13
AD	10	60.89	550.32	MK-2	99	67.47	232.44
YC	21	63.05	379.28	NO	105	65.64	247.45
TD	26	62.95	370.35	NK	85	67.68	227.93
BJ	54	64.72	261.12	MK-3	223	70.52	223.58
HH	39	66.37	256.32	NN	157	67.92	224.96
EH	23	56.92	396.82	NNP	123	69.65	220.26
LZ	49	65.92	218.71	NC	104	69.47	226.98
XH	62	65.67	221.7	SG	70	72.31	182.76
MG	10	66.22	210.17	CHI	170	71.55	185.59
WY	32	67.06	242.95	MUN	294	71.68	198.2
HR	23	64.19	331.85	SBF	72	68.46	237.22
DZ	11	60.73	406.74	SBH	157	69.83	216.84
BY	100	66.5	247.27	SK	94	65.67	244.18
LS	109	66.14	226.43	MK-4	379	71.45	195.07

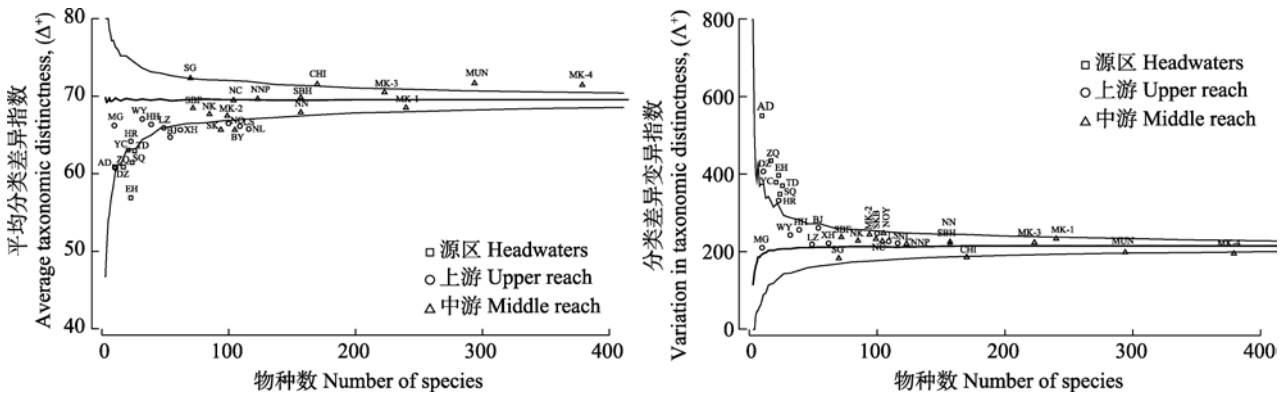


图2 澜沧江-湄公河中上游32个亚流域平均分类差异指数(Δ^+)和分类差异变异指数(Δ^+)的95%的置信区间漏斗图(河流代号同图1)。

Fig. 2 The 95% probability funnels of average taxonomic distinctness (Δ^+) and variation in taxonomic distinctness (Δ^+) for 32 sub-basins of the upper and middle reaches of Lancang-Mekong River. Sub-basin codes are shown in Fig. 1.

环境十分适宜, 物种的分类等级较多。 Δ^+ 的理论平均值为210, 亚流域阿东河、扎曲、永春河、色曲、大中河、黑河、通甸河和洱海高于最大值曲线, 说明物种在分类等级间的分布均匀性较差。

2.3 亚流域相似度

根据Jaccard相似性系数对32个亚流域物种相似性进行聚类分析结果表明, 当相似性系数为8.69时, 整个中上游流域可以分为3组(图3): 组1包括位

于湄公河源区的扎曲、色曲、阿东河、永春河和通甸河; 组2包括位于湄公河上游的泖江、威远江、小黑河、黑惠江、罗闸河、勐嘎河、大中河、黑河和洱海; 组3包括位于湄公河中游的流沙河、南腊河、补远江、中老边界至老挝博胶北塔区的干流段、北塔区至琅勃拉邦南乌江口的干流段、琅勃拉邦南乌江口至万象南俄河口的干流段、颂堪河至老挝与柬埔寨边界的干流段、南乌江、南卡丁河、锡河、南

康河、蒙河、南俄河、南涅河、色邦非河、色邦亨河、塞公河、颂堪河。MDS排序图与聚类分析图一致, 压力系数(Stress)为0.09, 而且补远江、南腊河和流沙河三个亚流域鱼类组成重叠明显(图4)。

ANOSIM分析表明, 澜沧江-湄公河中上游流域淡水鱼类组成的组间差异极为显著($R = 0.877$,

$P = 0.001$), 各个分组间的差异均达到了极为显著的水平($R_{\text{源区}\&\text{上游}} = 0.782, P = 0.001$; $R_{\text{上游}\&\text{中游}} = 0.83, P = 0.001$; $R_{\text{源区}\&\text{中游}} = 1, P = 0.001$), 其中源区和中游的鱼类组成差异是最大的。

