

湖南莽山布角蟾属(*Boulenophrys*)物种分类讨论兼记省新记录三种

尚袁凌博¹, 罗尧¹, 钱天宇¹, 高志伟¹, 李永辉², 邓国杏², 杨道德^{1*}

(1. 中南林业科技大学 野生动植物保护研究所, 中国湖南 长沙 410004; 2. 湖南莽山国家级自然保护区管理局, 中国湖南 郴州 424200)

摘要: 准确的物种鉴定和编目是开展生物多样性保护与管理的前提。莽山位于湖南省南部、湘粤交界处, 是南岭生物多样性优先保护区域, 具有丰富的两栖动物物种多样性。《湖南动物志 两栖纲》记载莽山分布有2种布角蟾属(*Boulenophrys*)物种: 挂墩角蟾(*B. kuatunensis*)和短肢角蟾(*B. brachykolos*), 但随着角蟾亚科(Megophryinae)系统分类研究的深入, 目前这2个物种在莽山的分布存在争议。2021年5—6月、7—8月、11月和2022年6—8月, 笔者团队对湖南莽山国家级自然保护区的布角蟾属物种进行了4次实地调查, 并采集到20号标本。经形态和分子鉴定, 这些标本包括南岭角蟾(*B. nanlingensis*)、雨神角蟾(*B. cf. ombrophila*)、九连山角蟾(*B. jiulianensis*)、石门台角蟾(*B. shimentaina*), 并未发现挂墩角蟾和短肢角蟾。其中, 雨神角蟾、九连山角蟾、石门台角蟾为湖南省新记录种。调查结果显示, 莽山地区的挂墩角蟾和短肢角蟾记录需要对馆藏标本进一步检视研究。此外, 石门台角蟾和南岭角蟾在新种发表时缺乏雌性形态特征描述, 本文首次对这2个物种的雌性标本进行了补充描述。

关键词: 角蟾科; 系统发育分析; 挂墩角蟾; 短肢角蟾; 湖南莽山国家级自然保护区

中图分类号: Q959.5+3

文献标志码: A

文章编号: 1007-7847(2023)04-0349-12

Taxonomic Discussion of *Boulenophrys* in Mangshan Mountain, Hunan, China and Three New Provincial Records

SHANG Yuanlingbo¹, LUO Yao¹, QIAN Tianyu¹, GAO Zhiwei¹, LI Yonghui², DENG Guoxing², YANG Daode^{1*}

(1. Institute of Wildlife Conservation, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, Hunan, China;

2. Administration of Hunan Mangshan National Nature Reserve, Chenzhou 424200, Hunan, China)

Abstract: Accurate species identification is a prerequisite for biodiversity conservation and management. Mangshan Mountain, located in the south of Hunan and at the border of Hunan and Guangdong provinces, is a priority area for biodiversity protection in Nanling Mountains, with rich diversity of amphibian species. According to the *Fauna Hunan: Amphibia*, there are two *Boulenophrys* species distributed in Mangshan: *B. kuatunensis* and *B. brachykolos*, but with the further study of the systematic classification of subfamily Megophryinae, the distribution of the two species in Mangshan is currently controversial. During May to June, July to August, November 2021 and June to August 2022, four field surveys on the species of *Boulenophrys* in Mangshan National Nature Reserve, Hunan Province were conducted, and 20 specimens were collected. Through morphological and molecular identification, these specimens proved to belong to four species: *B. nanlingensis*, *B. cf. ombrophila*, *B. jiulianensis*, and *B. shimentaina*, and the latter three species are new records in Hunan Province. However, the species *B. kuatunensis* and *B. brachykolos* were not found to exist

收稿日期: 2022-12-07; 修回日期: 2023-03-03; 网络首发日期: 2023-04-27

基金项目: 国家林业和草原局野生动植物保护项目(2021-HN001); 野生动物调查、监管和行业监管项目(2022072-HN-001)

作者简介: 尚袁凌博(1998—), 男, 湖南长沙人, 硕士研究生; *通信作者: 杨道德(1965—), 男, 湖南澧县人, 教授, 博士生导师, E-mail: csfuydd@126.com。

in Mangshan. Therefore, the existence of the two species in Mangshan should be further confirmed. In addition, the morphological characteristics of female *B. shimentaina* and *B. nanlingensis* were described for the first time, which were lack in the original new record description.

