

雅砻江中游支流力丘河鱼类资源现状

邓嘉俊¹, 王小东¹, 同琳钰¹, 徐亮亮¹, 向朋¹, 孙光², 肖能文², 宋昭彬^{1,3*}

(1. 四川大学生命科学学院, 生物资源与生态环境教育部重点实验室, 成都 610065;

2. 中国环境科学研究院, 环境基准与风险评估国家重点实验室, 北京 100012;

3. 四川大学生命科学学院, 长江上游鱼类资源与环境四川省野外科学观测研究站, 成都 610065)

摘要: 为了解雅砻江中游支流力丘河的鱼类多样性现状及栖息地保护价值, 于2019年9月和2020年6月、11月在力丘河11个采样点进行了3次鱼类资源调查, 共采集鱼类2 557尾, 隶属于2目4科9属13种。西溪高原鳅 *Triplophysa xiqiensis*、软刺裸裂尻鱼 *Schizopygopsis malacanthus*、短须裂腹鱼 *Schizothorax wangchiachii* 和齐口裂腹鱼 *Schizothorax prenanti* 数量较多、分布较广, 其余种类仅有零星分布。丰度/生物量比较曲线表明, 力丘河鱼类群落受到中等程度干扰。Spearman 秩相关性系数显示, 鱼类多样性与海拔呈显著负相关。非度量多维标度分析表明, 不同海拔区域的鱼类群落空间结构差异显著, 雅砻江干流的许多鱼类仅分布到力丘河下游普沙绒乡罗让以下河段, 力丘河中游甲根坝乡以上河段及塔拉沟、色物绒沟等支流仅分布有西溪高原鳅和软刺裸裂尻鱼。由于相对较低的鱼类多样性、严酷的生态环境和海拔对鱼类分布的限制, 力丘河作为雅砻江中游干流水电开发后鱼类栖息地的保护价值将一定程度降低, 建议同时考虑雅砻江干流鱼类栖息地的保护。

关键词: 力丘河; 鱼类多样性; 空间结构; 栖息地; 支流保护

中图分类号: Q959.4 文献标志码: A 文章编号: 1000 - 7083(2022)04 - 0444 - 10

Fish Diversity and Spatial Pattern in the Liqiu River, a Tributary of the Middle Yalong River

DENG Jiajun¹, WANG Xiaodong¹, TONG Lintian¹, XU Liangliang¹, XIANG Peng¹,

SUN Guang², XIAO Nengwen², SONG Zhaobin^{1,3*}

(1. Key Laboratory of Bio-Resources and Eco-Environment of Ministry of Education, College of Life Sciences, Sichuan University, Chengdu 610065, China; 2. State Key Laboratory of Environmental Criteria and Risk Assessment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China; 3. Observation and Research Station of Sichuan Province of Fish Resources and Environment in Upper Reaches of the Yangtze River, College of Life Sciences, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: The diversity and community structure of fish assemblages in the Liqiu River, a tributary of middle reaches of the Yalong River, were investigated. The habitat value for conservation of fish species in the mainstream of the middle Yalong River was analyzed as well. A total of 2 557 fish individuals belonging to 13 species, 9 genera, 4 families and 2 orders were collected from 11 sites along the Liqiu River in September 2019, and June and November 2020. Specifically, there were more *Triplophysa xiqiensis*, *Schizopygopsis malacanthus*, *Schizothorax wangchiachii*, and *Schizothorax prenanti* in the surveyed areas, whereas the individual numbers of other species were fewer than 10. The abundance/biomass curve showed

收稿日期: 2022-01-11 接受日期: 2022-05-06

基金项目: 生物多样性调查评估项目(2019HJ2096001006)

作者简介: 邓嘉俊(1996—), 男, 硕士研究生, 研究方向: 动物生态学, E-mail: 723308580@qq.com

* 通信作者 Corresponding author, 博士, 教授, E-mail: zbsong@scu.edu.cn

that fish in the Liqiu River were under harsh ecological conditions. There was a significant negative correlation between fish diversity and altitude according to the Spearman's rank correlation coefficient. Non-metric multidimensional scaling analysis suggested that elevation shaped the spatial patterns of fish assemblages. The fish from the mainstream of Yalong River might inhabit the lower reaches of Liqiu River (from the estuary to Luorang of Pusharong Township), but they could not migrate further up to the middle and upper reaches of Liqiu River due to elevation limitation. This led to a significantly different species composition of fish from that in the middle Liqiu River. In the upper reaches of Liqiu River, Tala and Sewurong tributaries, there were only two species, *T. xiqiensis* and *S. malacanthus*. Therefore, the low fish diversity in the Liqiu River, the harsh ecological conditions, and the elevational barrier that constraints on fish distribution may influence the value for protecting fish assemblages in the middle Yalong River after the hydropower was developed, and the mainstream itself should be considered for further habitat conservation.

