

# 贵州荔波发现弱须洞鳅

彭东<sup>①</sup> 王亚丽<sup>①</sup> 杨旭<sup>①</sup> 肖宁<sup>②\*</sup>

① 贵州师范大学生命科学学院 贵阳 550001; ② 贵阳护理职业学院 贵阳 550081

**摘要:** 洞鳅属 (*Troglonectes* Zhang, Zhao & Tang 2016) 鱼类为中国特有的小型洞穴淡水鱼类, 主要分布在贵州和广西喀斯特地区的地下河流中。2018 至 2019 年在贵州省荔波县境内进行洞穴生物多样性调查时采集到 4 号洞鳅属标本, 经过形态比较, 与弱须洞鳅 (*Troglonectes barbatus*) 相似; 基于线粒体 16S rRNA 和 Cyt *b* 重建的系统发育树及遗传距离分析显示, 4 号洞鳅属标本与来自模式产地的弱须洞鳅高度支持聚为一支; 利用 Kimura 双参数模型计算基于 16S rRNA 和 Cyt *b* 的遗传距离, 这些标本与弱须洞鳅之间的遗传距离分别为 0.4% 和 0.2%, 小于洞鳅属物种之间的遗传距离 (16S rRNA 遗传距离为 2.4%, Cyt *b* 遗传距离为 6.1%)。本研究使用 16S rRNA 和 Cyt *b* 分子标记研究洞鳅属部分物种的系统发育关系和遗传距离。综合形态和分子系统发育分析结果, 确定采集自贵州省荔波县小七孔景区的 4 号标本为隶属于鲤形目条鳅科洞鳅属的弱须洞鳅, 系贵州省洞穴鱼类新记录种。

**关键词:** 弱须洞鳅; 洞穴鱼类; 分布新记录种; 贵州

**中图分类号:** Q959.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2021) 06-882-09

## *Troglonectes barbatus* Found in Libo, Guizhou Province, China

PENG Dong<sup>①</sup> WANG Ya-Li<sup>①</sup> YANG Xu<sup>①</sup> XIAO Ning<sup>②\*</sup>

① School of Life Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang 550001;

② Guiyang Nursing Vocational College, Guiyang 550081, China;

**Abstract:** *Troglonectes* Zhang, Zhao & Tang 2016 fish included 10 species, all were small cave freshwater fish endemic to China, original records showed that most species (7 species) distributed in underground rivers in the Karst areas of Guangxi, few species (3 species) recorded in Guizhou Province, China. Four loach specimens of genus *Troglonectes* were collected during cave biodiversity survey from 2018 to 2019 within Xiaoqikong scenic area, Libo County, Guizhou Province, China (Table 1). Through the morphological comparison, it was found that similar to *T. barbatus* (Table 3), the key morphological taxonomic characteristics showed the same, such as: dorsal fin rays, pelvic fin rays and caudal fin rays; phylogenetic tree analysis and genetic distance analysis based on the mitochondrial 16S rRNA and Cyt *b* reconstruction showed

**基金项目** 中国科学院 B 类战略性先导科技专项 (No. XDB31030108), 荔波世界自然遗产地生物多样性监测项目, 国家动物标本资源库项目 (No. 2005DKA21402);

\* 通讯作者, E-mail: 1257174948@qq.com;

**第一作者介绍** 彭东, 男, 硕士研究生; 研究方向: 动物生态学; E-mail: 972656842@qq.com。

收稿日期: 2021-06-24, 修回日期: 2021-09-08 DOI: 10.13859/j.cjz.202106010

that four specimens were clustered into a highly supported clade with *T. barbatus* from the type locality (Fig. 2); genetic distances of 16S rRNA and Cyt *b* calculated based on Kimura 2-parameter showed that the genetic distances between these specimens and *T. barbatus* were 0.4% and 0.2%, respectively, which were much smaller than those congeners of genus *Troglonectes* (genetic distances of 16S rRNA was 2.4%, and Cyt *b* was 6.1%) (Table 2). In this study, 16S rRNA and Cyt *b* molecular markers were used to study the phylogenetic relationship and genetic distances of genus *Troglonectes*. The comprehensive morphological and phylogenetic analyses indicated that four specimens were belonged to the weakly bearded cave loach of the genus *Troglonectes* Loach, family Carabidae, new distribution record of *Troglonectes* fishes in Guizhou Province.