相似性百分比分析(similarity percentage analysis, SIMPER)表明源区与上游、上游与中游、源区

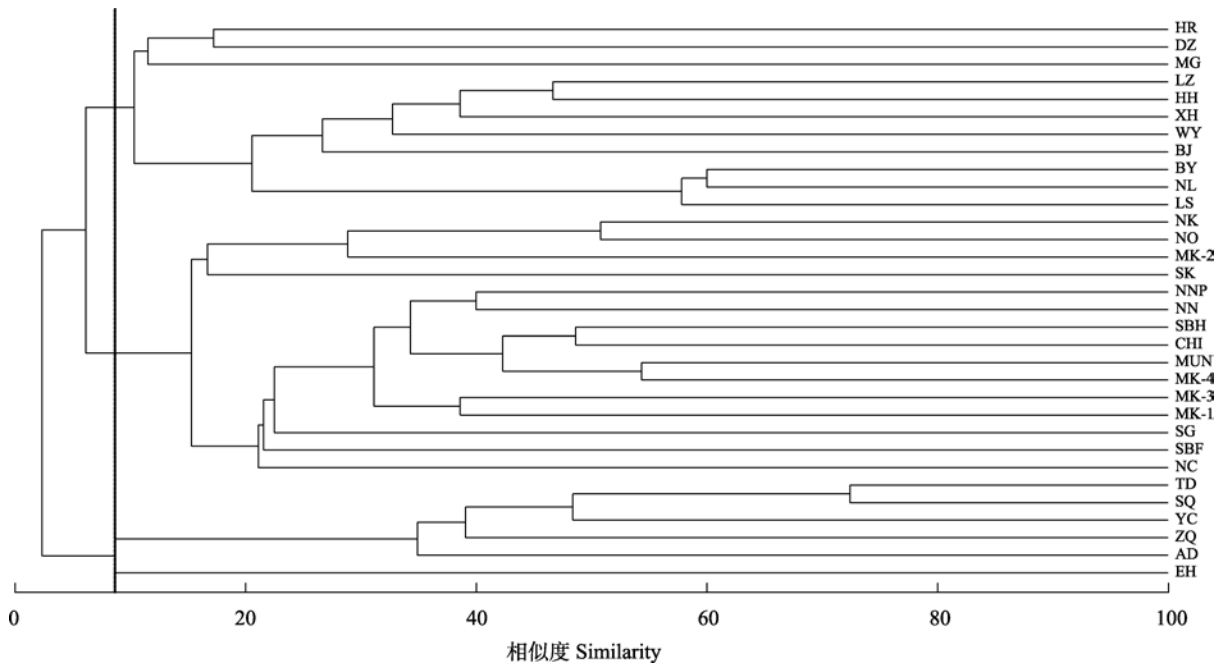


图3 基于Jaccard相似性矩阵和组平均聚类法构建的澜沧江-湄公河中上游32个亚流域淡水鱼类聚类树状图(河流代号见图1)
Fig. 3 Cluster analysis of 32 sub-basins freshwater fish data for the upper and middle reaches of the Lancang-Mekong River based on Jaccard similarity matrix and group average clustering method. Sub-basin codes are shown in Fig. 1.

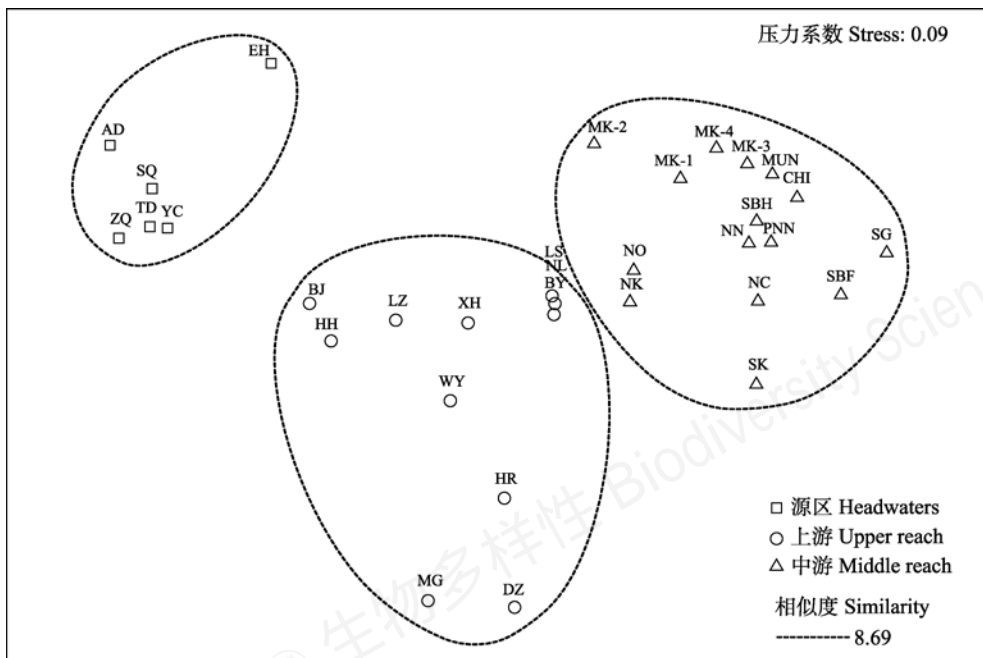


图4 基于Jaccard相似性矩阵的澜沧江-湄公河中上游32个亚流域淡水鱼类组成的多维尺度分析(MDS)排序图(河流代号见图1)
Fig. 4 Multi-dimensional scaling analysis of freshwater fish in 32 sub-basins in the upper and middle reaches of the Lancang-Mekong River based on Jaccard similarity matrix. Sub-basin codes are shown in Fig. 1.