Key words: Megophryidae; phylogenetic analysis; *Boulenophrys kuatunensis*; *Boulenophrys brachykolos*; Hunan Mangshan National Nature Reserve

(*Life Science Research*, 2023, 27(4): 349–360)

莽山位于湖南省南部,处于湘粤交界处,是南岭生物多样性优先保护区域的一部分,具有丰富的两栖动物物种多样性^[1]。有关莽山地区角蟾类物种的记录,最早可追溯到1922年德国动物学家鲁道夫·梅尔(Rudolf Mell)有关中国动物区系的论著 *Beiträge zur Fauna Sinica*^[2]。该书记录了在湘粤边界山地采集到的1号淡肩角蟾(*Megophrys boettgeri*)的蝌蚪,从分布图可知采集点为今湖南莽山与广东南岭交界的范围。1976年,四川生物所两栖爬行室发表《湖南省宜章莽山两栖动物调查报告》,报道该地区有小角蟾(*Megophrys minor*)分布^[3]。后来,基于1959—1981年间的调查工作,沈猷慧先生于1983年发表了《湖南省两栖动物调查及区系分析》^[4],该文报道在莽山共采集到30种两栖动物,其中两种小型角蟾被鉴定为挂墩角蟾(*Boulenophrys kuatunensis*)和小角蟾,同时提及未采集到淡肩角蟾。随着小角蟾复合体分类的研究推进^[5],沈猷慧先生经重新检视标本后,在2014年出版的《湖南动物志 两栖纲》^[6]中将莽山地区分布的几种小型角蟾重新修订为挂墩角蟾和短肢角蟾(*B. brachykolos*),并删除了小角蟾的记录。近年来,基于大范围采样的分子研究结果显示,挂墩角蟾和短肢角蟾在其模式产地外并无广泛分布^[7-8],其模式产地外的记录应考虑重新审视^[9]。挂墩角蟾的模式产地位于福建挂墩,距莽山直线距离超过500 km,高志伟等^[10]认为湖南省挂墩角蟾的分布记录存疑。而短肢角蟾在其模式产地外的记录也陆续被修订,如广西大瑶山的种群最近被描述为新种瑶山角蟾(*B. yaoshanensis*)^[11]。2021—2022年,笔者团队在湖南莽山进行了一系列较为全面的角蟾类物种调查, Qian 等^[12]通过对采集的角蟾蝌蚪进行鉴定发现了3种布角蟾属(*Boulenophrys*)物种,分别为南岭角蟾(*B. nanlingensis*)、石门台角蟾(*B. shimentaina*)和雨神角蟾(*B. cf. ombrophila*)。在本研究中,我们将同蝌蚪采集的成体个体,与后续调查新采集的共20号标本进行鉴定。结果显示,除以上3种外,莽山还分布有第4种布角蟾属物

种——九连山角蟾(*B. jiulianensis*),但并未发现挂墩角蟾和短肢角蟾。本文对这4种角蟾分别报道,并首次描述南岭角蟾和石门台角蟾的雌性标本特征。

1 研究地自然概况

湖南莽山国家级自然保护区(以下简称“莽山保护区”),位于湖南省郴州市宜章县境内,与广东接壤,地处南岭山脉中段南段,地理坐标为112.72°~113.00° E、24.88°~25.05° N,总面积为198.33 km²。海拔范围400~1 902 m,海拔100 m以上的山峰有111座,1 500 m以上的山峰有25座。莽山属亚热带湿润季风气候区,是中国最南端的冬季冰雪地区之一,年均气温17.2℃,年降水量1 600~2 300 mm,年无霜期290 d^[1]。森林植被垂直分布明显:海拔500 m以下主要为常绿阔叶林;500~1 200 m为常绿落叶和阔叶混交林;1 200~1 600 m为针阔混交林;1 600 m以上为高山灌丛和高山矮林^[13]。