**Key words:** *Troglonectes barbatus*; Cave fish; New distribution record; Guizhou

洞鳅属 (*Troglonectes*), 隶属于鲤形目 (Cypriniformes) 条鳅科 (Nemacheilidae)。张春光等 (2016) 以叉尾洞鳅 (*T. furcicaudalis*) 作为模式种建立洞鳅属。该属为典型洞穴型鱼类, 由于该类群常生活在地下水环境中, 标本难于采集, 基础数据缺乏, 对该属的研究较少。目前洞鳅属包括 10 种, 即叉尾洞鳅、小眼洞鳅 (*T. microphthalmus*)、大鳞洞鳅 (*T. macrolepis*)、透明洞鳅 (*T. translucens*)、长体洞鳅 (*T. elongatus*)、弓背洞鳅 (*T. acridorsalis*) (蓝家湖等 2013)、弱须洞鳅 (*T. barbatus*) (蓝家湖等 2013)、大七孔洞鳅 (*T. daqikongensis*) (Deng et al. 2016)、水龙洞鳅 (*T. shuilongensis*) (Deng et al. 2016)、佳荣洞鳅 (*T. jiarongensis*) (Liu X et al. 2019, 蓝家湖等 2013, 张春光等 2016, Huang et al. 2020, Du et al. 2021)。贵州此前仅记录有水龙洞鳅、大七孔洞鳅和佳荣洞鳅。

弱须洞鳅分布于我国广西河池市南丹县里湖镇, 属柳江水系龙江支流的打狗河, 为典型的洞穴鱼 (蓝家湖等 2013)。2018 至 2019 年在贵州省荔波县南方喀斯特世界自然遗产地境内进行洞穴动物多样性调查期间, 采集到 4 尾洞鳅属标本 (图 1)。依据背鳍 iii-9, 背鳍起点位于腹鳍起点之后、腹鳍 i-6、尾鳍后缘叉形、具 14 根分枝鳍条、尾柄上缘软鳍褶发达以及无眼等形态性状, 再结合分子标记线粒体基因 16S rRNA 和 Cyt *b* 鉴定为弱须洞鳅, 为贵州鱼类新记录种。本研究对其进行了形态学描述, 并为

洞鳅属分类系统的建立提供分子遗传学数据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料收集与形态测量

4 尾洞穴鱼标本采集自贵州省荔波县南方喀斯特世界自然遗产地小七孔景区一个洞穴 (107°42'14" E, 25°16'45" N, 海拔 970 m), 隶属于柳江水系龙江支流打狗河上游。除此之外, 还采集了模式产地的佳荣洞鳅、水龙洞鳅、大七孔洞鳅以及弱须洞鳅标本用于形态学和分子系统学分析。形态性状的测量依据唐莉 (2012) 的方法使用游标卡尺 (Serial. No.14133868, 德国, 量程 0 ~ 150 mm, 测量精度 0.01 mm) 对保存完整 3 号标本 (GZNU20190122001、GZNU20190122002 和 GZNU20200109001) 的 12 个可量性状 (精确度 0.1 mm) 进行了测量, 所有的测量性状均在标本左侧进行。标本的背鳍条 (dorsal fin rays)、臀鳍条 (anal fin rays)、胸鳍条 (pectoral fin rays)、腹鳍条 (pelvic fin rays) 和尾鳍条 (caudal fin rays) 等可数性状参考唐莉 (2012) 计数。

### 1.2 DNA 提取、扩增和测序

取保存在无水乙醇中的肌肉组织, 使用购买自北京全式金生物公司的 DNA 试剂盒提取基因组 DNA。以线粒体基因 16S rRNA 和 Cyt *b* 作为分子标记, 使用引物 L3976/H4552 (Simon et al. 1994) 和 F14724/R15915 (Xiao et al. 2001) 引物分别对 16S rRNA 和 Cyt *b* 进行 PCR 扩增。PCR 扩增体系为 25  $\mu$ l, 反应

程序为 94 ℃ 预变性 2 min, 94 ℃ 变性 40 s, 52 ℃ (16S rRNA) /45 ℃ (Cyt *b*) 退火 40 s, 72 ℃ 延伸 1 min, 35 个循环, 72 ℃ 终延伸 8 min, 4 ℃ 保存。PCR 产物经凝胶电泳检测后交由成都擎科测序公司采用双向测序, 所得序列上传到 GenBank 中 (表 1)。