表2 澜沧江-湄公河中上游3个生物地理区淡水鱼类组成相似的主要属及其贡献率

Table 2 The genera contributing to similarity of freshwater fish composition among three biogeographical regions in the upper and middle reaches of the Lancang-Mekong River.

关键属 Key genus	源区和上游 Headwaters & upper reach	上游和中游 Upper reach & middle reach	源区和中游 Headwaters & middle reach
高鲮属 <i>Altigena</i>	2.47	—	—
纹胸鲃属 <i>Glyptothorax</i>	7.62	2.37	2.15
半鲮属 <i>Hemibagrus</i>	—	1.9	—
间吸鳅属 <i>Hemimyzon</i>	2.4	—	—
长臀鲃属 <i>Mystacoleucus</i>	—	1.97	2.15
鲮属 <i>Mystus</i>	—	1.95	2.07
纹唇鱼属 <i>Osteochilus</i>	—	1.83	1.97
无齿鲃属 <i>Pangasianodon</i>	—	1.8	—
单孔鲃属 <i>Pao</i>	—	1.83	1.99
鲃属 <i>Pareuchiloglanis</i>	3.11	—	—
吻孔鲃属 <i>Poropuntius</i>	2.97	2.39	2.02
褶鲃属 <i>Pseudecheneis</i>	3.23	—	—
波鱼属 <i>Rasbora</i>	—	3.17	3.1
南鳅属 <i>Schistura</i>	2.83	3.92	2.79
裂腹鱼属 <i>Schizothorax</i>	6.25	—	2.61
结鱼属 <i>Tor</i>	2.68	—	—
高原鳅属 <i>Triplophysa</i>	6.18	—	2.27

与中游间的鱼类组成平均差异百分比分别为 90.84%、88.87%和99.37%。导致源区与上游的鱼类组成差异的主要种属有：纹胸鲃属、裂腹鱼属 (*Schizothorax*)、高原鳅属 (*Triplophysa*)、褶鲃属 (*Pseudecheneis*)、鲃属 (*Pareuchiloglanis*)、吻孔鲃属、南鳅属、结鱼属 (*Tor*)、高鲮属 (*Altigena*)和间吸鳅属 (*Hemimyzon*)；引起上游与中游鱼类组成差异的主要种属有：南鳅属、波鱼属、吻孔鲃属、纹胸鲃属、长臀鲃属 (*Mystacoleucus*)、鲮属、半鲮属 (*Hemibagrus*)、纹唇鱼属 (*Osteochilus*)、单孔鲃属和无齿鲃属 (*Pangasianodon*)；波鱼属、南鳅属、裂腹鱼属、高原鳅属、纹胸鲃属、长臀鲃属、鲮属、吻孔鲃属、单孔鲃属和纹唇鱼属是源区与中游鱼类组成差异的主要属(表2)。

3 讨论

澜沧江-湄公河鱼类组成的最大特点之一是物种多样性极高。由于独特的地理位置以及高度复杂的栖息地环境，澜沧江-湄公河鱼类物种的数量非

常惊人，国外曾有研究估计湄公河鱼类物种有 1,200–1,300种(Rainboth, 1996; Dudgeon, 2011)，淡水鱼类约有850种(Hortle, 2009; Dudgeon, 2011)。由湄公河委员会开发的湄公河鱼类数据库(MFD)统计有924种鱼类，其中土著鱼类898种(包括河口鱼类)，但这个数据库所覆盖流域不包括中国境内澜沧江的物种数据信息(MRC, 2003)。关于澜沧江流域鱼类的系统记载，《云南鱼类志》中记录124种(褚新洛和陈银瑞, 1989, 1990)，随后的研究表明澜沧江流域记录了162种(Zhang et al, 2018)，与湄公河流域共有的鱼类有61种(Kang et al, 2009a, b)。本研究首次系统整理了澜沧江-湄公河中上游流域淡水鱼类物种名录及其分布，澜沧江-湄公河记录有淡水鱼类 745种，如果考虑下游分布物种，整个澜沧江-湄公河流域淡水鱼类接近1,000种，物种数远超过我国长江的淡水鱼类。一般认为，物种多样性与河流的自然环境、河流长度以及鱼类演化历史等因素密切相关(MacArthur & Wilson, 1967; 唐志尧等, 2009)。澜沧江-湄公河作为一条自北向南纵向性河流，地

跨温带、亚热带和热带,而长江为自西向东横向性河流,下游河段地处亚热带。热带地区具有较高的气温和充沛的降雨以及极高的初级生产力,此外,在地质历史时期也具有相对稳定的气候环境,特别是未受到第四纪冰期气候的影响。二者共同决定了澜沧江-湄公河具有更高的鱼类多样性。

澜沧江-湄公河鱼类组成特点之二是鲇形目和鲈形目所占比例有所增加。虽然仍以鲤形目为主,占到物种总数的60.5%,但与我国其他大型河流相比,如长江(77.78%)、黄河(75.15%)和珠江(81.47%)等(未发表数据),澜沧江-湄公河鲤形目所占比例有所下降,而鲇形目(占总数的19.3%)和鲈形目(占总数的9%)所占比例则上升。这与澜沧江-湄公河鱼类区系演化历史有关。澜沧江-湄公河地处东亚区与南亚区鱼类区系的过渡地带,区系组成包括了来自冈瓦纳古陆、新生代东亚起源以及东南亚起源鱼类。而我国东部水系则更多是东亚起源鱼类为主。