2 研究方法

2.1 标本采集和组织取样

2021年5月下旬—6月上旬、7月中旬—8月中旬、11月上旬和2022年6—8月,采用样线法在莽山保护区对角蟾亚科物种进行了4次实地调查,平均每次调查15 d。每天调查时间为19:00—23:30^[14]。结合角蟾生态习性,在莽山保护区内的猴王寨、枫树坝、相思坑、鬼子寨、天台山、猛坑石等地共布设15条样线,样线单侧宽为2 m,样线长在地势较开阔平坦的区域为700~1 000 m,在地形复杂的区域为300~500 m。

调查期间共采集了20号布角蟾属标本(采集位置见图1)。取组织样品(肝脏)并将其保存于95%的乙醇溶液中,用于分子测序;标本经10%的福尔马林溶液固定后转移到75%的乙醇溶液中保存,标本存放于中南林业科技大学动物标本室。

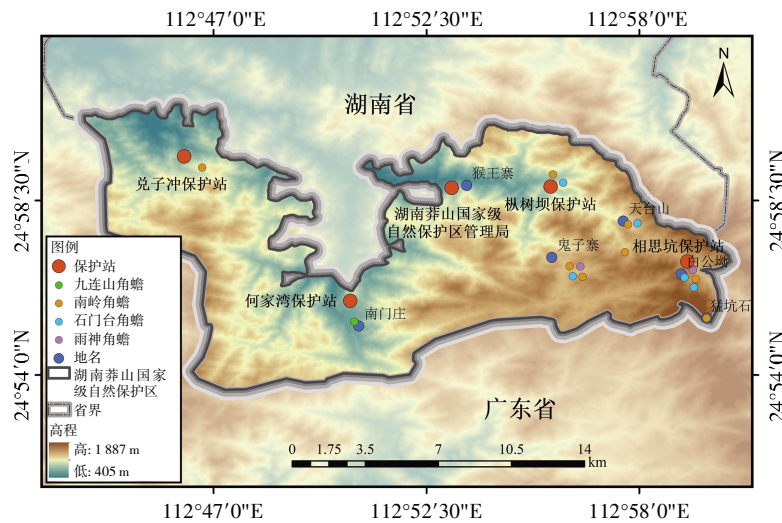


图 1 湖南莽山布角蟾属标本采集点位置示意图

Fig.1 Collection locations of *Boulenophrys* specimens in Mangshan area of Hunan Province

2.2 分子实验和系统发育分析

使用 TSP201-200 DNA 试剂盒(擎科生物科技股份有限公司)对 14 份肝脏样品分别进行 16S *rRNA* 和细胞色素氧化酶 1 (*cytochrome oxidase 1*, *CO1*) 基因片段扩增, 随后测序。其中, 16S *rRNA* 基因引物选择 L3975 和 H4551^[15], *CO1* 基因引物选择 DgLCO 和 DgHCO^[16]。PCR 过程同参考文献[17], PCR 和测序过程由百迈客生物科技有限公司执行。从 GenBank (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>; 2022-08-29) 下载除水城角蟾(*B. shuichengensis*)外所有已描述的 63 种布角蟾属物种的序列(相关信息见表 1), 并使用腺角蟾(*Xenophrys glandulosa*)和莽山角蟾(*X. mangshanensis*)作为外群^[11]。利用 MEGA 7.0 中的 MUSCLE 将所有 16S *rRNA* 和 *CO1* 基因分别进行比对^[18], 随后将两个片段串联成一个 1 080 bp 的数据集。基于贝叶斯信息准则(Bayesian Information Criterion, BIC), 采用 ModelTest-NG^[19] 选择最佳核苷酸替代模型, 得到 16S *rRNA* 和 *CO1* 的最佳拟合核苷酸替代模型为 GTR+I+G。使用 MrBayes 3.2.4^[20] 构建 BI (Bayesian inference) 系统发育树, 按如下方法运行: 两条链同时运行 1 000 万代, 每 1 000 代取样一次, 最初的 25% 代作为老化样本(burn-in)舍弃, 系统各分支的置信度通过后验概率(Bayesian posterior probability, BPP)进行检验。最后, 使用 MEGA 6.0 中的未修正距离模型(uncorrected *p*-distance)计算物种间遗传距离^[21]。

