

四川叙永发现中华湍蛙及其系统发育关系探讨

彭希睿 杨超 黄燕*

西南野生动植物资源保护教育部重点实验室 南充 637009

摘要: 2023年5月及2024年6月,在位于四川省叙永县的画稿溪国家级自然保护区采集到6号湍蛙属(*Amolops*)标本。经过形态学和分子生物学鉴定,确认为中华湍蛙(*A. sinensis*),且是四川省两栖动物分布新记录种。本研究展示了该标本的16项外形特征测量值,并描述了其生境特征。对4个不同地理种群的中华湍蛙基于COI基因片段构建最大似然树,四川画稿溪标本与广东石门台模式产地标本序列聚在一起,且两者之间的遗传距离为0~0.7%,远小于同属物种之间的平均遗传距离3.1%,以及与近缘属物种滇蛙(*Nidirana pleuraden*)、花臭蛙(*Odorrana schmackeri*)、沼水蛙(*Hylarana guentheri*)间的平均遗传距离(8.5%)。本发现有助于理解该物种的潜在分布区以及谱系地理。

关键词: 中华湍蛙; 新分布记录; 形态鉴定; 分子系统发育; 画稿溪国家级自然保护区

中图分类号: Q959 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263(2025)02-285-10

The Discovery and Phylogenetic Relationship of *Amolops sinensis* in Xuyong, Sichuan, China

PENG Xi-Rui YANG-Chao HUANG Yan*

Key Laboratory of Southwest China Wildlife Resources Conservation (Ministry of Education),

China West Normal University, Nanchong 637009, China

Abstract: In May 2023 and June 2024, six *Amolops* specimens were collected in Huagaoxi National Nature Reserve, Xuyong County, Sichuan Province. Due to the large number of *Amolops* species and the existence of highly similar relatives, molecular identification was conducted. Morphometric measurements were taken on the collected specimens followed by extraction, sequencing, and analysis targeting mitochondrial COI gene segments derived from muscle tissue for phylogenetic inference at intra-genus level. The maximum likelihood tree of COI gene fragments from four different populations of *A. sinensis* showed that the Xuyong specimen from Sichuan and type locality Shimentai sequence from Guangdong were clustered together, and the genetic distance between them was 0 - 0.7%, which is significantly smaller than the average genetic distance within the *Amolops* species (3.1%), and the average genetic distance between them and the outgroup (closely related

基金项目 国家自然科学基金项目 (No. 32270461);

* 通讯作者, E-mail: sunflower-hy@126.com;

第一作者介绍 彭希睿, 男, 硕士研究生; 研究方向: 动物学; E-mail: 13558867675@163.com.

收稿日期: 2024-07-26, 修回日期: 2024-11-27 DOI: 10.13859/j.cjz.202524174 CSTR: 32109.14.cjz.24174

species *Nidirana pleuraden*, *Odorrana schmackeri*, *Hylarana guentheri*) of 8.5%. Meanwhile, the distribution area of *A. sinensis* was predicted using MaxEnt, with an average test AUC of 0.986 and a standard deviation of 0.007 after repeated runs. The species previously identified as *A. ricketti*, which was distributed in Sichuan Province, should be revised as *A. sinensis*, representing a new species record of amphibians in Sichuan Province. This study further expanded the altitude range of *A. sinensis*, extending the low altitude to 400 m in comparison with the previous record (500 - 1 300 m). The discovery will play an important role in understanding the potential range and phylogeography of the species.

Key words: *Amolops sinensis*; New distributed record; Morphological identification; Molecular phylogeny; Huagaoxi National Nature Reserve

湍蛙属 (*Amolops*) 属于蛙科, 广泛分布于喜马拉雅山脉东部和南部, 东至中国大陆东南部, 南至马来半岛, 目前该属已报道 86 种 (Frost 2024), 我国分布 32 种。四川省记录的湍蛙属物种 8 种 (费梁等 2012, Fei et al. 2017, Jiang et al. 2021), 即崇安湍蛙 (*A. chunganensis*)、棘皮湍蛙 (*A. granulatus*)、理县湍蛙 (*A. lifanensis*)、棕点湍蛙 (*A. loloensis*)、四川湍蛙 (*A. mantzorum*)、华南湍蛙 (*A. ricketti*)、新都桥湍蛙 (*A. xinduqiao*) 和钊琴湍蛙 (*A. chaochin*)。