澜沧江-湄公河鱼类组成特点之三是大型淡水鱼类和洄游性鱼类丰富。全球最大的10种淡水鱼类中有4种分布于湄公河,包括巨赤魮(*Himantura chaophraya*)、巨无齿鲃(*Pangasianodon gigas*)、长丝鲃(*Pangasius sanitwongsei*)和暹罗巨鲤(*Catlocarpio siamensis*),其中暹罗巨鲤是现存鲤科鱼类中个体最大的物种,体重可达300 kg,体长达300 cm。洄游鱼类有135种(Baran, 2006),而且主要以大型鱼类为主(Poulsen et al, 2002; Ziv et al, 2012)。

从聚类分析(CA)结果来看,在Jaccard相似性系数为8.69时可以将32个亚流域分为源区、上游和中游3组,ANOSIM检验结果也验证了3组彼此之间的鱼类组成差异极其显著,这种差异与澜沧江-湄公河流域自然条件密切相关。根据SIMPER分析结果,源区的种类以裂腹鱼属和高原鳅属等高原鱼类为主,这些类群适应高海拔、低水温、流水和贫营养环境,属于典型的青藏高原区鱼类区系;而上游则以纹胸鮡属和吻孔鲃属等过渡性鱼类为主,即青藏高原向云贵高原过渡的种类;中游主要是长臀鲃属和波鱼属等东洋区鱼类,该段流域河谷开阔、水流减缓、海拔较低、水温较高。虽然鲤形目和鲇形目鱼类在各个组中均占到很大比例,但随着地势阶梯的升高出现了科级、属级类群的替代,适应暖水性的类群如长臀鲃属、波鱼属、鳊属等逐渐减少,取

而代之的是适应冷水和激流的裂腹鱼属、高原鳅属和鮡科鱼类(表3)。

分类学多样性指数是基于物种的进化和亲缘关系来评估生物多样性(Clarke & Warwick, 1998),并且不受采样大小、采样方法和生境类型等因素的影响(Clarke & Warwick, 1998, 2001b),已经被广泛研究证明在生物多样性研究方面较传统指数具有一定优势(Jiang et al, 2019)。本研究中平均分类差异指数(Δ^+)和分类差异变异指数(Λ^+)的计算只考虑物种的出现与否,而不考虑种类的数量,这实际上是对群落中优势种与常见种权重的最简化处理(徐宾铎等, 2005),因此,本研究中利用澜沧江-湄公河中上游流域淡水鱼类数据进行分类多样性分析是可行的和合理的。通常认为,在同等物种组成的群落中,物种归属于多个属的群落的生物多样性高于物种归属于一个属的群落。因此,从源头到中游,淡水鱼类的生物多样性逐渐升高,群落结构越来越稳定。本研究中,从源头到中游,淡水鱼类在分类阶元上的分布越来越均匀,亲缘关系越来越远,分类多样性越来越高,同样也体现了这一结果。

澜沧江-湄公河作为全球重要的国际河流和淡水鱼类多样性最高的河流之一,其生物多样性现状和面临的威胁长期受到学界关注(Kang et al, 2009a; Valbo-Jørgensen et al, 2009; Baran, 2010; Kano et al, 2016; Zhang et al, 2018)。湄公河分布有世界上最大的10种淡水鱼类中的4种,也是全球最重要的鱼类洄游栖息地之一,同时,该流域以自然捕捞为主的淡水渔业是东南亚人民最重要的动物蛋白来源。然而,近30年来,随着流域各国人口的增长和经济的快速发展,澜沧江-湄公河淡水生物多样性和渔业资源面临严重威胁(Ziv et al, 2012)。特别是近年来以水利工程建设和过度捕捞为主的人类活动,使得澜沧江-湄公河淡水生态系统正面临生境破碎化、栖息地丧失、鱼类洄游通道阻隔、生物入侵等生态环境问题(Dudgeon et al, 2006; Kang et al, 2009b; Zhang et al, 2018)。然而,由于澜沧江-湄公河流域特殊的地理位置和地缘特点以及极高的鱼类多样性,全面深入了解该流域鱼类多样性和分布,探索流域尺度上的多样性变动及其归因仍然是极大的挑战。今后,加强流域内国家间合作,实现数据共享,在流域尺度上制定保护计划迫在眉睫。

表3 河源、上游和中游鱼类组成相似性的主要属及其贡献率

Table 3 The genera contributing to similarity of fish composition within headwaters, upper and middle reaches