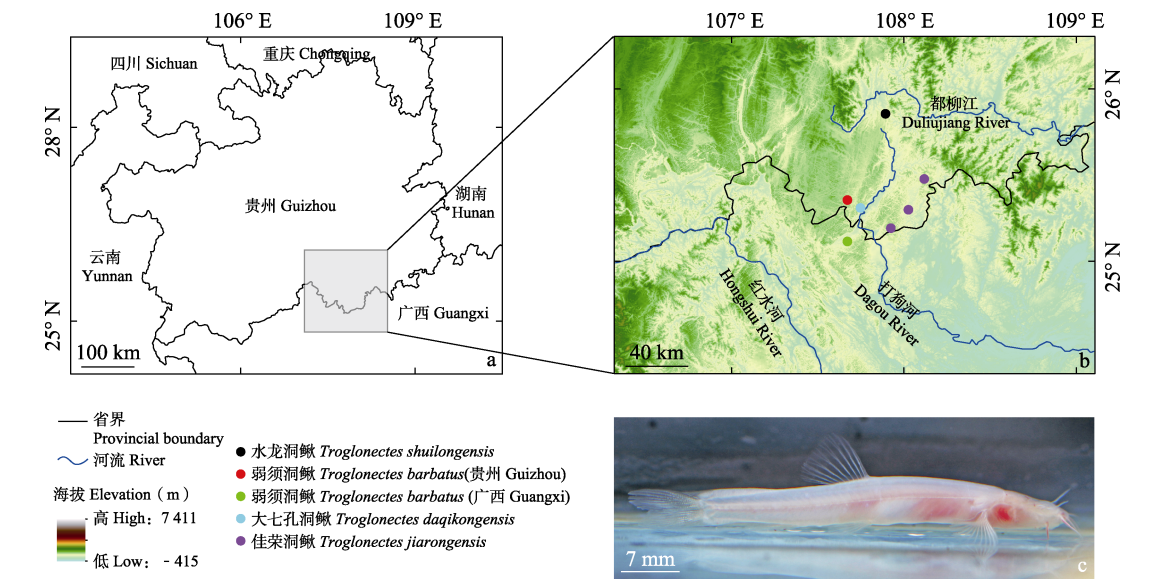


图 1 本研究中用于分子系统学分析的样品采集分布和弱须洞鳅的活体照片

Fig. 1 Distribution of sample collection for molecular analysis in this study and living photographs of *Troglonectes barbatus*

a 和 b 图为洞鳅属物种样品采集点, c 图为弱须洞鳅的活体照片。  
a and b are samples collected sites of *Troglonectes*, while c is a photo of *Troglonectes barbatus*.

表 1 本研究及 GenBank 中下载用于构建系统发育树的线粒体序列信息  
Table 1 Mitochondrial sequences information for reconstruction phylogenetic tree was downloaded from this study and GenBank

物种 Species	采集地点 (*模式产地) Locality (* type localities)	编号 ID	标本编号 Voucher ID	GenBank 登录号 GenBank accession number	
				16S rRNA	Cyt <i>b</i>
<i>Troglonectes jiarongensis</i>	贵州荔波县翁昂乡 Weng 'ang Township, Libo County, Guizhou	1	GZNU20200115004	<b>MZ621188</b>	OK001254
	贵州荔波县佳荣镇* Jiarong Town, Libo County, Guizhou*	2	gznu15	<b>MZ621192</b>	KU987437
	贵州荔波县洞塘乡 Dongtang Township, Libo County, Guizhou	3	GZNU20200115005	<b>MZ621193</b>	<b>OK001255</b>
	贵州荔波县佳荣镇* Jiarong Town, Libo County, Guizhou*	4	GZNU20200115006	<b>MZ621194</b>	<b>OK001256</b>

续表 1

物种 Species	采集地点 (*模式产地) Locality (* type localities)	编号 ID	标本编号 Voucher ID	GenBank 登录号 GenBank accession number	
				16S rRNA	Cyt b
佳荣洞鳅 <i>Troglonectes jiarongensis</i>	贵州荔波县洞塘乡 Dongtang Township, Libo County, Guizhou	5	GZNU20200115003	<b>MZ621195</b>	<b>OK001257</b>
		6	GZNU20170711001	<b>MZ621196</b>	MK610325
	贵州荔波县佳荣镇* Jiarong Town, Libo County, Guizhou*	7	GZNU20170728005	<b>MZ621197</b>	MK610326
弱须洞鳅 <i>T. barbatus</i>	贵州省荔波县小七孔景区 Small Seven-hole Scenic Area, Libo County, Guizhou	8	GZNU20181121001	<b>MZ621189</b>	<b>OK001249</b>
		9	GZNU20190122001	<b>MZ621198</b>	<b>OK001250</b>
		10	GZNU20190122002	<b>MZ621199</b>	<b>OK001251</b>
		11	GZNU20200109001	<b>MZ621200</b>	MK610327
	广西南丹县里湖镇* Lihu Town, Nandan County, Guangxi*	12	GZNU20200115001	<b>MZ621201</b>	OK001252
叉尾洞鳅 <i>T. furcicaudalis</i>	广西融安县 Rongan County, Guangxi	13	—	KX778472	KX778472
大七孔洞鳅 <i>T. daqikongensis</i>	贵州荔波县大七孔景区* Big Seven-hole Scenic Area, Libo County, Guizhou*	14	gznu11	<b>MZ621190</b>	KU987436
		15	—	MG738689	MG738689
		16	GZNU20200115002	<b>MZ621191</b>	<b>OK001253</b>
		17	GZNU20160726001	—	MK610323
水龙洞鳅 <i>T. shuilongensis</i>	贵州三都县水龙乡* Shuilong Township, Sandu County, Guizhou*	18	GNUG20100618001	—	KF640641
		19	GZNU2019122501	—	OK001258
北鳅 <i>Lefua costata</i>	—	20	—	KT943751	KT943751
短体北鳅 <i>L. nikkonis</i>	—	21	—	AP011300	AP011300
斑北鳅 <i>L. echigonia</i>	日本 Japan	22	—	AB054126	AB054126
桂林岭鳅 <i>Oreonectes guilinensis</i>	广西桂林兴坪镇 Xingping Town, Guilin City, Guangxi	23	—	—	MN239094
平头岭鳅 <i>O. platycephalus</i>	—	24	CBM:ZF 11394	AP011296	AP011296
十字云南鳅 <i>Yunnanilus cruciatus</i>	—	25	CBM:ZF 12292	AP012142	AP012142
丽纹云南鳅 <i>Y. pulcherrimus</i>	广西 桂林 Guilin City, Guangxi	26	—	MK387705	MK387705
美丽小条鳅 <i>Tracacichthys taeniatus</i>	—	27	CBM:ZF 11282	AP011301	AP011301

加粗的 GenBank 登录号来源于本研究。The bold GenBank accession number was form this study.