Keywords: Liqiu River; fish diversity; spatial pattern; habitat; tributary conservation

雅砻江是金沙江最大的支流,全长 1 570 km,流域面积 $13.6 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。流域内水力资源丰富,水能理论蕴藏量为 $3\ 000 \times 10^4 \text{ kW}$ 。迄今为止,雅砻江下游锦屏一级、锦屏二级、官地、二滩和桐子林 5 座水电站以及中游两河口、杨房沟 2 座水电站已投产发电。雅砻江干流大规模的水电开发必将对该流域的水生生物资源,特别是鱼类资源产生深远的影响(陈云华,2021)。

历史上,雅砻江的鱼类资源非常丰富。在 20 世纪 80 年代开展的鱼类资源调查中,邓其祥(1985)实际采集到 72 种鱼类,而吴江和吴明森(1986)结合历史资料及现场考察,认为雅砻江存在 92 种鱼类。随后,在 1983—1993 年对雅砻江中、下游的系统调查中,邓其祥(1996)共采集到 94 种鱼类。然而,2007—2008 年对雅砻江中、下游开展的调查发现,鱼类种类数量下降到 75 种(杨青瑞等,2011)。除了种类数量下降外,水电开发还对鱼类种类组成产生了巨大影响。二滩水电站修建前雅砻江下游的优势类群为裂腹鱼类、高原鳅类等适应流水生境的种类,随着水坝的修建和水库的形成,河段内的急流生境转变为静水缓流生境,原有的优势类群缩至库尾和支流等狭窄生境,裂腹鱼类的捕获量由 71.9% 下降至 16.0%,取而代之的是外来鱼类及小杂鱼等(蒋红等,2007)。支流生境保护是一种较为有效的生态补偿措施(高

婷等,2012;Pracheil *et al.*,2013;黄光明等,2015)。通过对支流流水生境的保护,干流受水电开发影响的鱼类可在支流得到一定的保护。随着两河口、杨房沟等水电站的建成运行,雅砻江中游河段亟需划定合适的栖息地保护干流受影响的鱼类。

力丘河发源于四川省甘孜藏族自治州康定市塔公镇西部,流经康定市新都桥、瓦泽乡、呷巴乡、甲根坝乡、朋布西乡、沙德乡,在康定市普沙绒乡境内注入雅砻江,全长 206 km,自然落差 1 880 m,流域面积 $5\ 920 \text{ km}^2$,年均流量 $148 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 。力丘河中上游海拔较高,瓦泽乡以上河段流经较为平坦的高原,河道曲折、河床宽阔,中游多为宽谷,下游多峡谷分布,海拔落差较大,河口海拔约 2 400 m。色物绒沟是力丘河最大的支流,虽然沟口位于力丘河下游,但其大部分河段位于海拔 3 300 m 以上的区域。塔拉沟为力丘河第二大支流,沟口位于力丘河中游。力丘河是雅砻江中游唯一河流连通性保存较好、尚无大坝修建的较大支流。良好的河流连通性是支流得以发挥鱼类多样性保护作用的必要条件(杨青瑞等,2015),在连通性较好的河段,鱼类可以在不同栖息地之间自由迁移,从而满足不同生活史阶段的生境需要。姜跃良等(2015)认为力丘河、色物绒沟等具备良好的生境质量,适合作为高原鱼类栖息地保护水域。

然而,姜跃良等(2015)的评价主要考虑河流底质、栖境复杂性、堤岸稳定性等生境尺度的指标,而缺乏河流内水生生物多样性的数据支撑。此外,海拔对高原鱼类的分布往往也具有决定性作用,许多生物地理学研究认为同一流域内不同海拔的河段中鱼类种类组成及分布范围差异显著(Suárez *et al.*, 2011; Singh & Agarwal, 2013)。为了掌握力丘河鱼类种类组成、分布特征及资源现状,2019—2020 年对力丘河流域进行了系统的鱼

类调查,分析了鱼类多样性、空间结构及其与海拔的关系,并探讨了将其作为雅砻江中游干流水电开发后鱼类栖息地保护的价值。

1 材料与方法

1.1 样本采集

本次调查在力丘河共设置 11 个采样点,其中,干流设置 9 个采样点,第一大支流色物绒沟和第二大支流塔拉沟各设置 1 个采样点(表 1,图 1),基本覆盖了力丘河干流及支流不同的河段及生境。

表 1 雅砻江中游支流力丘河鱼类资源调查采样点信息

Table 1 Sampling sites of fish investigation in the Liqiu River, a tributary of the Middle Yalong River

河段 Reach	采样点(代码) Sampling site (Code)	东经 Eastern Longitude	北纬 Northern Latitude	海拔 Elevation/m	生境描述 Habitat description
上游	塔公镇(S1)	101°32'4.30"	30°18'28.48"	3 717	河道狭窄,卵石底质, 流量小,水体较浅
	日洛可村(S2)	101°30'15.38"	30°8'13.20"	3 483	
	新都桥(S3)	101°33'39.78"	29°59'16.61"	3 418	
中游	甲根坝乡(S4)	101°33'28.66"	29°51'18.85"	3 351	河道较宽阔,卵石、砾石底质, 流量较大,流速较快,水体较浅
	朋布西乡(S5)	101°31'6.21"	29°45'42.10"	3 310	
	沙德镇(S6)	101°22'9.96"	29°37'10.08"	3 142	
下游	普沙绒乡冰古村(S7)	101°17'57.98"	29°25'11.23"	2 828	河道较狭窄,落差大, 大石、卵石底质,流量较大, 流速快,水体较深
	普沙绒乡罗让(S8)	101°11'6.40"	29°24'21.44"	2 530	
	普沙绒乡冷古(S9)	101°9'10.84"	29°25'4.64"	2 410	
支流塔拉沟	塔拉村(S10)	101°30'49.53"	29°57'6.79"	3 468	河道狭窄,卵石底质,流量小,流速较快,水体较浅
支流色物绒沟	色物绒村(S11)	101°25'52.43"	29°30'26.81"	3 312	河道狭窄,卵石、砾石底质,流量小,流速较快,水体较浅