目 Order	科 Family	属 Genus	贡献率 Contribution (%)			
源区 Headwaters	鲤形目 Cypriniformes	鲤科 Cyprinidae	裂腹鱼属 <i>Schizothorax</i>	34.43		
			叶须鱼属 <i>Ptychobarbus</i>	2.04		
			裸裂尻鱼属 <i>Schizopygopsis</i>	2.04		
		条鳅科 Nemacheilidae	高原鳅属 <i>Triplophysa</i>	16.11		
			荷马条鳅属 <i>Homatula</i>	2.13		
			拟平鳅属 <i>Pseudohomaloptera</i>	2.13		
			爬鳅科 Balitoridae	拟平鳅属 <i>Pseudohomaloptera</i>	2.13	
		鲇形目 Siluriformes	鲃科 Sisoridae	纹胸鲃属 <i>Glyptothorax</i>	9.86	
				鲃属 <i>Pareuchiloglanis</i>	7.95	
				褶鲃属 <i>Pseudecheneis</i>	6.74	
异鲃属 <i>Creteuchiloglanis</i>	4.61					
上游 Upper reach	鲤形目 Cypriniformes	鲤科 Cyprinidae	吻孔鲃属 <i>Poropuntius</i>	7.07		
			舟齿鱼属 <i>Scaphiodonichthys</i>	4.7		
			结鱼属 <i>Torg</i>	4.13		
			高鲃属 <i>Altigena</i>	3.42		
			墨头鱼属 <i>Garra</i>	3.4		
			东坡墨鱼属 <i>Ageneiogarra</i>	3.01		
			条鳅科 Nemacheilidae	南鳅属 <i>Schistura</i>	3.91	
			鲇形目 Siluriformes	鲃科 Sisoridae	纹胸鲃属 <i>Glyptothorax</i>	8.86
					褶鲃属 <i>Pseudecheneis</i>	4.1
					锡伯鲃科 Ailiidae	鲃属 <i>Clupisoma</i>
中游 Middle reach	鲤形目 Cypriniformes	鲤科 Cyprinidae	长臀鲃属 <i>Mystacoleucus</i>	4		
			圆唇鱼属 <i>Cyclocheilichthys</i>	2.66		
			裂峡鲃属 <i>Hampala</i>	2.48		
			纹唇鱼属 <i>Osteochilus</i>	2.7		
			鲃科 Danionidae	波鱼属 <i>Rasbora</i>	3.91	
				真马口波鱼属 <i>Opsarius</i>	3.74	
				鲃形目 Perciformes	鳢科 Channidae	鳢属 <i>Channa</i>
			合鳃目 Synbranchiformes	刺鳅科 Mastacembelidae	刺鳅属 <i>Mastacembelus</i>	2.3
			鲇形目 Siluriformes	鲢科 Bagridae	鲢属 <i>Mystus</i>	2.28
			鲇形目 Tetraodontiformes	鲃科 Tetraodontidae	单孔鲃属 <i>Pao</i>	2.22

致谢：周卓诚博士、隋晓云博士、豪富华博士、刘光博士和张梦淇博士协助老挝调查，特此感谢！

参考文献

- Baran E (2006) Fish Migration Triggers in the Lower Mekong Basin and Other Tropical Freshwater Systems. MRC Technical Paper No. 14, Mekong River Commission, Vientiane.
- Baran E (2010) Mekong fisheries and mainstream dams. In: ICEM 2010, pp. 1–145. Mekong River Commission Strategic Environmental Assessment of Hydropower on the Mekong Mainstream, International Centre for Environmental Management, Hanoi, Vietnam.

- Chen LH, He DM (2000) The ecological impacts of hydropower cascade development in Lancang-Mekong River. *Acta Geographica Sinica*, 67, 577–586. (in Chinese with English abstract) [陈丽晖, 何大明 (2000) 澜沧江-湄公河水电梯级开发的生态影响. *地理学报*, 67, 577–586.]
- Chu XL, Chen YR (1989) The Fishes of Yunnan, China Part I. Science Press, Beijing. (in Chinese) [褚新洛, 陈银瑞(1989) 云南鱼类志(上册). 科学出版社, 北京.]
- Chu XL, Chen YR (1990) The Fishes of Yunnan, China Part II. Science Press, Beijing. (in Chinese) [褚新洛, 陈银瑞(1990) 云南鱼类志(下册). 科学出版社, 北京.]
- Clarke KR, Warwick RM (1998) A taxonomic distinctness index and its statistical properties. *Journal of Applied*