2.3 形态测量

使用游标卡尺(精度 0.1 mm)对标本的形态特征进行测量。量度包括: 头体长(snout-vent length,

SVL)、头长(head length, HL)、头宽(head width, HW)、吻长(snout length, SL)、鼻间距(internasal space, INS)、眼径(diameter of eye, ED)、鼓膜径(diameter of tympanum TD)、眼间距(interorbital space, IOS)、前臂及手长(length of lower arm and hand, LAHL)、鼓膜与眼间距(tympanum-eye distance, TYE)、跖足长(length of foot and tarsus, LFT)、胫长(tibia length, TL)、足长(foot length, FL)。外形测量和外部形态特征及其缩写依据《中国动物志 两栖纲(中卷)》^[22]。

3 结果

3.1 分子鉴定结果

在重建的布角蟾属系统发育结构(图 2)中, 莽山新采集的标本分别与南岭角蟾、雨神角蟾、九连山角蟾和石门台角蟾聚为一支。其中, 除南岭角蟾与其模式产地的标本分化较小外, 其余均表现出一定程度的分化。这可能与地理距离有关。Qian 等^[12]指出, 莽山地区标本的采集位点同南岭角蟾和石门台角蟾模式标本采集地的最近距离分别约为 10 km 和 70 km, 同雨神角蟾 3 个已知分布点的距离为 70~500 km。此外, 本研究新发现的九连山角蟾的模式产地包括江西九连山和广东南昆山, 两地均距莽山约 170 km。

基于 16S *rRNA* 的遗传距离计算结果显示, 莽山分布的待鉴定谱系 1 与南岭角蟾模式标本的遗传距离为 0~0.8%, 待鉴定谱系 2 与雨神角蟾的遗传距离为 2.0%~2.8%, 待鉴定谱系 3 与已知分布点九连山角蟾的遗传距离为 0.6%~0.8%, 待鉴定谱系 4 与石门台角蟾的遗传距离为 2.0%。这些

表 1 样品信息及其 GenBank 登录号
Table 1 Samples and GenBank accession numbers used in this study