调查时间为 2019 年 9 月和 2020 年 6 月、11 月。采用地笼(长 10 m、宽 0.30 m、高 0.25 m,网目 50 mm)捕捞样本,每个采样点放置 4 个,所有地笼均放置过夜,采样时间约 12 h,且连续采样 2~3 d。对所采集的样本进行常规生物学测定和统计。在满足鱼类标本和组织样品等采集的前提下,剩余的渔获样本完成物种鉴定和测量后放回采集水域。采集的鱼类标本用 8%~10% 甲醛或 95% 乙醇保存。依据《四川鱼类志》(丁瑞华, 1994)、《中国动物志 硬骨鱼纲 鲤形目(中卷)》(陈宜瑜等, 1998)、《中国动物志 硬骨鱼纲 鲇形目》(褚新洛等, 1999)、《中国动物志 硬骨鱼纲 鲤形目(下卷)》(乐佩琦等, 2000)等进行种类鉴定。采用便携式水质检测仪测定水温、电导率和总溶解固

体等常规水质指标,使用 LS1206B 流速仪测量河流流速及水深,使用手持测距仪测量河道宽度,使用图新地球 4(LocaSpace Viewer)记录各采样点海拔。

1.2 数据分析

1.2.1 群落优势种 采用 Pinkas 相对重要性指数(index of relative importance, IRI) (Pinkas, 1971) 划定力丘河流域鱼类群落的优势种, $IRI = (N + W) \times F \times 10^4$, 式中, N 为某一类群的尾数占总尾数的百分比, W 为某一类群的质量占总质量的百分比, F 为某一类群出现的频率。 $IRI \geq 1000$ 为优势种, $1000 > IRI \geq 100$ 为常见种, $100 > IRI \geq 10$ 为一般种, $IRI < 10$ 为偶见种(代梦梦等, 2019)。

1.2.2 鱼类多样性 采用 Margalef 种类丰富度指数(D)、Shannon-Wiener 多样性指数(H')、Simpson

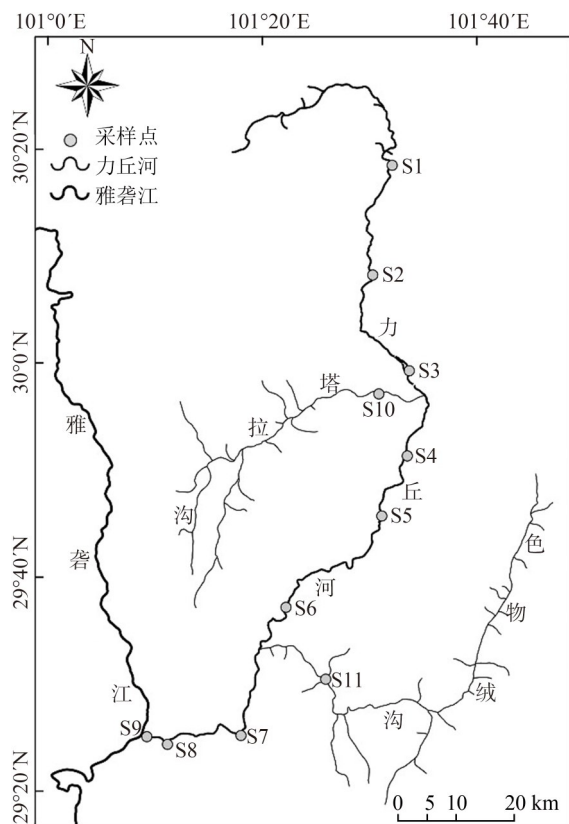


图1 雅砻江中游支流力丘河鱼类资源调查采样点

Fig. 1 Sampling sites of fish investigation in the Liqiu River, a tributary of the Middle Yalong River

S1-S11见表1;下同

S1-S11 see table 1; the same below

优势度指数(F)和Pielou均匀度指数(J')分析力丘河流域的鱼类群落多样性(代梦梦等, 2019),

$$D=(S-1)/\ln N, H'=-\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i, F=1-\sum_{i=1}^S P_i^2, J'=H'/\ln S,$$

式中, S 为渔获物中的物种数, N 为渔获物中个体总数, P_i 为第 i 个物种的个体数占总个体数的比例。

利用Spearman秩相关性系数分析个体数、种类数、Pielou均匀度指数、Margalef种类丰富度指数、Simpson优势度指数、Shannon-Wiener多样性指数与海拔、河道宽度、流速、水深、水温、电导率和总溶解固体等的相关性(张金屯, 2004), 计算公式

如下: $r_s = 1.0 - \frac{6 \sum d^2}{n^3 - n}$, 式中, r_s 为成对观测值(例如个体数与海拔)的Spearman秩相关性系数, d 为成对观测值秩的差值, n 为成对观测值的数量。

1.2.3 丰度/生物量比较曲线 通过丰度/生物量比较曲线分析鱼类群落受人类干扰情况。当生物量优势度曲线在丰度优势度曲线之上时,表明鱼类群落未受干扰或受干扰程度较低;当丰度优势度曲线在生物量优势度曲线之上时,表明鱼类群落受干扰严重,且出现鱼类资源小型化趋势;当2条曲线相交时,表示群落受到中等干扰。将 W 作为丰度/生物量比较曲线的统计量(Clarke & Warwick, 1994a), 计算公式如下:

$$W = \sum_{i=1}^S \frac{B_i - A_i}{50(S-1)},$$

式中, B_i 和 A_i 表示丰度/生物量比较曲线中对应种类序号的生物量和数量累计百分比, S 为出现的物种数。当丰度优势度曲线在生物量优势度曲线之上时, W 为负,反之为正。