- Ecology, 35, 523–531.
- Clarke KR, Warwick RM (2001a) A further biodiversity index applicable to species lists: Variation in taxonomic distinctness. *Marine Ecology Progress Series*, 216, 265–278.
- Clarke KR, Warwick RM (2001b) Change in marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation, 2nd edn. Plymouth Marine Laboratory, Plymouth.
- Dudgeon D (2011) Asian river fishes in the Anthropocene: Threats and conservation challenges in an era of rapid environmental change. *Journal of Fish Biology*, 79, 1487–1524.
- Dudgeon D, Arthington AH, Gessner MO, Kawabata Z, Knowler DJ, Leveque C, Naiman RJ, Prieur RAH, Soto D, Stiassny MLJ, Sullivan CA (2006) Freshwater biodiversity: Importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews*, 81, 163–182.
- Eschmeyer WN, Fricke R (2019) Catalog of Fishes: Genera, Species, References. <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>. (accessed on 2019-02-28)
- Ge F (2008) *Modern Ecology*, 2nd edn. Science Press, Beijing. (in Chinese) [戈峰 (2008) 现代生态学, 第2版. 科学出版社, 北京.]
- He DM (1995) Analysis of hydrological characteristics in Lancang-Mekong River. *Yunnan Geographic Environment Research*, 7, 58–74. (in Chinese with English abstract) [何大明 (1995) 澜沧江-湄公河水文特征分析. 云南地理环境研究, 7, 58–74.]
- Hortle KG (2009) Chapter 9—Fisheries of the Mekong River Basin. In: *The Mekong* (ed. Campbell IC), pp.197–249. Academic Press, San Diego.
- Jiang XM, Ding CZ, Brosse S, Pan B, Lu Y, Xie ZC (2019) Local rise of phylogenetic diversity due to invasions and extirpations leads to a regional phylogenetic homogenization of fish fauna from Chinese isolated plateau lakes. *Ecological Indicators*, 101, 388–398.
- Jiang ZG, Ji LQ (1999) Avian-mammalian species diversity in nine representative sites in China. *Chinese Biodiversity*, 7, 220–225. (in Chinese with English abstract) [蒋志刚, 纪力强 (1999) 鸟兽物种多样性测度的G-F指数方法. 生物多样性, 7, 220–225.]
- Kang B, He DM, Perrett L, Wang HY, Hu WX, Deng WD, Wu YF (2009a) Fish and fisheries in the upper Mekong: Current assessment of the fish community, threats and conservation. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 19, 465–480.
- Kang B, Perrett L, Li YG, He DM (2009b) Are the fish of the upper and lower Mekong interconnected. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 27, 400–407.
- Kano Y, Dudgeon D, Nam S, Samejima H, Watanabe K, Grudpan C, Grudpan J, Magtoon W, Musikasinthorn P, Nguyen PT, Praxaysonbath B, Sato T, Shibukawa K, Shimatani Y, Suvarnaraksha A, Tanaka W, Thach P, Tran DD, Yamashita T, Utsugi K (2016) Impacts of dams and global warming on fish biodiversity in the Indo-Burma hotspot. *PLoS ONE*, 11, e0160151.
- MacArthur RH, Wilson EO (1967) *The Theory of Island Biogeography*. Princeton University Press, Princeton.
- MRC (2003) *Mekong Fish Database: A Taxonomic Fish Database for the Mekong Basin*. Mekong River Commission, Phnom Penh.
- Poulsen AF, Poeu O, Viravong S, Suntornratana U, Tung NT (2002) Fish migrations of the Lower Mekong River Basin: Implications for Development, Planning and Environmental Management. MRC Technical Paper No.8, Mekong River Commission, Phnom Penh.
- Qu FY, Yu ZS (2010) The application of taxonomic diversity in macrobenthic ecology: Taking Yellow Sea for example. *Biodiversity Science*, 18, 150–155. (in Chinese with English abstract) [曲方圆, 于子山 (2010) 分类多样性在大型底栖动物生态学方面的应用: 以黄海底栖动物为例. 生物多样性, 18, 150–155.]
- Rainboth WJ (1996) *Fishes of the Cambodian Mekong*. FAO Species Identification Field Guide for Fishery Purposes, FAO, Rome.
- Rainboth WJ, Vidthayanon C, Mai DY (2012) *Fishes of the Greater Mekong Ecosystem with Species List and Photographic Atlas*. Miscellaneous Publications No. 201, University of Michigan, Museum of Zoology, Ann Arbor.
- Sun ZL, Liu YL, Liu J, Zhao ZX, Wang GX, Jin JL, Bao ZX, Liu CS (2018) Analysis on the present situation and demand of water utilization in the Lancang-Mekong River Basin. *Journal of Water Resources & Water Engineering*, 29(4), 70–76. (in Chinese with English abstract) [孙周亮, 刘艳丽, 刘冀, 赵志轩, 王高旭, 金君良, 鲍振鑫, 刘翠善 (2018) 澜沧江-湄公河流域水资源利用现状与需求分析. 水资源与水工程学报, 29(4), 70–76.]
- Tang ZY, Wang ZH, Fang JY (2009) Historical hypothesis in explaining spatial patterns of species richness. *Biodiversity Science*, 17, 635–643. (in Chinese with English abstract) [唐志尧, 王志恒, 方精云 (2009) 生物多样性分布格局的地史成因假说. 生物多样性, 17, 635–643.]
- Valbo-Jørgensen J, Coates D, Hortle KG (2009) Chapter 8—Fish diversity in the Mekong River basin. In: *The Mekong* (ed. Campbell IC), pp.161–196. Academic Press, San Diego.
- Warwick RM, Clarke KR (2001) Practical measures of marine biodiversity based on relatedness of species. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 39, 207–231.
- Wei FW, Nie YG, Miao HX, Lu H, Hu YB (2014) Advancements of the researches on biodiversity loss mechanisms. *Chinese Science Bulletin*, 59, 430–437. (in Chinese with English abstract) [魏辅文, 聂永刚, 苗海霞, 路浩, 胡义波 (2014) 生物多样性丧失机制研究进展. 科学通报, 59,

- 430–437.]
- Xu BD, Jin XS, Liang ZL (2005) Calculation of hierarchical diversity of fish in the Huanghai and Bohai Seas. *Periodical of Ocean University of China (Natural Science)*, 35, 25–28. (in Chinese with English abstract) [徐宾铎, 金显仕, 梁振林 (2005) 对黄、渤海鱼类等级多样性的推算. *中国海洋大学学报(自然科学版)*, 35, 25–28.]
- You Z, Feng ZM, Jiang LG, Yang YZ (2014) Population distribution and its spatial relationship with terrain elements in Lancang-Mekong River Basin. *Mountain Research*, 32, 21–29. (in Chinese with English abstract) [游珍, 封志明, 姜鲁光, 杨艳昭 (2014) 澜沧江–湄公河流域人口分布及其与地形的关系. *山地学报*, 32, 21–29.]
- Zhang C, Ding L, Ding C, Chen L, Sun J, Jiang X (2018) Responses of species and phylogenetic diversity of fish communities in the Lancang River to hydropower development and exotic invasions. *Ecological Indicators*, 90, 261–279.
- Ziv G, Baran E, Nam S, Rodríguez-Iturbe I, Levin SA (2012) Trading-off fish biodiversity, food security, and hydropower in the Mekong River Basin. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 109, 5609–5614.