中华湍蛙 (*A. sinensis*) 主要分布于广东中部到广西东北部、湖南西南部 (Lyu et al. 2019)、贵州北部到东南部 (李仕泽等 2020) 以及云南盐津 (袁智勇等 2022)。2023 年 5 月及 2024 年 6 月, 在四川省叙永县画稿溪国家级自然保护区 (28°11'38" ~ 28°19'42" N, 105°26'37" ~ 105°40'08" E) 采集到 6 号湍蛙属标本, 经形态学及分子生物学研究鉴定为中华湍蛙, 属四川省两栖动物分布新记录种。

1 材料与方 法

画稿溪国家级自然保护区位于四川省叙永县城东北部, 处于云贵高原黔山地北缘与四川盆地中部低山丘陵的过渡地带, 总面积达 238.27 km², 海拔 332 ~ 1 787 m。由于造山运动以及从南向北流向的画稿溪河及墩子河的长年冲刷, 保护区内形成许多河谷陡坡, 坡度多在 30°以上。本区属中亚热带湿润季风气候,

具有温暖湿润、雨量充沛、云雾雨日多的特点。年均降雨 1 172.6 mm, 年均温度 17.9 °C 左右, 年均日照时数达 1 170.3 h, 有霜日仅 2.5 d (叙永县志编纂委员会 1998)。

2023 年 5 月及 2024 年 6 月, 在四川画稿溪国家级自然保护区采集到 4 雄 2 雌共 6 号湍蛙类成体标本。取肌肉组织保存于 95% 乙醇中。标本浸泡于福尔马林溶液, 保存于西南师范大学西南野生动植物资源保护教育部重点实验室 (标本号分别为 HGX2023051501、HGX2023051502、HGX2024070401 及 HGX2024070403 ~ HGX2024070405)。

1.1 形态鉴定与测量

标本的形态鉴定依据文献描述 (Lyu et al. 2019)。使用数显游标卡尺 (CD-209PMX, Mitutoyo, 精确度为 0.01 mm) 测量 6 号标本的头体长、头长、头宽、吻长、鼻间距、眼间距、上眼睑宽、眼径、鼓膜径、前臂长、前臂宽、后肢长、胫长、胫宽、跗足长及足长 16 项形态特征 (费梁等 2005)。

1.2 DNA 提取、扩增及测序

使用动物基因组 DNA 提取试剂盒 (北京擎科生物科技股份有限公司) 从乙醇保存的肌肉样品中提取总 DNA。利用 PCR 扩增并测定了线粒体 *COI* 基因部分片段。扩增引物使用 Chmf4 (5'-TYT CWA CWA AYC AYA AAG AYA TCG G-3') 和 Chmr4 (5'-ACY TCR GGR TGR CCR AAR AAT CA-3') (其中存在简并引物, R 为 A/G, W 为 A/T, Y 为 C/T) (Che et al. 2012)。

25 μ l PCR 反应体系：12.5 μ l mix，10 μ mol/L 的上、下游引物各 1 μ l，500 mg/L 的 DNA 模板 1 μ l，灭菌水 9.5 μ l。PCR 反应条件，预变性 98 $^{\circ}$ C 3 min；变性 98 $^{\circ}$ C 10 s，退火 54 $^{\circ}$ C 10 s，延伸 72 $^{\circ}$ C 12 s，35 个循环；终延伸 72 $^{\circ}$ C 5 min，4 $^{\circ}$ C 保存。PCR 扩增产物经电泳检测后，大小符合要求（600 bp 左右）的产物交由北京擎科生物科技有限公司测序。所得序列上传到 GenBank。

1.3 分子系统发育关系重建和遗传距离

从 GenBank 中下载蛙科湍蛙属相关物种及中华湍蛙 3 个地理种群的 COI 基因序列，与四川画稿溪国家级自然保护区标本序列（表 1）进行分子系统发育分析。以滇蛙（*Nidirana pleuraden*）、花臭蛙（*Odorrana schmackeri*）和沼水蛙（*Hylarana guentheri*）为外群。将所有

序列通过 MAFFT 7.475 进行比对（Rozewicki et al. 2019）。用 IQ-TREE1.6.12 软件（Chernomor et al. 2016）采用最大似然法构建系统发育树，基于 Akaike 信息量准则（Akaike information criterion, AIC）和贝叶斯信息准则（Bayesian information criterion, BIC）最佳模型均为 TIM2 + F + I + G4。基于 MEGAX 软件 Kimura 双参数模型计算遗传距离（Kimura 1980, Kumar et al. 2018）。

1.4 分布区面积计算

利用最大熵模型（MaxEnt）对已知的中华湍蛙分布位点数据（Lyu et al. 2019, 李仕泽等 2020, 袁智勇等 2022）进行生境适宜性分析（Phillips et al. 2008）。选取了来自 Worldclim version 1.4 (<https://www.worldclim.org/>) 的 19 个生态因子，并下载 NASA 发布的分辨率为