### 1.3 系统发育分析

对测序获取的以及从 GenBank 下载的 16S rRNA 和 Cyt *b* 序列使用 MEGA 7.0 (Kumar et al. 2016) 采用 MUSCLE 进行序列比对。使用贝叶斯法 (Bayesian inference, BI) 和最大似然法 (maximum likelihood, ML) 进行系统发育树的重建。在 PartitionFinder 2 (Lanfear et al. 2016) 基于贝叶斯信息准则 (Bayesian information criterion, BIC) 对序列矩阵进行最适分区和模型选择。在 MrBayes 3.1.2 (Ronquist et al. 2012) 进行贝叶斯分析, 设置 4 条链独立运行  $1 \times 10^7$  代, 每隔 100 代抽样一次, 舍弃前 25%, 在 Tracer 1.7 (Rambaut et al. 2018) 中查看运行参数的收敛和有效样本量 (effective sample sizes, ESS)。在 IQ-TREE (Nguyen et al. 2015) 中运行 1 000 次 Bootstrap 重复抽样分析, 以检验各分支节点的置信度。参考 Chen 等 (2019) 的研究, 选择 *Tracacichthys taeniatus* 作为外群。对于贝叶斯和最大似然分析, 分别使用贝叶斯后验概率 (Bayesian posterior probabilities, BPP) 和自举值 (bootstrap value, BS) 来表示节点支持率, 当前者不低于 0.95 且后者不低于 75 时, 被认为得到高度支持。在 MEGA 7.0 中, 选择 Kimura 双参数模型计算洞鳅属物种之间线粒体 16S rRNA 和 Cyt *b* 的遗传距离。

## 2 结果

### 2.1 系统发育分析和遗传差异

经序列比对用于重建系统发育树的序列矩阵全长 2 829 bp, 包括 16S rRNA 序列 1 689 bp 和 Cyt *b* 序列 1 140 bp, 其中包含 2 008 bp 的保守位点和 816 bp 的变异位点。模型选择结果建议将 16S rRNA 和 Cyt *b* 第一、第二和第三位密码子分别作为单独分区, 对应的进化模型为 GTR + I + G、K80 + G、HKY + I 和 TRN + I + G。系统发育树显示, 采集自贵州荔波的 4 号标本与模式产地的弱须洞鳅聚为一个高度支持

的进化枝 (贝叶斯后验概率和自举值分别为 1.00 和 100) (图 2)。

基于线粒体 16S rRNA 和 Cyt *b* 序列计算的岭鳅属和洞鳅属之间未校正的遗传距离显示 (表 2), 采集自贵州荔波小七孔景区的标本与模式产地广西南丹里湖镇的弱须洞鳅之间 Cyt *b* 的遗传距离为 0.4%, 16S rRNA 的遗传距离为 0.2%, 其次是与叉背洞鳅之间, Cyt *b* 和 16S rRNA 的遗传距离分别为 6.1% 和 2.5%。无论是 Cyt *b* 还是 16S rRNA, 采集自贵州荔波小七孔景区的标本与弱须洞鳅之间的遗传距离均小于该属各物种间的遗传距离。因此, 通过遗传学分析, 确定采集自贵州荔波小七孔景区的 4 号标本均为弱须洞鳅, 为贵州省鱼类分布新记录种。

### 2.2 形态鉴定和描述

弱须洞鳅 *Trogloneustes barbatus* (张春光等, 2016: 147)

**鉴别特征:** 前、后鼻孔分开一短距, 前鼻孔位于一短管中; 背鳍起点位于腹鳍起点之后, 背鳍分枝鳍条 8 根; 胸鳍分枝鳍条 10 根; 腹鳍分枝鳍条 6 根; 臀鳍分枝鳍条 5 根; 尾鳍后缘叉形, 具 14 根分枝鳍条, 尾柄上缘软鳍褶相对发达; 无眼; 通体无鳞, 侧线不完整; 体色退化呈半透明乳白色; 吻须后伸不达口角须起点; 口角须向后远不达外侧吻须基部 (表 3)。

**形态描述:** 背鳍 iii-8; 胸鳍 i-10; 腹鳍 i-6; 臀鳍 ii-5; 尾鳍分枝鳍条 14。

体长为体高的 8.3 倍, 为头长的 2.8 倍, 为尾柄长的 3.1 倍, 为尾柄高的 13.7 倍。头宽为头高的 1.2 倍。胸鳍长为胸鳍至腹鳍起点距离的 2/3。尾柄长为尾柄高的 4.6 倍。背鳍前距为体长的 54% (表 3)。