1.2.4 群落结构多元统计分析 运用Bray-Curtis相似性指数计算不同河段间的鱼类群落结构差异性(Clarke & Warwick, 1994b), 得到鱼类群落相似性矩阵;对相似性矩阵进行等级聚类分析,并绘制聚类分析图;利用非度量多维标度(non-metric multidimensional scaling, NMDS)分析不同河段鱼类群落间的结构特征,并绘制平面图,可信度由胁强系数衡量(Clarke, 1993)。

运用相似性分析检验对鱼类群落的时空变化进行显着性检验,对差异明显的2个群落,运用相似性百分比分析方法(similarity percentages, SIMPER)得出造成群落时空差异的鱼类种类。

以上群落结构特征均使用PRIMER 5进行计算。

所有数据均使用SPSS进行统计分析。

2 结果

2.1 鱼类种类组成

调查期间共采集到鱼类2557尾,隶属于2目4科9属13种,其中花斑裸鲤 *Gymnocypris eckloni*、鲫 *Carassius auratus*、麦穗鱼 *Pseudorasbora parva* 和大鳞副泥鳅 *Paramisgurnus dabryanus* 为外来种,推测为养殖逃逸或当地的放生

表 2 雅砻江中游支流力丘河鱼类组成

Table 2 Composition of fish in the Liqiu River, a tributary of the Middle Yalong River

种类 Species	平均值 Average (范围 Range)		个体数 Individual number	相对优势度指数 Index of relative importance	优势类型 Dominant type
	体长 Body length/cm	体质量 Body mass/g			
I 鲤形目 Cypriniformes					
(一) 鲤科 Cyprinidae					
1. 鲫 <i>Carassius auratus</i> *	12.2(8.8~15.7)	68.7(19.3~125.5)	3		
2. 麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i> *	5.5	2.9	1		
裂腹鱼亚科 Schizothoracinae					
3. 短须裂腹鱼 <i>Schizothorax wangchiachii</i>	10.9(4.8~26.4)	22.2(0.9~325.2)	533	1 951.3	D
4. 齐口裂腹鱼 <i>Schizothorax prenanti</i>	11.9(4.8~27.6)	48.5(0.7~304.2)	130	591.3	C
5. 长丝裂腹鱼 <i>Schizothorax dolichonema</i>	22.6(11.2~35.2)	244.6(22.55~681.70)	6	56.6	G
6. 四川裂腹鱼 <i>Schizothorax kozlovi</i>	17(7.2~34.7)	133.5(6.05~664.70)	9	33.8	G
7. 软刺裸裂尻鱼 <i>Schizopygopsis malacanthus</i>	12(2.2~32.9)	56.8(0.2~491.2)	933	9 366.2	D
8. 花斑裸鲤 <i>Gymnocypris eckloni</i> *	29	366.5(366.5)	1		
(二) 花鳅科 Cobitidae					
9. 大鳞副泥鳅 <i>Paramisgurnus dabryanus</i> *	11.1(8.6~14.0)	12.0(5.0~17.8)	3		
(三) 条鳅科 Nemacheilidae					
10. 戴氏南鳅 <i>Schistura dabryi</i>	8.8	5.8(5.8)	1	0.4	R
11. 斯氏高原鳅 <i>Triplophysa stoliczkai</i>	9.8(8.5~10.7)	8.9(6.9~11.7)	6	5.5	R
12. 西溪高原鳅 <i>Triplophysa xiqiensis</i>	7.8(2.6~13.8)	6.2(0.1~36.1)	929	3 575.8	D
II 鲇形目 Siluriforms					
(四) 鮡科 Sisoridae					
13. 黄石爬鮡 <i>Euchiloglanis kishinouyei</i>	15(14.7~15.2)	49(47.4~50.2)	2	1.8	R

注: D. 优势种, C. 常见种, G. 一般种, R. 偶见种; * 外来种

Notes: D. dominant species, C. common species, G. general species, R. rare species; * introduced species

带入(表 2)。软刺裸裂尻鱼 *Schizopygopsis malacanthus*、西溪高原鳅 *Triplophysa xiqiensis*、短须裂腹鱼 *Schizothorax wangchiachii* 为优势种, 捕获个体数量均在 500 尾以上; 齐口裂腹鱼 *Schizothorax prenanti* 为一般种, 在调查渔获中数量稍少, 以上 4 种鱼类的个体数量占总采集数量的 98.7%; 其余捕获鱼类种类的个体数量均少于 10 尾。力丘河鱼类区系组成较为简单, 除黄石爬鮡 *Euchiloglanis kishinouyei* 属于南方山地区系复合体外, 其余种类均属于中亚山地区系复合体。长江上游特有鱼类有短须裂腹鱼、齐口裂腹鱼、长丝裂腹鱼 *Schizothorax dolichonema*、四川裂腹鱼 *Schizothorax kozlovi*、软刺裸裂尻鱼、戴氏南鳅 *Schistura dabryi*、西溪高原鳅和黄石爬鮡 8 种, 长丝裂腹鱼、齐口裂腹鱼和四川

裂腹鱼被《中国脊椎动物红色名录》(蒋志刚等, 2016)列为易危(VU)。

2.2 鱼类多样性

力丘河的鱼类多样性整体较低(表 3): 干流的 Margalef 种类丰富度指数、Shannon-Wiener 多样性指数和 Simpson 优势度指数均高于支流, 而直流色物绒沟的 Pielou 均匀度指数高于干流; 从干流的上游到中游、下游, Margalef 种类丰富度指数、Shannon-Wiener 多样性指数和 Simpson 优势度指数逐渐上升, 而 Pielou 均匀度指数则逐渐下降。