表 1 样品信息及 COI 基因序列 GenBank 序列号

Table 1 Samples and the GenBank accession numbers of COI gene sequences

物种名或标本号 Species or No. of specimen	采集地 Localities	COI 基因 GenBank 序列号 COI gene GenBank accession numbers
本文标本 Specimen of this study HGX2023051501、HGX2023051502、 HGX2024070401、HGX2024070403 - HGX2024070405	四川画稿溪 Huagaoxi, Sichuan	PQ043513 - PQ043518
中华湍蛙 <i>Amolops sinensis</i>	广东石门台 Shimentai, Guangdong* 贵州梵净山 Fanjingshan, Guizhou 贵州雷公山 Leigongshan, Guizhou 广西都庞岭 Dupangling, Guangxi 湖南阳明山 Yangmingshan, Hunan 湖南南岳衡山 Hengshan, Hunan	MK263329, MK263331, MK263314 MN563766 MN563767 MK263320 MK263334 MK263315
逸仙湍蛙 <i>A. yatseni</i>	广东中山 Zhongshan, Guangdong*	MK263323
武夷湍蛙 <i>A. wuyiensis</i>	福建武夷山 Wuyishan, Fujian*	KX507324
华南湍蛙 <i>A. ricketti</i>	福建武夷山 Wuyishan, Fujian*	MC991927
云开湍蛙 <i>A. yunkaiensis</i>	广东鹅凰嶂 Ehuangzhang, Guangdong*	MC991907
小湍蛙 <i>A. torrentis</i>	海南五指山 Wuzhishan, Hainan*	MC991930
海南湍蛙 <i>A. hainanensis</i>	海南五指山 Wuzhishan, Hainan*	MG991916
戴云湍蛙 <i>A. daiyunensis</i>	福建戴云山 Daiyunshan, Fujian*	KX507326
香港湍蛙 <i>A. hongkongensis</i>	香港 Hong Kong*	MG991919
滇蛙 <i>Nidirana pleuraden</i>	云南高黎贡山 Gaoligongshan, Yunnan*	MF807856
花臭蛙 <i>Odorrana schmackeri</i>		KP732086
沼水蛙 <i>Hylarana guentheri</i>		HQ844996

* 模式产地。* Type locality.

90 m 的航天飞机雷达地形测绘任务 (shuttle radar topography mission, SRTM) 数据 (<http://www.gscloud.cn/sources/accessdata/305?pid=302>), 提取分布区域海拔、坡度和坡向以及河流图层, 在全球生物多样性信息网络 (global biodiversity information facility, GBIF, <https://www.gbif.org/species/9855856>) 上下载了中华湍蛙 23 个分布点数据, 进行生境空间分布分析。MaxEnt 模型设置随机测试数据集 (random test percentage) 为 25%。正则化乘数 (regularization multiplier) 默认为 1.1; 最大的环境背景点 (max number of background points) 默认为 10 000; 采用交叉验证重复运算 4 次。构建的适宜分布模型采用 AUC 值 (area undercurve) 作为主要可信度和准确性指标, 并计算其最适宜分布范围的面积 (Elith et al. 2011)。

2 结果

2.1 形态分析结果

比较了四川采集的湍蛙标本和文献所列湍蛙属物种的形态鉴定特征, 发现本研究采集的标本形态特征与中华湍蛙模式产地标本相符, 获得 4 只雄蛙 2 只雌蛙的 16 项形态指标数据 (表 2)。成体雄性体长 52.0 ~ 55.7 mm ($n = 3$), 成体雌性体长分别为 53.5 和 54.8 mm, 亚成体雄性体长 40.2 mm ($n = 1$); 头宽略小于头长; 眼大且突出; 鼓膜小; 舌呈心形; 背侧褶缺失; 肩部具一纵行腺褶; 指关节下瘤呈圆形; 后肢贴体前伸达吻端; 指长顺序为 $I = II < IV < III$; 趾长顺序: $I < II < III < V < IV$; 指蹼缺乏, 趾满蹼; 趾关节下瘤呈椭圆形。

表 2 四川的中华湍蛙标本形态量度 (单位: mm)

Table 2 Morphological measurements of *Amolops sinensis* specimens collected from Sichuan Province (Unit: mm)