身体延长, 侧扁; 头部平扁, 头宽大于头高; 嘴呈鸭嘴状, 吻部延长, 吻部前端略向左右两侧扩大; 口下位, 口裂呈马蹄形; 上唇光滑, 上下唇在口角处相连; 上颌弧形, 下颌匙状; 须 3 对, 较纤细, 吻须短于口角须, 吻须

后伸不达口角须起点；前、后鼻孔分开一短距，前鼻孔位于一短管状突起中，短管向后斜截，末端残留一短须；无眼。

背鳍起点位于腹鳍起点后端基部长、外缘平截，垂直于腹鳍起点上方；胸鳍长而窄，可伸达胸鳍起点至腹鳍起点距离的 2/3；腹鳍起点略前于背鳍起点，后伸接近肛门；肛门略后于背鳍基后缘垂直下方；臀鳍外缘平截或略凸，臀鳍起源于肛门周缘，尖端达到尾柄的中间；尾柄上、下具明显的鳍褶，末端与尾鳍基相连；背面起点位于臀鳍第 1—4 根分枝鳍条根部的垂直上方，腹面起点位于臀鳍基后缘；尾鳍叉型，上下叶均末端略尖；身体裸露。侧线不完整，与头侧线系统连接。

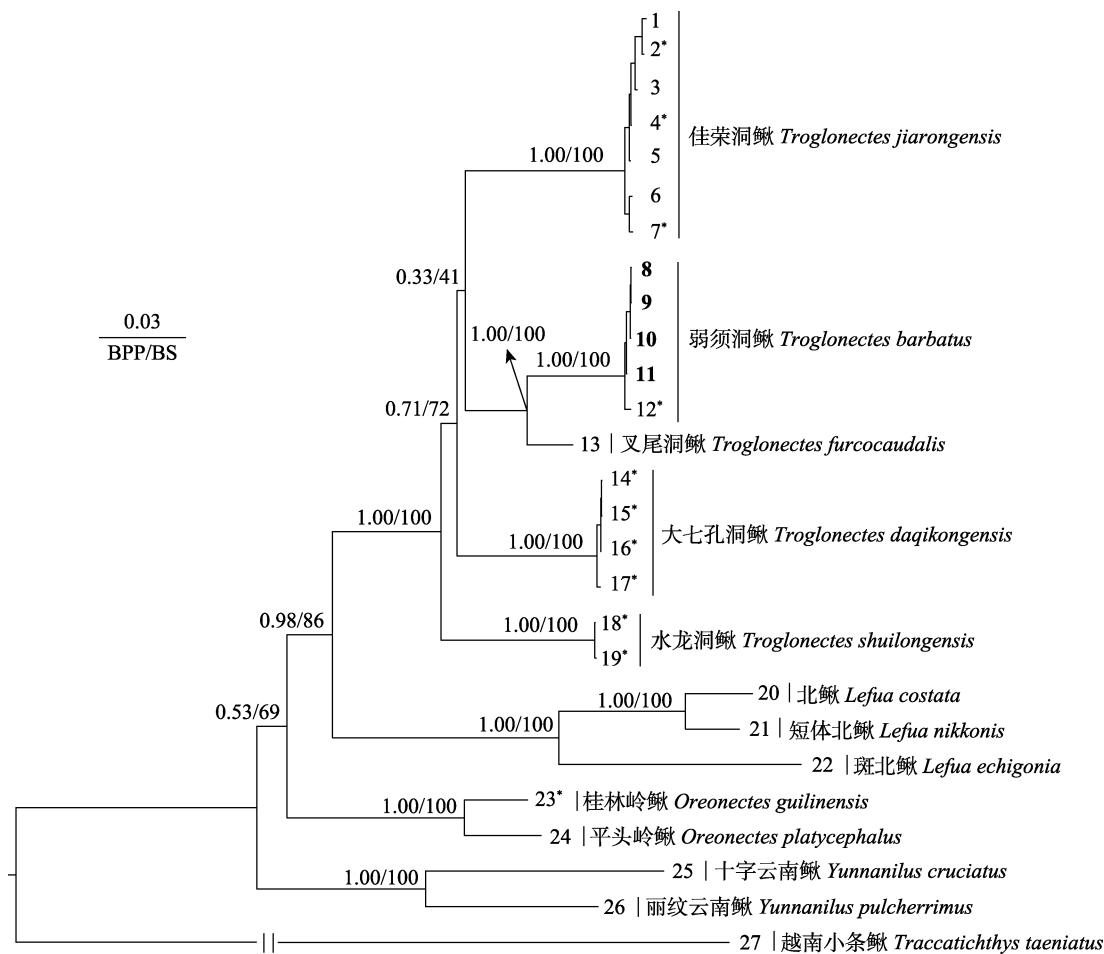


图 2 基于线粒体 16S rRNA 和 Cyt b 基因序列使用贝叶斯法和最大似然法重建的系统发育树

Fig. 2 Phylogenetic tree reconstructed based on mitochondrial 16S rRNA and Cyt b using Bayesian and maximum likelihood methods