ID	Species name	Voucher number	Locality	GenBank accession number	
				16S <i>rRNA</i>	<i>COI</i>
	<i>Boulenophrys</i>				
1	<i>B. acuta</i>	SYSa002159	Heishiding Nature Reserve, Guangdong, China	MF667869	MH406099
2	<i>B. angka</i>	KIZO40592	Kew Mae Pan Nature Trail, Doi Inthanon, Chiang Mai, Thailand	MN508048	/
3	<i>B. anlongensis</i>	CIBAL21090531017	Anlong County, Guizhou, China	MT823185	MT823262
4	<i>B. baishanzuensis</i>	CIBQY20200719001	Baishanzu National Park, Qingyuan, Zhejiang, China	MW001150	MT998291
5	<i>B. baolongensis</i>	KIZO19216	Baolong Town, Chongqing, China	KX811813	KX812093
6	<i>B. binchuanensis</i>	KIZO19442	Mt. Jizu, Yunnan, China	KX811850	KX812113
7	<i>B. binlingensis</i>	SYSa005313	Mt. Wawu, Sichuan, China	MH406892	MH406354
8	<i>B. boettgeri</i>	SYSa004149	Mt. Wuyi, Fujian, China	MF667878	MH406247
9	<i>B. brachykolos</i>	SYSa002258	Hong Kong, China	KJ560403	MH406120
10	<i>B. caobangensis</i>	IBER4385	Nguyen Binh, Cao Bang, Vietnam	LC483945	/
11	<i>B. caudoprocta</i>	SYSa004281	Zhangjiajie, Hunan, China	MH406795	MH406257
12	<i>B. cheni</i>	SYSa002142	Taoyuandong Nature Reserve, Hunan, China	KJ560398	MH406098
13	<i>B. chishuiensis</i>	CIBCS20190518019	Chishui County, Guizhou, China	MN954708	MN928959
14	<i>B. congjiangensis</i>	GZNU20200706003	Yueliangshan Nature Reserve, Congjiang, Guizhou, China	MW959773	MW959761
15	<i>B. daiyunensis</i>	SYSa001733	Daiyun Mountain Nature Reserve, Fujian, China	MH406643	MH406079
16	<i>B. daoji</i>	SYSa004088	Fenghua City, Zhejiang, China	MH406782	MH406242
17	<i>B. daweimontis</i>	KIZO48938	Mt. Dawei, Yunnan, China	KX811870	KX812126
18	<i>B. dongguanensis</i>	SYSa001973	Mt. Yinping, Guangdong, China	MH406647	MH406083
19	<i>B. fansipanensis</i>	AMSR186115	Sa Pa, Lao Cai, Vietnam	MH514887	MW086548
20	<i>B. fengshunensis</i>	SYSa004724	Fengshun County, Guangdong, China	MH406848	MH406310
21	<i>B. frigida</i>	AMSR186131	Ky Quan San Mountain, Bat Xat District, Lao Cai, Vietnam	MT364279	MW086550
22	<i>B. hoanglienensis</i>	VNMN2018.02	Sa Pa, Lao Cai, Vietnam	MH514889	MW086551
23	<i>B. huangshanensis</i>	SYSa002703	Mt. Huangshan, Anhui, China	MF667883	MH406161
24	<i>B. hungtai</i>	SYSa007575	Jiexi County, Guangdong, China	OL635592	OL634859
25	<i>B. insularis</i>	SYSa002168	Nan'ao Island, Guangdong, China	MF667886	MF667923
26	<i>B. jiangi</i>	CIBKKS20180426001	Kuankuoshui Nature Reserve, Guizhou, China	MN107744	MN107749
27	<i>B. jingdongensis</i>	SYSa003928	Mt. Wuliang, Yunnan, China	MH406773	MH406232
28	<i>B. jinggangensis</i>	SYSa004028	Mt. Jinggang, Jiangxi, China	MH406780	MH406239
29	<i>B. jiulianensis</i>	CSUFT2207M13	Mt. Mang, Yizhang County, Hunan, China	OQ517199	OQ517953
30	<i>B. jiulianensis</i>	SYSa002107	Mt. Jiulian, Ganzhou City, Jiangxi, China	MK524099	MK524130
31	<i>B. jiulianensis</i>	SYSa002108	Mt. Jiulian, Ganzhou City, Jiangxi, China	MK524100	MK524131
32	<i>B. jiulianensis</i>	SYSa002109	Mt. Jiulian, Ganzhou City, Jiangxi, China	MK524101	MK524132
33	<i>B. jiulianensis</i>	SYSa004219	Mt. Jiulian, Ganzhou City, Jiangxi, China	MH406791	MH406253
34	<i>B. jiulianensis</i>	SYSa003622	Mt. Nankun, Ganzhou City, Jiangxi, China	MK524102	MK524133
35	<i>B. jiulianensis</i>	SYSa003623	Mt. Nankun, Ganzhou City, Jiangxi, China	MK524103	MK524134
36	<i>B. kuatunensis</i>	SYSa003449	Mt. Wuyi, Fujian, China	MF667881	MH406206
37	<i>B. leishanensis</i>	SYSa002213	Mt. Leigong, Guizhou, China	MH406673	MH406113
38	<i>B. liboensis</i>	GNUG20150813001	Libo, Guizhou, China	MF285253	/
39	<i>B. lini</i>	SYSa002381	Taoyuandong Nature Reserve, Hunan, China	MF667874	MH406135
40	<i>B. lishuiensis</i>	CIBWYF00169	Lishui, Zhejiang, China	KY021418	/
41	<i>B. lushuiensis</i>	CIBYN201909288	Langbazhai, Luzhang, Lushui County, Nujiang Prefecture, Yunnan, China	MW001225	MW000912
42	<i>B. minor</i>	SYSa003209	Dujiangyan, Sichuan, China	MF667862	MH406194
43	<i>B. mirabilis</i>	SYSa002192	Huaping Nature Reserve, Guangxi, China	MH406669	MH406109
44	<i>B. mufumontana</i>	SYSa006391	Mt. Mufu, Pingjiang County, Hunan, China	MK524105	MK524136
45	<i>B. nanlingensis</i>	CSUFT2107M82	Mt. Mang, Yizhang County, Hunan, China	ON406219	/
46	<i>B. nanlingensis</i>	CSUFT2107M85	Mt. Mang, Yizhang County, Hunan, China	ON406220	/
47	<i>B. nanlingensis</i>	CSUFT2107M74	Mt. Mang, Yizhang County, Hunan, China	ON406221	/
48	<i>B. nanlingensis</i>	SYSa001959	Nanling Nature Reserve, Shaoguan City, Guangdong, China	MK524111	MK524142
49	<i>B. nanlingensis</i>	SYSa001960	Nanling Nature Reserve, Shaoguan City, Guangdong, China	MK524112	MK524143
50	<i>B. nanlingensis</i>	SYSa001964	Nanling Nature Reserve, Shaoguan City, Guangdong, China	MH406646	MH406082
51	<i>B. nanlingensis</i>	SYSa002334	Mt. Qiyun, Chongyi County, Jiangxi, China	MH406686	MH406132
52	<i>B. nanlingensis</i>	SYSa002356	Mt. Qiyun, Chongyi County, Jiangxi, China	MK524113	MK524144
53	<i>B. nanlingensis</i>	SYSa002357	Mt. Qiyun, Chongyi County, Jiangxi, China	MH406687	MH406133
54	<i>B. nanlingensis</i>	SYSa002358	Mt. Qiyun, Chongyi County, Jiangxi, China	MH406688	MH406134