	雄性 Male				雌性 Female	
	HGX 2023051501	HGX 2024070401	HGX 2024070403	HGX 2024070405	HGX 2023051502	HGX 2024070404
头体长 Snout-vent length	54.8	55.7	52.0	40.2	53.5	54.8
头长 Head length	11.1	10.7	10.3	9.2	11.0	11.2
头宽 Head width	18.6	19.1	17.2	14.0	18.3	19.0
吻长 Snout length	4.7	4.8	4.3	4.0	4.7	4.3
鼻间距 Internasal space	4.8	6.5	5.4	4.8	4.8	5.8
眼间距 Interorbital space	14.7	14.3	13.3	11.6	14.5	15.0
上眼睑宽 Width of upper eyelid	5.8	6.7	6.1	5.0	5.8	7.1
眼径 Diameter of eye	5.7	5.5	5.3	4.4	5.7	5.6
鼓膜径 Diameter of tympanum	2.1	2.5	2.0	2.2	2.2	2.1
前臂长 Length of lower arm and hand	21.2	17.0	20.2	17.0	20.8	21.3
前臂宽 Width of lower arm	4.9	4.2	6.6	3.3	4.9	4.4
后肢长 Hindlimb length or leg length	90.5	82.8	89.9	75.8	88.3	85.0
胫长 Tibia length	14.6	13.8	15.4	8.5	14.4	16.0
胫宽 Tibia width	5.1	4.2	6.6	3.3	5.1	4.5
跗足长 Length of foot and tarsus	38.4	34.3	36.2	30.7	37.6	36.3
足长 Foot length	21.2	22.3	20.4	17.9	20.8	19.2

* 亚成体。* Subadult.

背面皮肤、体侧及四肢背面粗糙，颗粒状，具腺体和大疣粒；大腿、胫部和跗部具纵行皮肤棱；肩部具长形腺褶；背侧褶缺失；腹面皮肤略皱，具些许颗粒；前肢腹面光滑，后肢腹面具些许疣粒；泄殖孔附近具大瘰粒（图 1a~c）。

背部皮肤橄榄棕色至深棕色，有些个体具有浅色带状斑纹；前肢背面具不规则深色斑块；婚垫和婚刺米黄色；喉部和胸部奶白色；腹部米黄色；喉部、胸部和腹部前端具一些深灰色斑点状阴影；手和足背面深灰色（图 1d, e）。雄性第一指婚垫发达，其上具米黄色婚刺；雄性颞部（个别个体包括鼓膜）和颊部具白色角质刺。

2.2 分子系统发育和遗传距离

基于 *COI* 基因序列，使用最大似然法建立分子系统树（图 2），四川画稿溪标本序列与中华湍蛙不同种群序列聚合并构成单系，其

抽样支持率为 98%。基于 Kimura 双参数模型估算的画稿溪种群与湍蛙属部分物种间的遗传距离为 1.1%~6.5%，平均遗传距离为 3.1%，与外群的平均遗传距离为 8.5%（附录 1）。四川画稿溪的标本与中华湍蛙模式产地样本的遗传距离为 0~0.7%，远小于湍蛙属物种间的遗传距离。因此，分子系统发育分析和遗传距离结果均支持采自四川画稿溪的标本为中华湍蛙。

2.3 适宜分布区

MaxEnt 模型预测结果较好，重复运行的平均测试 AUC 为 0.986，标准偏差为 0.007。将中华湍蛙的潜在分布区域分为四个等级，生境适宜性得分如图 3 所示，图中白色代表不适宜区、深蓝色代表低适宜区、绿色代表中适宜区，红色代表高适宜区，主要集中于四川、重庆、贵州以及湖北和湖南交界处。