\*表示为来自模式产地标本的相应序列，节点数字为贝叶斯后验概率（BPP）和自举值（BS）。比例尺代表每个位点的核苷酸替换数为 0.03。图中的阿拉伯数字序号对应于表 1 中的各物种编号。加粗的阿拉伯数字为贵州荔波采集的弱须洞鳅样品。

\*indicates that the sequence is from type locality. The scale indicates the node support rate, numbers at nodes are the Bayesian posterior probabilities (BPP)/ Bootstrap value (BS). The scale bar represents 0.03 nucleotide substitutions per site. The Arab numbers at the tip of branches corresponds to the species ID numbers in Table 1. The Arabic numbers in bold are the *Troglonectes shuilongensis* samples collected in Libo, Guizhou Province.

表 2 本研究中洞鳅属和岭鳅属物种之间的遗传差异 (%)

Table 2 Genetic distances (%) between partial species of the genera *Troglonectes* and *Oreonectes* in this study

物种 Species	1	2	3	4	5	6	7	8
1 弱须洞鳅 <i>T. barbatus</i> (贵州荔波 Libo, Guizhou)		0.2	4.3	5.1	2.5	4.7	/	7.0
2 弱须洞鳅 <i>T. barbatus</i> (广西南丹 Nandan, Guangxi)	0.4		4.2	5.0	2.4	4.6	/	7.0
3 大七孔洞鳅 <i>T. daqikongensis</i>	10.0	10.2		4.9	3.3	4.4	/	6.7
4 佳荣洞鳅 <i>T. jiarongensis</i>	11.3	11.5	10.3		4.4	5.5	/	7.4
5 叉尾洞鳅 <i>T. furcicaudalis</i>	6.1	6.4	9.4	9.6		4.2	/	6.6
6 水龙洞鳅 <i>T. shuilongensis</i>	10.7	11.2	10.6	9.5	9.9		/	7.4
7 桂林岭鳅 <i>O. guilinensis</i>	14.2	14.6	15.0	14.4	13.0	13.6		/
8 平头岭鳅 <i>O. platycephalus</i>	13.5	13.7	14.6	14.8	13.2	13.9	6.4	

左下角为 Cyt *b*, 右上角为 16S rRNA。Cyt *b* and 16S rRNA in the lower left and upper right corners, respectively.

表 3 贵州和广西分布洞鳅属物种的形态度量参数

Table 3 Morphometric characteristics of the genus *Troglonectes* collected from Guizhou Province and Guangxi, China

测量特征 Measurement characteristic	贵州 Guizhou (本研究 This study)				广西 Guangxi
	弱须洞鳅 <i>T. barbatus</i> ( <i>n</i> = 3)	佳荣洞鳅 <i>T. jiarongensis</i> ( <i>n</i> = 7)	大七孔洞鳅 <i>T. daqikongensis</i> ( <i>n</i> = 4)	水龙洞鳅 <i>T. shuilongensis</i> ( <i>n</i> = 2)	弱须洞鳅 <i>T. barbatus</i> ( <i>n</i> = 8) (蓝家湖等 2013)
背鳍条 Dorsal fin rays	iii, 8-9	iii, 7-8	iii, 8-9	iii, 7-8	iii, 8-10
臀鳍条 Anal fin rays	i, 5	ii, 6	iii, 6	iii, 5	i, 5-6
胸鳍条 Pectoral fin rays	i, 10-11	i, 10-11	i, 11-12	i, 9-10	i, 10-12
腹鳍条 Pelvic fin rays	i, 6	i, 6	i, 6-7	i, 6	i, 6
尾鳍条 Caudal fin rays	14	16	13-14	14	14
全长 Total length, TL (mm)	49.5 - 50.7	48.3 - 115.4	43.8 - 76.4	32.1 - 16.4	50.7 - 69.7
标准长 Sundaed length, SL (mm)	41.7 - 43.2	44.5 - 72.4	34.37 - 59.7	27.2 - 36.5	43.2 - 57.3
占标准长的百分比 Percentage of standard length (%)					
体高 Body heigh, BH	13.0 - 14.2	12.2 - 14.5	18.2 - 21.7	7.6 - 10.8	14.8 - 15.4
背鳍前距 Prdonsal length, PL	53.5 - 54.4	55.1 - 58.2	54.5 - 59.2	56.6 - 63.6	53.5 - 57.3
背鳍基长 Langth of desal fin base, DBL	11.3 - 11.5	10.3 - 11.5	9.6 - 13.4	7.6 - 10.1	10.4 - 13.8
背鳍长 Length of drsal fin, DFL	20.1 - 20.6	16.3 - 21.3	19.8 - 23.8	16.5 - 19.0	18.5 - 21.3
臀鳍基长 Length of anal fin base, ABL	8.2 - 8.3	7.5 - 8.6	7.6 - 9.6	6.0 - 8.5	8.3 - 8.7
臀鳍长 Length of anal fin, AFL	19.9 - 19.4	15.4 - 16.4	16.7 - 19.2	12.7 - 17.3	17.4 - 30.4
胸鳍长 Length of pectoral fin, PTFL	18.9 - 19.4	20.7 - 27.9	22.6 - 29.4	13.5 - 18.3	19.4 - 22.3
尾柄长 Length of caudal peduncle, CPL	15.0 - 15.9	16.5 - 18.2	12.9 - 19.9	13.2 - 16.8	15.9 - 15.8
头长 Lateral length of head, HL	34.9 - 35.5	23.3 - 26.9	28.5 - 33.0	23.7 - 26.0	31.3 - 36.8
头高占头长百分比 Head height (HH) percentage of lateral length of head (%)	32.4 - 33.4	37.9 - 43.8	42.8 - 50.5	38.4 - 42.4	33.1 - 37.8