Spearman 秩相关性系数表明, 物种数、Margalef 种类丰富度指数和海拔呈极显著负相关, Pielou 均匀度指数和河道宽度呈显著负相关, 群落多样性与其他环境因子间无显著相关性(表 4)。

表3 雅砻江中游支流力丘河的鱼类多样性

Table 3 Fish diversity in the Liqiu River, a tributary of the Middle Yalong River

河流 River	物种数 Number of species	个体数 Number of individuals	Margalef种类 丰富度指数 Margalef species richness index	Pielou 均匀度指数 Pielou evenness index	Shannon-Wiener 多样性指数 Shannon-Wiener diversity index	Simpson 优势度指数 Simpson dominance index
上游	3	293	0.35	0.66	0.73	0.51
中游	6	1 194	0.71	0.64	1.15	0.63
下游	9	161	1.57	0.61	1.34	0.64
塔拉沟	3	841	0.30	0.52	0.57	0.36
色物绒沟	2	60	0.24	0.92	0.64	0.44
合计	9	2 549	1.02	0.58	1.27	0.69

表4 雅砻江中游支流力丘河鱼类多样性与环境因子的Spearman秩相关性系数

Table 4 Spearman's rank correlation coefficient between fish diversity and environmental factor in the Liqiu River, a tributary of the Middle Yalong River

环境因子 Environmental factor	物种数 Number of species	个体数 Number of individuals	Margalef种类 丰富度指数 Margalef species richness index	Pielou 均匀度指数 Pielou evenness index	Shannon-Wiener 多样性指数 Shannon-Wiener diversity index	Simpson 优势度指数 Simpson dominance index
海拔	-0.815**	0.264	-0.900**	0.345	-0.591	-0.164
河道宽度	0.183	-0.41	0.223	-0.661*	-0.583	-0.383
流速	-0.225	-0.023	-0.15	-0.251	-0.437	-0.415
水深	0.23	0.391	-0.027	0.018	0.155	0.082
水温	-0.336	-0.05	-0.323	0.196	-0.278	0.105
电导率	-0.183	0.091	-0.282	0.282	-0.073	0.200
总溶解固体	-0.183	0.091	-0.282	0.282	-0.073	0.200

注 Notes: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

2.3 丰度/生物量比较曲线

力丘河的丰度/生物量比较曲线如图2,其中横坐标为丰度优势度及生物量优势度由高至低排序的种类序号,纵坐标为丰度及生物量优势度的累计百分比。丰度优势度曲线与生物量优势度曲线交叉($W > 0$),说明鱼类群落正处于中等程度干扰。

2.4 群落空间结构

聚类分析和NMDS分析均将不同采样点的群落分为3个组群:组群 I 包括采样点 S1、S2、S3、S4、S10 和 S11,组群 II 包括采样点 S5、S6 和 S7,组群 III 包括采样点 S8 和 S9(图3,图4)。相似性分析检验(ANOSIM)显示不同组群间差异极显著(Global $R = 0.965$, $P < 0.001$)。结合采样点地理位置可知,组群 I、组群 II、组群 III 分别代表来自上游、

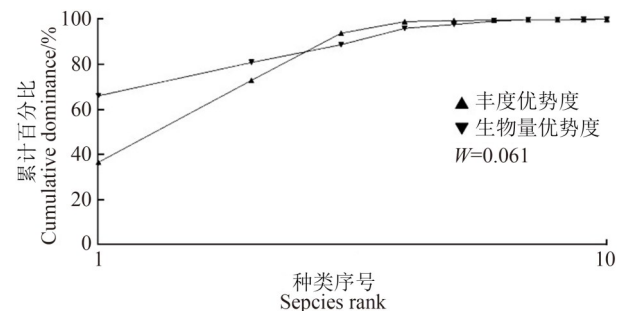


图2 雅砻江中游支流力丘河鱼类丰度/生物量曲线
Fig. 2 Abundance/biomass curve of fish in the Liqiu River, a tributary of the Middle Yalong River

中游、下游3个河段的鱼类群落。虽然色物绒沟是力丘河下游的支流,但色物绒沟(采样点S11)的鱼类与力丘河上游(采样点S1~S4)的鱼类一起被划分入组群 I。

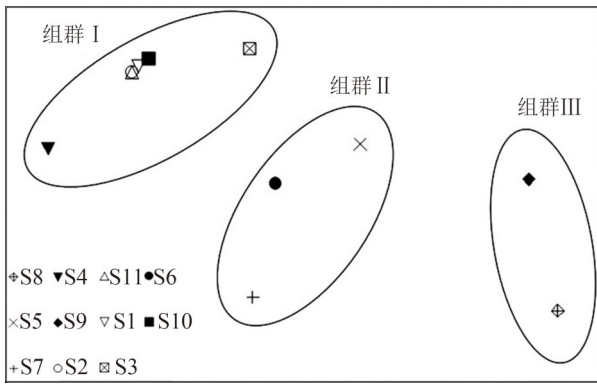


图3 雅砻江中游支流力丘河鱼类群落 11 个采样点的非度量多维标度分析

Fig. 3 Non-metric multi-dimensional scaling based on 11 sampling sites in the Liqiu River, a tributary of the Middle Yalong River