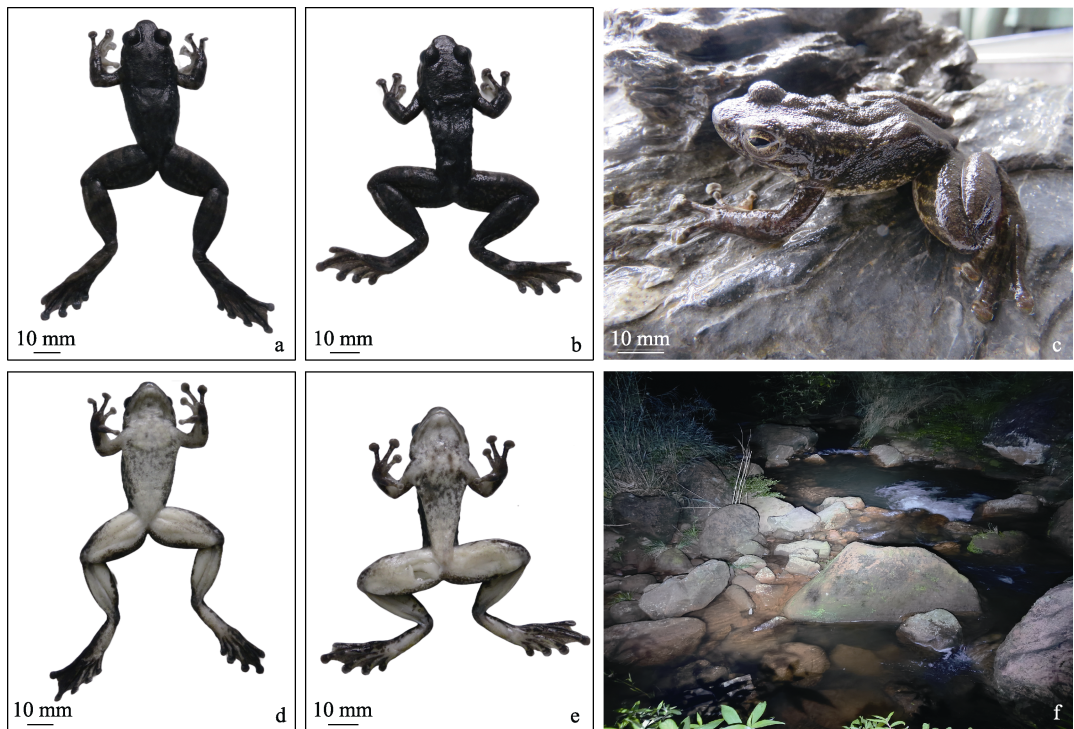


图 1 四川画稿溪中华湍蛙及生境照

Fig. 1 *Amolops sinensis* and its habitat in Huagaoxi National Natural Reserve, Sichuan

a. 背面观 (♀); b. 背面观 (♂); c. 生活照背面观; d. 腹面观 (♀); e. 腹面观 (♂); f. 画稿溪生境。

a. Dorsal view (♀); b. Dorsal view (♂); c. Dorsal view in life; d. Ventral view (♀); e. Ventral view (♂); f. Habitat of Huagaoxi.

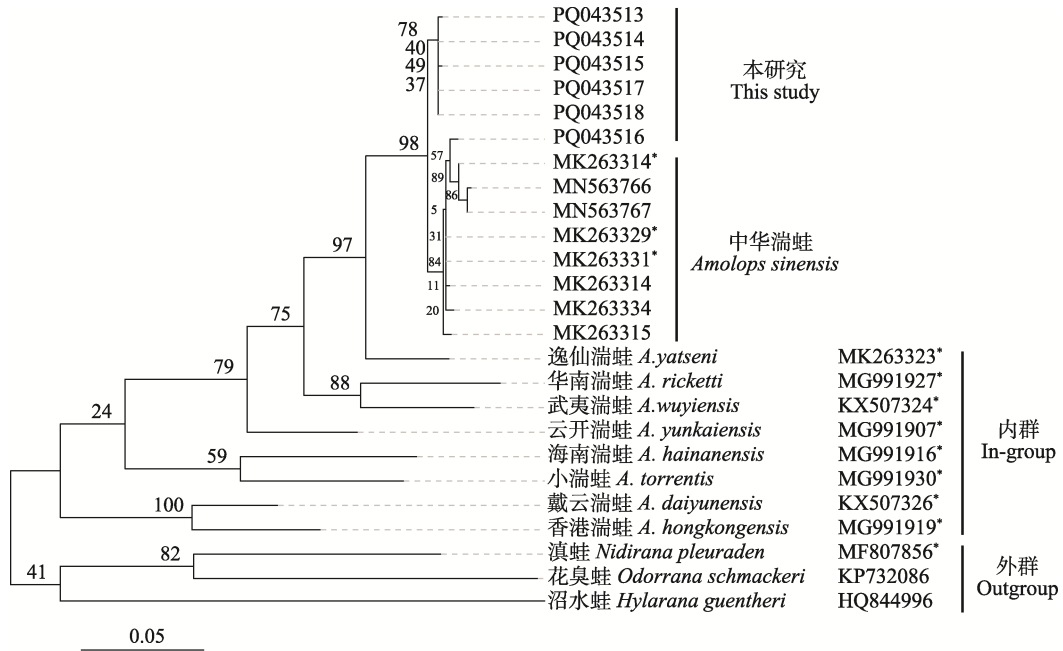


图 2 基于线粒体 COI 基因序列构建的湍蛙属最大似然系统发育树

Fig. 2 Maximum likelihood tree for *Amolops* constructed based on COI gene sequences

* 模式产地; 支上的数字代表重抽样支持率; 标尺表示支长比例尺。

* Type locality; numbers beside nodes indicate bootstrap values; scale bar indicates the branch length scale.