生活时身体呈半透明状、粉红色；体无色斑，各鳍透明，鳍褶白色。浸制标本体黄色。

### 3 讨论

中国西南喀斯特地区不仅陆生生物物种丰富（姚正明等 2018，王勇等 2019），而且洞穴生物资源，尤其是鱼类资源也很丰富（Ma et al. 2019，周江 2019，曾之珣等 2020）。由于对洞穴环境的适应，洞穴鱼类在身体结构和遗传上表现出很强的适应性，例如眼睛和色素的退化或丧失（Yang et al. 2016，Xu et al. 2017，Liu Z et al. 2019）。作为一个身体机能高度特化的生物类群，加上在形态、繁殖模式和栖息环境上的高度同质性，为洞穴硬骨鱼的分类研究增加了许多困难。随着分子生物学技术的发展，结合形态和分子数据的综合分类方法对物种进行鉴定已广泛应用。在形态特征上，贵州境内发现的弱须洞鳅标本的分类学特征与模式产地广西南丹里湖镇分布的弱须洞鳅（蓝家湖等 2013）的标本基本一致，二者在可量性状上的差异可能由于所测量标本数量差异造成。本研究只有 3 尾标本，而广西模式标本产地共测量 8 尾（蓝家湖等 2013）。与弱须洞鳅同域分布的有水龙洞鳅、大七孔洞鳅和佳荣洞鳅，可以通过以下特征将它们区分开：须洞鳅背鳍分枝鳍条 8 根；臀鳍分枝鳍条 5 根；尾柄上缘软鳍褶相对发达；无眼；通体无鳞，侧线不完整。在分子遗传学上，本研究使用 16S rRNA 和 Cyt b 基因作为分子标记，这两个基因已经广泛使用在条鳅科的系统发育研究中（Zhao et al. 2021），以此二基因对采自贵州荔波小七孔景区的 4 号标本进行了分子遗传学分析，这 4 号标本与弱须洞鳅模式产地的标本之间遗传差异极小，小于洞鳅属物种之间的最小遗传距离（16S rRNA 遗传距离为 2.4%，Cyt b 遗传距离为 6.1%）。系统发育树也显示，采集自贵州荔波的 4 号标本与模式产地的弱须洞鳅聚为一个进化枝，且高度支持。因此，结合形态学和分子遗传学结果，证实采自贵州荔波小七孔景区的

4 号标本为弱须洞鳅，系贵州省首次发现。

弱须洞鳅最早发现于广西南丹县里湖镇，属柳江水系龙江支流上游的打狗河（蓝家湖等 2013），本次调查地点荔波小七孔景区的水系同样隶属于打狗河流域。打狗河上游从贵州荔波境内流入广西，弱须洞鳅在贵州荔波的采集地和模式标本分布点（广西河池市南丹县里湖镇）之间的直线距离为 17 km，说明贵州荔波的地下河流有可能与广西南丹里湖镇地下河流是连通的，不存在地理隔离，且根据两分布点之间的直线距离，以及相同的地表水系，推测两地的地下河连通程度极高，改变了以往洞穴鱼类物种分布狭窄，“一个洞穴一个物种”的认知（李楠 2007，张晓杰等 2010），明确了该物种在贵州省南部地区的新分布，丰富了该物种的分布信息，并拓宽了对该物种系统地理学的认识，同时也丰富了荔波喀斯特世界自然遗产地地下河流物种多样性的基础数据。本研究所提供的分子和地理分布数据为洞鳅属的系统分类学、种群遗传和保护生物学研究提供了基础数据。