SIMPER 分析显示, 组群 I、II、III 组内的鱼类群落的相似性指数分别达到 80.95%、70.38% 和 66.07%。组群 I 采样点数多、空间跨度广, 组内鱼类群落具有最高的相似性系数, 各采样点采集的样本几乎仅由西溪高原鳅和软刺裸裂尻鱼 2 种优势种类组成。组群 I 与组群 II 的平均差异性为 47.03%, 对差异贡献较大的鱼类有短须裂腹鱼、齐口裂腹鱼和西溪高原鳅; 组群 II 与组群 III 的平均差异性为 58.87%, 对差异贡献较大的鱼类有西溪高原鳅、齐口裂腹鱼和软刺裸裂尻鱼; 组群 I 与组群 III 的平均差异性为 92.51%, 对差异贡献较大的

鱼类有西溪高原鳅、齐口裂腹鱼和软刺裸裂尻鱼。

3 讨论

3.1 力丘河鱼类资源现状

虽然本次的渔获量较大(共计 2 557 尾), 但力丘河的鱼类资源并不丰富, 主要表现在以下几方面: 种类丰富度较低: 相比于历史记载雅砻江中游分布的 19 种鱼类(吴江, 吴明森, 1986), 力丘河的鱼类种类组成较为简单, 仅 9 种, 张春光等(2019)在力丘河沙德镇发现的新种花斑裂腹鱼 *S. puncticulatus* 在本次调查中未被采集到, 可能是由于其数量较少; 种类分布极不均匀: 仅软刺裸裂尻鱼、西溪高原鳅、短须裂腹鱼和齐口裂腹鱼分布范围较广, 个体数占比达 98.7%; 各河段鱼类的 Margalef 种类丰富度指数、Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 优势度指数和 Pielou 均匀度指数均较低, 且多样性从河口至上游逐渐降低。

丰度/生物量比较曲线显示力丘河鱼类群落受中等程度干扰。Spearman 秩相关性系数表明, 鱼类种类数和 Margalef 种类丰富度指数和海拔呈显著负相关。海拔是限制长江上游鱼类分布的主要环境因素(Fu *et al.*, 2004; 石睿杰等, 2018)。在金沙江和雅砻江上游的高海拔区域, 鱼类群落普遍具有低物种多样性和高地方性特有种占比

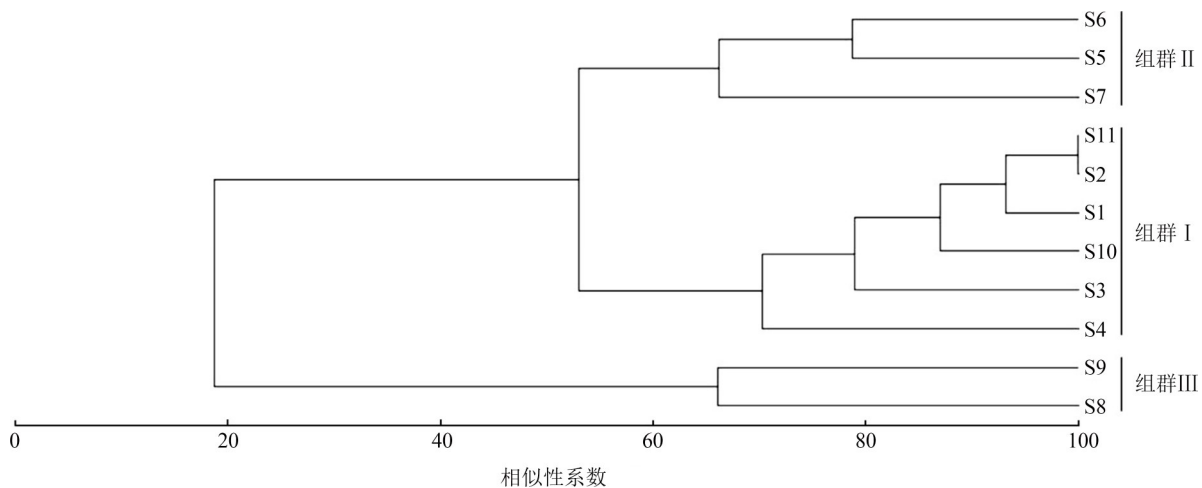


图4 雅砻江中游支流力丘河 11 个采样点的聚类分析

Fig. 4 Hierarchical cluster analysis based on 11 sampling sites in the Liqiu River, a tributary of the Middle Yalong River

的特点(Liu *et al.*, 2020),低水温、低溶氧等高海拔河流生境中严苛的环境条件限制着鱼类的生长和繁殖,仅有裂腹鱼类、高原鳅类等少数对高海拔生境适应能力较强的物种能够在其中生存(赵亚辉等,2008)。力丘河是典型的横断山区高原河流,鱼类多样性较低、资源较不丰富可能是较高海拔所致。

丰富的鱼类多样性是实施支流保护的必要前提(高婷等,2012),支流生境保护有效的案例多见于鱼类多样性较丰富的平原地区(李浩林等,2014;林俊强等,2014;何滔,2016)。高原地区鱼类种类组成较为单一、多样性较低的现象可能限制支流生境保护策略的有效性。

3.2 海拔对力丘河鱼类分布的影响

力丘河的鱼类群落分为3组具有明显差异的空间组群,海拔是塑造鱼类群落空间结构的主要环境因子,原因如下:

第一,虽然塔拉沟和色物绒沟的汇口分别位于力丘河的中游和下游,但这2条支流的鱼类却和上游的鱼类共同构成了组群 I,可能是由于这些鱼类所处生境的海拔相近(3 300 m 以上)。此外,组群 I 还具有最低的物种丰富度和最高的相似性系数,表明只有对高海拔适应能力最强的少数种类能在这些采样点所覆盖的区域生存。

第二,海拔对力丘河鱼类群落的影响还表现在优势种类在不同海拔区域的分布方面。SIMPER 分析显示,组群 I、组群 II 和组群 III 3 个群落之间差异显著的原因主要是软刺裸裂尻鱼和裂腹鱼属 *Schizothorax* 鱼类的相对数量差异,其中软刺裸裂尻鱼主要分布于力丘河上游等高海拔河段,而裂腹鱼属的齐口裂腹鱼和短须裂腹鱼则主要分布于海拔相对较低的中下游河段。虽然裸裂尻鱼属 *Schizopygopsis* 和裂腹鱼属均隶属于裂腹鱼亚科 *Schizothoracinae*,但 2 个属的鱼类对海拔的适应能力及范围存在一定的差异(He *et al.*, 2010; Qi *et al.*, 2012):无鳞无须的软刺裸裂尻鱼属于高度特化的裂腹鱼类,其适应海拔为 1 500~5 000 m,

而具细鳞、吻部有 2 对须的裂腹鱼属则属于裂腹鱼类中较原始的类群,其对高海拔生境的适应能力稍弱(1 250~2 500 m)(王金林等,2018)。这 2 类裂腹鱼类在力丘河的分布特点反映了其对海拔的不同适应能力。

第三,力丘河中下游海拔落差很可能对干流鱼类形成阻隔作用,从而使其难以上溯到力丘河中、上游栖息。在本研究中,鱼类多样性最高的组群 III 仅分布于力丘河下游普沙绒乡罗让至河口,该河段的海拔与干流相似,鱼类可能来自干流并栖息在该河段,但无法进一步上溯至力丘河的中上游河段,从而与组群 II 的鱼类群落组成形成显著差异。

可见,高海拔不仅限制了力丘河的鱼类多样性,还塑造了力丘河鱼类群落的空间结构,并可能阻碍了雅砻江中游干流的鱼类向力丘河中上游的迁移。

3.3 力丘河作为鱼类栖息地的保护价值

良好的栖息地是鱼类资源维持和发展的根本,在很多干流受水电开发影响较为强烈的流域,自然连通性较为完好的支流往往可以作为维持干流鱼类多样性的重要栖息地(Marques *et al.*, 2018):一方面,这些支流可以为干流鱼类提供产卵场和索饵场(Nunes *et al.*, 2015; Azevedo-Santos *et al.*, 2020)及一些珍稀鱼类的庇护场所;另一方面,在干流河段形成水库后,支流的流水生境将成为干流中急流型鱼类的栖息地(高婷等,2012)。为了缓解雅砻江流域水电开发和水生态保护之间的矛盾,基于对栖息地质量的评估,姜跃良等(2015)建议对包括力丘河在内的一些雅砻江支流进行栖息地保护。本研究从鱼类多样性及群落空间格局的角度进一步探讨力丘河栖息地的保护价值。

力丘河中软刺裸裂尻鱼、西溪高原鳅、短须裂腹鱼等长江上游特有鱼类的资源量较丰富,因此该支流具有一定的鱼类多样性保护价值。同时,较大的海拔落差导致雅砻江干流的许多鱼类仅分

布于普沙绒乡罗让以下的力丘河下游河段,无法进一步上溯至力丘河的中上游河段,从而与力丘河中下游段的鱼类群落(组群Ⅱ)组成形成显著差异;而力丘河上游至中游上段甲根坝乡(采样点 S1~S4)和塔拉沟(S10)、色物绒沟(S11)等支流几乎仅分布有软刺裸裂尻鱼和西溪高原鳅(组群Ⅰ)。因此,力丘河作为雅砻江中游干流水电开发后的鱼类栖息地的保护价值将一定程度降低,尚不足以有效缓解水电建设对雅砻江干流鱼类资源的影响,建议将保护范围扩大至干流的部分河段。

致谢:西华师范大学的杨坤博士参加了部分野外调查工作,在此特别感谢!

参考文献:

- 陈宜瑜. 1998. 中国动物志 硬骨鱼纲 鲤形目(中卷)[M]. 北京: 科学出版社.
- 陈云华. 2021. 西南水电开发的科技创新与展望——以雅砻江流域水电开发为例[J]. 水电与抽水蓄能, 7(1): 6-10, 15.
- 褚新洛, 郑葆珊, 戴定远. 1999. 中国动物志 硬骨鱼纲 鲇形目[M]. 北京: 科学出版社.
- 代梦梦, 杨坤, 黎树, 等. 2019. 长江上游支流南广河的鱼类多样性及资源现状[J]. 生物多样性, 27(10): 1081-1089.
- 邓其祥. 1985. 雅砻江鱼类调查报告[J]. 西华师范大学学报(自然科学版), (1): 33-37.
- 邓其祥. 1996. 雅砻江下游地区的鱼类区系和分布[J]. 动物学杂志, 31(5): 5-12.
- 丁瑞华. 1994. 四川鱼类志[M]. 成都: 四川科学技术出版社.
- 高婷, 李翀, 廖文根. 2012. 实施支流生境替代保护的基本原则[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 10(4): 267-272.
- 何滔, 黎学练, 郑永华, 等. 2016. 长江重庆段干流与主要支流鱼类分布的比较分析[J]. 淡水渔业, 46(3): 47-51.
- 黄光明, 王海龙, 王伟营, 等. 2015. 澜沧江流域鱼类栖息地保护实践[J]. 水生态学杂志, 36(6): 86-92.
- 姜跃良, 孙大东, 喻卫奇. 2015. 雅砻江中下游鱼类栖息地评价与保护方案[J]. 水生态学杂志, 36(6): 80-85.
- 蒋红, 谢嗣光, 赵文谦, 等. 2007. 二滩水电站水库形成后鱼类种类组成的演变[J]. 水生生物学报, 31(4): 532-539.
- 蒋志刚, 江建平, 王跃招, 等. 2016. 中国脊椎动物红色名录[J]. 生物多样性, 24(5): 500-551.
- 乐佩琪. 2000. 中国动物志 硬骨鱼纲 鲤形目[M]. 北京: 科学出版社.
- 李浩林, 赵亚辉, 张洁, 等. 2014. 金沙江下游与长江上游珍稀、特有鱼类国家级自然保护区鱼类物种多样性比较[J]. 淡水渔业, 44(6): 104-108.
- 林俊强, 彭期冬, 任杰, 等. 2014. 赤水河与金沙江下游河段鱼类生境条件的相似性分析[J]. 淡水渔业, 44(6): 93-99.
- 石睿杰, 唐莉华, 高广东, 等. 2018. 长江流域鱼类多样性与流域特性关系分析[J]. 清华大学学报(自然科学版), 58(7): 650-657.
- 王金林, 牟振波, 王且鲁, 等. 2018. 西藏裂腹鱼亚科鱼类研究进展[J]. 安徽农业科学, 46(24): 16-19.
- 吴江, 吴明森. 1986. 雅砻江的渔业自然资源[J]. 四川动物, 5(1): 1-5, 10.
- 杨青瑞, 陈求稳, 马徐发. 2011. 雅砻江下游鱼类资源调查及保护措施[J]. 水生态学杂志, 32(3): 94-98.
- 杨青瑞, 陈声威, 何建宽, 等. 2015. 支流生境替代保护效果评价指标体系与评价方法研究[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 13(6): 408-413, 420.
- 张春光, 杨君兴, 赵亚辉, 等. 2019. 金沙江流域鱼类[M]. 北京: 科学出版社: 303-308.
- 张金屯. 2004. 数量生态学[M]. 北京: 科学出版社: 44.
- 赵亚辉, 张洁, 张春光. 2008. 青藏高原鱼类的多样性[J]. 生物学通报, 43(7): 8-10.
- Azevedo-Santos VM, Pelicice FM, Henry R. 2020. Knowing biodiversity: fishes from the Guaref River basin, a tributary of the Jurumirim Reservoir, Paranapanema River, Brazil [J]. Biota Neotropica, 20: 1-15.
- Clarke KR, Warwick RM. 1994a. Changes in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation [M]. Plymouth, UK: Plymouth Marine Laboratory.
- Clarke KR, Warwick RM. 1994b. Similarity-based testing for

- community pattern: the two-way layout with no replication [J]. *Marine Biology*, 118: 167-176.
- Clarke KR. 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure [J]. *Australian Journal of Ecology*, 18(1): 117-143.
- Fu C, Wu J, Wang X, *et al.* 2004. Patterns of diversity, altitudinal range and body size among freshwater fishes in the Yangtze River basin, China [J]. *Global Ecology and Biogeography*, 13(6): 543-552.
- He Y, Wang J, Lek-Ang S, *et al.* 2010. Predicting assemblages and species richness of endemic fish in the upper Yangtze River [J]. *Science of the Total Environment*, 408(19): 4211-4220.
- Liu H, Guo C, Qu X, *et al.* 2020. Fish diversity, endemism, threats, and conservation in the Jinsha River Basin (Upper Yangtze River), China [J]. *North American Journal of Fisheries Management*, 41(4): 967-984.
- Marques H, Dias JHP, Perbiche-Neves G, *et al.* 2018. Importance of dam-free tributaries for conserving fish biodiversity in Neotropical reservoirs [J]. *Biological Conservation*, 224: 347-354.
- Nunes DMF, Magalhães ALB, Weber AA, *et al.* 2015. Influence of a large dam and importance of an undammed tributary on the reproductive ecology of the threatened fish matrinxã *Brycon orthotaenia* Günther, 1864 (Characiformes: Bryconidae) in southeastern Brazil [J]. *Neotropical Ichthyology*, 13(2): 317-324.
- Pinkas L, Oliphant MS, Iverson ILK. 1971. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters [J]. *Fish Bulletin*, 152: 1-105.
- Pracheil BM, McIntyre PB, Lyons JD. 2013. Enhancing conservation of large-river biodiversity by accounting for tributaries [J]. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(3): 124-128.
- Qi D, Chao Y, Guo S, *et al.* 2012. Convergent, parallel and correlated evolution of trophic morphologies in the subfamily Schizothoracinae from the Qinghai-Tibetan plateau [J/OL]. *PLoS ONE*, 7(3): e34070 [2021-09-30]. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0034070>.
- Singh G, Agarwal NK. 2013. Fish diversity of Laster Stream, a major tributary of river Mandakini in Central Himalaya (India) with regard to altitude and habitat specificity of fishes [J]. *Journal of Applied and Natural Science*, 5(2): 369-374.
- Súarez YR, Souza MM, Ferreira FS, *et al.* 2011. Patterns of species richness and composition of fish assemblages in streams of the Ivinhema River Basin, Upper Paraná River [J]. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 23(2): 177-188.