3 讨论

中华湍蛙画稿溪种群主要分布在海拔 400 m 左右的湍急溪流环境中 (图 1f)。与其同域分布的两栖类共有 15 种, 分别是棘指角蟾 (*Boulenophrys spinata*)、峨山掌突蟾 (*Leptobranchella oshanensis*)、中华蟾蜍 (*Bufo gargarizans*)、华西雨蛙 (*Hyla annectans*)、峨眉林蛙 (*Rana omeimontis*)、仙琴蛙 (*Nidirana daunchina*)、沼水蛙 (*Hylarana guentheri*)、大绿臭蛙 (*Odorrana graminea*)、绿臭蛙 (*O. margaretae*)、黑斑侧褶蛙 (*Pelophylax nigromaculatus*)、泽陆蛙 (*Fejervarya multistriata*)、棘腹蛙 (*Quasipaa boulengeri*)、斑腿泛树蛙 (*Polypedates megacephalus*)、粗皮姬蛙 (*Microhyla butleri*) 和饰纹姬蛙 (*M. fissipes*) (李成等 2022)。

Boulenger (1899) 将福建省武夷山的 2 号

湍蛙标本定名为华南湍蛙, 此后相继在中国南方 (费梁等 2012)、中南半岛北部和中部报道了此物种的分布 (Frost 2024)。分子系统学的发展极大地提高了对隐存种的识别能力 (Funk et al. 2012)。此前, 逸仙湍蛙 (*A. yatseni*) 和中华湍蛙曾被鉴定为华南湍蛙。华南湍蛙分布广泛, 在四川省南部存在分布 (费梁等 2012)。本文基于形态比较和分子系统发育关系分析, 认为分布于四川省画稿溪原鉴定为华南湍蛙的物种应为中华湍蛙, 为四川省湍蛙属新记录种。

在形态上, 中华湍蛙画稿溪种群雄蛙个体 (体长 52.0 ~ 54.8 mm) 与模式产地广东石门台种群雄蛙 (体长 40.2 ~ 46.5 mm, Lyu et al. 2019) 相比较, 与贵州种群雄蛙 (体长 56.1 ~ 58.0 mm, 李仕泽等 2020) 相比较小。从地理分布上看, 本次研究的中华湍蛙种群分布于云贵高原黔山地北缘与四川盆地中部低山丘陵的

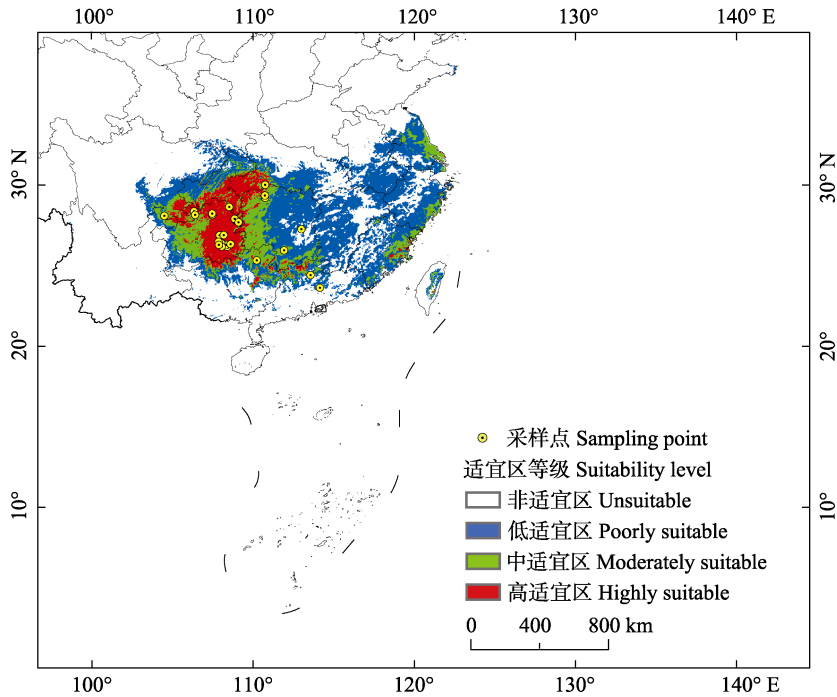


图 3 中华湍蛙潜在适宜分布图

Fig. 3 Potential suitability distribution localities of *Amolops sinensis*

审图号 GS 京 (2025) 0603 号。颜色较暖表示适宜性得分较高的区域。

Approval number GS Jing (2025) 0603. The warmer colors indicate areas with higher suitability scores.