### 参 考 文 献

- Chen W, Yang J, Li Y, et al. 2019. Exploring taxonomic diversity and biogeography of the family Nemacheilinae (Cypriniformes). *Ecology and Evolution*, 9(18): 10343–10353.
- Deng H, Wen H, Xiao N, et al. 2016. A new blind species of the cave genus *Oreonectes* from Guizhou, China (Nemacheilinae). *Zookeys*, 28(637): 47–59.
- Du L N, Yang J, Min R, et al. 2021. A review of the Cypriniform tribe Yunnilini Prokofiev, 2010 from China, with an emphasis on five genera based on morphologies and complete mitochondrial genomes of some species. *Zoological Research*, 42(3): 310–334.
- Huang J Q, Yang J, Wu Z Q, et al. 2020. *Oreonectes guilinensis* (Teleostei, Cypriniformes, Nemacheilidae), a new loach species from Guangxi, China. *Journal of Fish Biology*, 96(1): 111–119.
- Kumar S, Stecher G, Tamura K. 2016. MEGA7: Molecular evolutionary genetics analysis version 7.0 for bigger datasets. *Molecular Biology and Evolution*, 33(7): 1870–1874.
- Lanfear R, Frandsen P B, Wright A M, et al. 2016. PartitionFinder 2:



- new methods for selecting partitioned models of evolution for molecular and morphological phylogenetic analyses. *Molecular Biology and Evolution*, 34(3): 772–773.
- Liu X, Deng H, Liu Z, Zhou J. 2019. Reassignment of '*Triplophysa jiarongensis*' (Cypriniformes: Nemacheilidae) to *Oreonectes* Günther, 1868. *Zootaxa*, 4565(3): 398–406.
- Liu Z, Wen H, Hailer F, et al. 2019. Pseudogenization of Mc1r gene associated with transcriptional changes related to melanogenesis explains leucistic phenotypes in *Oreonectes* cavefish (Cypriniformes, Nemacheilidae). *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, 57(4): 900–909.
- Ma L, Zhao Y H, Yang J X. 2019. Cavefish of China // White W B, Culver D C. *Encyclopedia of Caves*. 3rd ed. Amsterdam: Academic Press, 237–254.
- Nguyen L T, Schmidt H A, von Haeseler A, et al. 2015. IQ-TREE: a fast and effective stochastic algorithm for estimating maximum-likelihood phylogenies. *Molecular Biology and Evolution*, 32(1): 268–274.
- Rambaut A, Drummond A J, Xie D, et al. 2018. Posterior summarisation in Bayesian phylogenetics using Tracer 1.7. *Systematic Biology*, 67(5): 901–904.
- Ronquist F, Teslenko M, van Der Mark P, et al. 2012. MrBayes 3.2: efficient Bayesian phylogenetic inference and model choice across a large model space. *Systematic Biology*, 61(3): 539–542.
- Simon C, Frati F, Beckenbach A, et al. 1994. Evolution, weighting, and phylogenetic utility of mitochondrial gene sequences and a compilation of conserved polymerase chain reaction primers. *Annals of the Entomological Society of America*, 87(6): 651–701.
- Xiao W H, Zhang Y P, Liu H Z. 2001. Molecular systematics of Xenocyprinae (Teleostei: Cyprinidae): taxonomy, biogeography, and coevolution of a special group restricted in East Asia. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 18(2): 163–173.
- Xu T, Deng H, Zhou J. 2017. The cavefish *Oreonectes jiarongensis* can be induced to differentiate and recover under the light condition. *Transylvanian Review of Systematical and Ecological Research*, 19(3): 75–84.
- Yang J X, Chen X, Bai J, et al. 2016. The Sinocyclocheilus cavefish genome provides insights into cave adaptation. *BMC Biology*, 14(1): 1–13.
- Zhao L X, Liu J H, Du L N, et al. 2021. A new loach species of *Troglonectes* (Teleostei: Nemacheilidae) from Guangxi, China. *Zoological Research*, 42(4): 423–427.
- 曾之珣, 刘飞. 2020. 贵州清水河鱼类多样性现状. 贵州师范大学学报: 自然科学版, 38(6): 11–18.
- 蓝家湖, 甘西, 吴铁军, 等. 2013. 广西洞穴鱼类. 北京: 科学出版社.
- 李楠. 2007. 贵州茂兰喀斯特洞穴鱼类与洞穴水环境的关系研究. 贵州: 贵州师范大学硕士学位论文.
- 唐莉. 2012. 岭鳅属 (*Oreonectes*) 和洞鳅属 (*Troglonectes* gen. nov.) (鲤形目: 爬鳅科) 鱼类的分类及分布格局研究. 北京: 中国科学院动物研究所硕士学位论文.
- 王勇, 钟国, 宋波, 等. 2019. 花溪十里河滩国家城市湿地公园鸟类多样性研究. 贵州师范大学学报: 自然科学版, 37(1): 59–64.
- 姚正明, 覃龙江, 谭成江, 等. 2018. 茂兰国家级自然保护区两栖类物种多样性研究. 贵州师范大学学报: 自然科学版, 36(2): 33–38.
- 张春光, 赵亚辉, 邢迎春, 等. 2016. 中国内陆鱼类物种与分布. 北京: 科学出版社.
- 张晓杰, 代应贵. 2010. 我国喀斯特洞穴鱼类研究进展. 上海海洋大学学报, 19(3): 364–371.
- 周江. 2019. 贵州南部及西南部典型洞穴鱼类物种多样性研究. 贵州师范大学学报: 自然科学版, 37(2): 1–15.