(责任编辑: 陈小勇 责任编辑: 时意专)

附录 Supplementary Material

附录1 本文用于整理淡水鱼类名录的文献、专著和调查报告

Appendix 1 Literatures, monographs and investigation reports for the compilation of freshwater fish list in this paper

<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2019195-1.pdf>

附录2 澜沧江–湄公河中上游32个亚流域淡水鱼类物种名录

Appendix 2 List of freshwater fish species in 32 sub-basins of the upper and middle reaches of Lancang-Mekong River

<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2019195-2.pdf>

李雪晴, 孙赫英, 何德奎, 陈毅峰. 澜沧江-湄公河中上游淡水鱼类多样性. 生物多样性, 2019, 27(10): 1090–1100.
<http://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2019195>

附录1 本文用于整理淡水鱼类名录的文献、专著和调查报告

Appendix 1 Literatures, monographs and investigation reports for the compilation of freshwater fish list in this paper

Chen XY (2013) Checklist of fishes of Yunnan. *Zoological Research*, 34, 281–343. (in Chinese with English abstract) [陈小勇 (2013) 云南鱼类名录. *动物学研究*, 34, 281–343.]

Chu XL, Chen YR (1989) *The Fishes of Yunnan, China Part I*. Science Press, Beijing. (in Chinese) [褚新洛, 陈银瑞(1989) 云南鱼类志(上册). 科学出版社, 北京.]

Chu XL, Chen YR (1990) *The Fishes of Yunnan, China Part II*. Science Press, Beijing. (in Chinese) [褚新洛, 陈银瑞 (1990) 云南鱼类志(下册). 科学出版社, 北京.]

Doi A (1997) A review of taxonomic studies of Cypriniform fishes in southeast Asia. *Japanese Journal of Ichthyology*, 44(1), 1–33.

He YM, Yang TL, Liu J, Yang ZZ (2010) The investigation of the fish current resources in Erhai Lake. *Journal of Chuxiong Normal University*, 25(3), 53–58. (in Chinese with English abstract) [何彦敏, 杨堂亮, 刘杰, 杨自忠 (2010) 洱海鱼类资源现状调查研究. *楚雄师范学院学报*, 25(3), 53–58.]

He SP, Wang W, Chen YR, Li ZY, Yang JX (1999) The preliminary investigation of fish biodiversity in middle and upper reach of Lancangjiang River. *Yunnan Geographic Environment Research*, 11, 26–29. (in Chinese with English abstract) [何舜平, 王伟, 陈银瑞, 李再云, 杨君兴 (1999) 澜沧江中上游鱼类生物多样性现状初报. *云南地理环境研究*, 11, 26–29.]

Kang B, He DM, Perrett L, Wang HY, Hu WX, Deng WD, Wu YF (2009) Fish and fisheries in the upper Mekong: Current assessment of the fish community, threats and conservation. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 19, 465–480.

Kang B, He DM (2007) Research Progress of Biodiversity of Fish Species in the Lancangjiang River. *Resources Science*, 29(5), 195–200. (in Chinese with English abstract) [康斌, 何大明 (2007) 澜沧江鱼类生物多样性研究进展. *资源科学*, 29(5), 195–200.]

Kang B, Hu WX, Qi WL, Yang CM, Li JH (2010) Research on fish species diversity in the Buyuan River. *Progress in fishery sciences*, 31(3), 6–14. (in Chinese with English abstract) [康斌, 胡文娴, 祁文龙, 杨春明, 李江红 (2010) 补远江鱼类多样性研究. *渔业科学进展*, 31(3), 6–14.]

Kano Y, Dudgeon D, Nam S, Samejima H, Watanabe K, Grudpan C, Grudpan J, Magtoon W, Musikasinthorn P, Nguyen PT, Praxaysonbath B, Sato T, Shibukawa K, Shimatani Y, Suvarnaraksha A, Tanaka W, Thach P, Tran DD, Yamashita T, Utsugi K (2016) Impacts of dams and global warming on fish biodiversity in the Indo-Burma hotspot. *PLoS ONE*, 11, e0160151.

Kottelat M (2000) Diagnoses of a new genus and 64 new species of fishes from Laos (Teleostei: Cyprinidae, Balitoridae, Bagridae, Syngnathidae, Chaudhuriidae and Tetraodontidae). *Journal of South Asian Natural History*, 5, 37–82.

李雪晴, 孙赫英, 何德奎, 陈毅峰. 澜沧江-湄公河中上游淡水鱼类多样性. 生物多样性, 2019, 27(10): 1090–1100.
<http://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2019195>

Kottelat M (2001) *Fishes of Laos*. Wildlife Heritage Trust Publications, pp. 1–198, Colombo.

Kottelat M (2009) *Fishes of the upper Nam Ou drainage in Laos*. WWF-Community Fisheries: Supporting food security and aquatic biodiversity (ComFish Project), 1–27.

Kottelat M (2016) The fishes of the Nam Theun and Xe Bangfai drainages, Laos. *Hydroécologie Appliquée*, 19, 271–320.

Kottelat M, Baroche RDL (2011) *Fishes of the Xe Kong drainage in Laos, especially from the Xe Kaman*. Co-Management of freshwater biodiversity in the Sekong Basin. WWF & Critical Ecosystem Partnership Fund, 1–29.