过渡地带，中华湍蛙的模式产地广东省处于南岭山脉最南端，中间隔以雪峰山及巫山。中华湍蛙四川种群与模式产地种群在形态及分子上存在一定差异的原因是否由长期的地理隔离造成，还需进一步研究。在分子系统发育关系分析上，分子系统树多处自展值较低，靠近树支末端的中华湍蛙部分可能是序列太相似，导致无法区分，靠近根部位置可能是分支周边的序列相似度太低。再次利用最大简约法和邻接法分别构建了系统发育树，发现两棵树总体拓扑结构与本研究的最大似然法类似，故该结果较为可靠。

本研究还发现，基于 MaxEnt 模型预测的中华湍蛙适宜分布区向西延伸 400 km 至云南，向东延伸 700 km 至上海。虽然目前这些区域暂未发现中华湍蛙踪迹，但基于此前的研究发现该区域广泛分布华南湍蛙（费梁等 2012），

因此该区域分布的华南湍蛙各种群，可能也是中华湍蛙。在华南湍蛙中发现中华湍蛙和逸仙湍蛙等隐存种后 (Lyu et al. 2019)，迫切需要进一步厘清该区域分布“华南湍蛙”的分类地位及地理分布。

参 考 文 献

- Boulenger G A. 1899. On a collection of reptiles and batrachians made by Mr. J. D. Latouche in N. W. Fokien, China. *Proceedings of the Zoological Society of London*, 159–172.
- Che J, Chen H M, Yang J X, et al. 2012. Universal COI primers for DNA barcoding amphibians. *Molecular Ecology Resources*, 12(2): 247–258.
- Chernomor O, von Haeseler A, Minh B Q. 2016. Terrace aware data structure for phylogenomic inference from supermatrices. *Systematic Biology*, 65(6): 997–1008.
- Elith J, Phillips S J, Hastie T, et al. 2011. A statistical explanation of

- MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*, 17(1): 43–57.
- Fei L, Ye C, Wang Y, et al. 2017. A new species of the genus *Amolops* (Anura: Ranidae) from high-altitude Sichuan, southwestern China, with a discussion on the taxonomic status of *Amolops kangtingensis*. *Zoological Research*, 38(3): 138–145.
- Frost D R. 2024. *Amphibian Species of the World: an Online Reference*. Version 6.2. [DB/OL]. [2024-07-25]. American Museum of Natural History, New York, USA. <https://amphibiansoftheworld.amnh.org/index.php>.
- Funk W C, Caminer M, Ron S R. 2012. High levels of cryptic species diversity uncovered in Amazonian frogs. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 279(1734): 1806–1814.
- Jiang K, Ren J, Lyu Z, et al. 2021. Taxonomic revision of *Amolops chunganensis* (Pope, 1929) (Amphibia: Anura) and description of a new species from southwestern China, with discussion on *Amolops monticola* group and assignment of species groups of the genus *Amolops*. *Zoological Research*, 42(5): 574–591.
- Kimura M. 1980. A simple method for estimating evolutionary rates of base substitutions through comparative studies of nucleotide sequences. *Journal of Molecular Evolution*, 16(2): 111–120.
- Kumar S, Stecher G, Li M, et al. 2018. MEGA X: molecular evolutionary genetics analysis across computing platforms. *Molecular Biology and Evolution*, 35(6): 1547–1549.
- Lyu Z T, Huang L S, Wang J, et al. 2019. Description of two cryptic species of the *Amolops ricketti* group (Anura, Ranidae) from Southeastern China. *ZooKeys*, (812): 133–156.
- Phillips S J, Dudik M. 2008. Modeling of species distributions with MaxEnt: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31(2): 161–175.
- Rozewicki J, Li S L, Amada K M, et al. 2019. MAFFT-DASH: integrated protein sequence and structural alignment. *Nucleic Acids Research*, 47(W1): W5–W10.
- 费梁, 叶昌媛, 黄永昭, 等. 2005. 中国两栖动物检索及图解. 成都: 四川科学技术出版社, 396–416.
- 费梁, 叶昌媛, 江建平. 2012. 中国两栖动物及其分布彩色图鉴. 成都: 四川科学技术出版社, 6–8.
- 李成, 章文艳, 熊姗, 等. 2022. 贝叶斯权重估计方法在两栖动物多样性观测中的应用: 以四川省画稿溪自然保护区为例. *生态与农村环境学报*, 38(4): 504–510.
- 李仕泽, 刘京, 徐宁, 等. 2020. 贵州省两栖类新记录种——中华湍蛙及其蝌蚪描述. *四川动物*, 39(1): 75–80.
- 叙永县志编纂委员会. 1998. 叙永县志. 北京: 方志出版社.
- 袁智勇, 陈进民, 吴云鹤, 等. 2022. 云南省两栖类物种名录修订. *生物多样性*, 30(4): 154–170.