Liu MD, Chen DQ, Duan XB, Wang K, Liu SP (2011) Ichthyofauna composition and distribution of fishes in Yunnan section of Lancang River. *Journal of Fishery Sciences of China*, 18, 156–170. (in Chinese with English abstract) [刘明典, 陈大庆, 段辛斌, 王珂, 刘绍平 (2011) 澜沧江云南段鱼类区系组成与分布. *中国水产科学*, 18, 156–170.]

Liu ZH, He JC, Jiang WG (1987) A survey of fishes in the middle reaches of the Lancang River, Yunnan Province. *Journal of Yunnan University*, 9, 146–150. (in Chinese with English abstract) [刘振华, 何纪昌, 江望高 (1987) 云南澜沧江中游地区鱼类调查研究. *云南大学学报*, 9, 146–150.]

Ng NN, Kottelat M (2000) Descriptions of three new species of catfishes (Teleostei: Akysidae and Sisoridae) from Laos and Vietnam. *Journal of South Asian Natural History*, 5, 7–15.

Phomikong P, Fukushima M, Sricharoendham B, Nohara S, Jutagate T (2015) Diversity and community structure of fishes in the regulated versus unregulated tributaries of the Mekong River. *River Research and Applications*, 31, 1262–1275.

Valbo-Jørgensen J, Coates D, Hortle K (2009) Chapter 8—Fish diversity in the Mekong River Basin. *The Mekong*, 161–196.

Zheng LP, Chen XY, Yang XJ (2013) Status and conservation of fishes in the middle and lower Langcangjiang River. *Zoological Research*, 34, 680–686. (in Chinese with English abstract) [郑兰平, 陈小勇, 杨君兴 (2013) 澜沧江中下游鱼类现状及保护. *动物学研究*, 34, 680–686.]

Zhou W, Li MH, Li YL (2016) Fish diversity in four nature reserves in Southwest Yunnan, China and the evaluation indicators. *Biodiversity Science*, 24, 313–320. (in Chinese with English abstract) [周伟, 李明会, 李有兰 (2016) 滇西南四个自然保护区鱼类多样性及评价指标探究. *生物多样性*, 24, 313–320.]

Bureau of Aquatic Products, Tibet, China (1995) *Fishes and Fish Resources in Xizang, China*. China Agriculture Press, Beijing. [西藏自治区水产局 (1995) *西藏鱼类及其资源*. 中国农业出版社, 北京.]

物种 Species	亚流域代码 Sub-basin codes																																	
	MK-1	MK-2	MK-3	MK-4	NO	NC	CHI	NK	MUN	NN	NNP	SBF	SBH	SK	SG	LS	BJ	HH	SQ	ZQ	AD	YC	NL	BY	WY	MG	LZ	DZ	XH	HR	TD	EH		
<i>Pareuchiloglanis gracilicaudata</i>																	+		+	+	+	+										+		
<i>Pareuchiloglanis myzostoma</i>																	+			+													+	
<i>Pareuchiloglanis prolixdorsalis</i>																																+		
<i>Percocypris retrodorsalis</i>																	+	+					+					+		+			+	
<i>Pethia stoliczkana</i>	+				+			+	+																									
<i>Pethia ticto</i>	+																							+										
<i>Phalacronotus apogon</i>			+	+	+		+	+		+	+	+																+						
<i>Phalacronotus bleekeri</i>			+	+				+					+			+								+	+									
<i>Phalacronotus micronemus</i>				+				+																										
<i>Phenacostethus smithi</i>								+																										
<i>Physoschistura pseudobrunneana</i>	+																																	
<i>Physoschistura raoi</i>																								+										
<i>Physoschistura shuangjiangensis</i>																	+											+		+				
<i>Plotosus canius</i>				+																														
<i>Poecilia reticulata</i>			+	+																														
<i>Polynemus aquilonaris</i>				+																														
<i>Polynemus dubius</i>								+																										
<i>Poropuntius angustus</i>	+	+			+																													
<i>Poropuntius bantamensis</i>	+																																	
<i>Poropuntius bolovenensis</i>				+										+																				
<i>Poropuntius carinatus</i>			+		+	+		+		+						+												+		+	+			
<i>Poropuntius chondrorhynchus</i>	+																																	
<i>Poropuntius cogginii</i>																																		+
<i>Poropuntius consternans</i>				+											+																			
<i>Poropuntius deauratus</i>	+		+	+				+	+			+	+	+																				
<i>Poropuntius exiguus</i>																																		+
<i>Poropuntius huangchuchieni</i>																	+	+	+				+	+	+	+	+	+	+	+				
<i>Poropuntius krempfi</i>																							+	+										
<i>Poropuntius laoensis</i>	+	+	+	+	+			+	+		+		+	+																				
<i>Poropuntius lobocheiloides</i>				+										+																				
<i>Poropuntius normani</i>				+	+	+		+	+	+	+		+	+																				
<i>Poropuntius solitus</i>				+										+																				
<i>Poropuntius speleops</i>								+																										
<i>Pristis pristis</i>				+																														
<i>Pristolepis fasciata</i>	+		+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+																			
<i>Probarbus jullieni</i>	+		+	+	+	+		+					+																					
<i>Probarbus labeamajor</i>				+																														
<i>Probarbus labeaminor</i>			+	+				+																										
<i>Pseudecheneis immaculata</i>																			+		+	+											+	
<i>Pseudecheneis sulcata</i>																	+	+	+		+	+	+	+	+			+		+			+	