附录 1 基于线粒体 COI 基因计算本研究中的湍蛙属物种间 Kimura-2-parameter 遗传距离
Appendix 1 COI gene sequence-based genetic distance of 10 *Amolop* species examined in this study

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
1 PQ043513																									
2 PQ043514	0.000																								
3 PQ043515	0.000	0.000																							
4 PQ043516	0.006	0.006	0.005																						
5 PQ043517	0.000	0.000	0.000	0.005																					
6 PQ043518	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000																				
7 中华湍蛙	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000																			
<i>A. sinensis</i> (MK263314)	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000																		
8 中华湍蛙	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000																	
<i>A. sinensis</i> (MK263331)*	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000																
9 中华湍蛙	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000															
<i>A. sinensis</i> (MK263329)*	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000														
10 中华湍蛙	0.006	0.006	0.005	0.007	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.000														
<i>A. sinensis</i> (MN563766)	0.006	0.006	0.005	0.007	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.000	0.000													
11 中华湍蛙	0.006	0.006	0.005	0.007	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.000	0.000	0.000												
<i>A. sinensis</i> (MN563767)	0.006	0.006	0.005	0.007	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.000	0.000	0.000	0.005											
12 中华湍蛙	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.005													
<i>A. sinensis</i> (MK263315)	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.005	0.011	0.011	0.005										
13 中华湍蛙	0.006	0.006	0.005	0.007	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.011	0.011	0.011	0.011	0.005										
<i>A. sinensis</i> (MK263334)*	0.006	0.006	0.005	0.007	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.011	0.011	0.011	0.011	0.005										
14 中华湍蛙	0.006	0.006	0.005	0.007	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.000	0.000	0.000	0.005	0.011										
<i>A. sinensis</i> (MK263320)	0.006	0.006	0.005	0.007	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.000	0.000	0.000	0.005	0.011										
15 戴云湍蛙	0.030	0.030	0.037	0.032	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.032	0.032	0.032	0.037	0.043	0.032									
<i>A. daiyunensis</i> (KCX507326)*	0.030	0.030	0.037	0.032	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.032	0.032	0.032	0.037	0.043	0.032	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.043	0.043	0.032	

续附录 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
16 海南湍蛙	0.065	0.065	0.059	0.053	0.059	0.059	0.059	0.059	0.059	0.053	0.053	0.059	0.064	0.053	0.053										
<i>A. hainanensis</i> (MG991916)*																									
17 华南湍蛙	0.030	0.030	0.027	0.021	0.027	0.027	0.027	0.027	0.027	0.032	0.032	0.027	0.021	0.032	0.043	0.053									
<i>A. ricketti</i> (MC991927)*																									
18 武夷湍蛙	0.018	0.018	0.016	0.011	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.021	0.021	0.016	0.021	0.021	0.032	0.043	0.011								
<i>A. wuyiensis</i> (KX507324)*																									
19 香港湍蛙	0.030	0.030	0.037	0.032	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.032	0.032	0.037	0.043	0.032	0.011	0.064	0.043	0.043							
<i>A. hongkongensis</i> (MG991919)*																									
20 小湍蛙	0.036	0.036	0.032	0.027	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.037	0.037	0.032	0.037	0.037	0.043	0.043	0.037	0.037	0.032						
<i>A. torrentis</i> (MC991930)*																									
21 逸仙湍蛙	0.012	0.012	0.011	0.016	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.016	0.016	0.011	0.016	0.016	0.037	0.059	0.016	0.016	0.037	0.032					
<i>A. yatseni</i> (MK263323)*																									
22 云开湍蛙	0.024	0.024	0.021	0.027	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.027	0.027	0.021	0.027	0.027	0.048	0.070	0.027	0.027	0.048	0.043	0.011				
<i>A. yunkaiensis</i> (MC991907)*																									
23 花臭蛙	0.089	0.089	0.086	0.080	0.086	0.086	0.086	0.086	0.086	0.091	0.091	0.086	0.091	0.091	0.086	0.080	0.080	0.086	0.075	0.080					
<i>Odorrana schmackeri</i> (KP732086)																									
24 沼水蛙	0.107	0.107	0.102	0.096	0.102	0.102	0.102	0.102	0.102	0.096	0.096	0.102	0.107	0.096	0.080	0.102	0.096	0.080	0.096	0.091	0.096	0.096	0.096	0.096	0.096
<i>Hylarana guentheri</i> (HQ844996)																									
25 滇蛙	0.059	0.059	0.055	0.049	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.060	0.060	0.055	0.060	0.060	0.049	0.044	0.060	0.049	0.060	0.044	0.055	0.049	0.071	0.104	
<i>Nidirana pleuraden</i> (MF807856)*																									

* 模式产地; PQ043513 ~ PQ043518 为本研究标本的序列。

* Type locality; PQ043513 - PQ043518 were the sequences of the specimens in this study.