表 1(续)

ID	Species name	Voucher number	Locality	GenBank accession number	
				16S <i>rRNA</i>	<i>COI</i>
55	<i>B. nankunensis</i>	SYSa004501	Mt. Nankun, Guangdong, China	MH406822	MH406284
56	<i>B. obesa</i>	SYSa002272	Heishiding Nature Reserve, Guangdong, China	KJ579122	MH406124
57	<i>B. cf. ombrophila</i>	CSUFT2105M09	Mt. Mang, Yizhang County, Hunan, China	MZ570079	OL674543
58	<i>B. cf. ombrophila</i>	CSUFT2105M12	Mt. Mang, Yizhang County, Hunan, China	MZ570080	OL674544
59	<i>B. cf. ombrophila</i>	CSUFT2105M19	Mt. Mang, Yizhang County, Hunan, China	MZ570081	OL674545
60	<i>B. cf. ombrophila</i>	CSUFT2105M33	Mt. Mang, Yizhang County, Hunan, China	MZ570082	OL674546
61	<i>B. cf. ombrophila</i>	CSUFT2105M24	Mt. Mang, Yizhang County, Hunan, China	OL711911	/
62	<i>B. cf. ombrophila</i>	CSUFT2105M32	Mt. Mang, Yizhang County, Hunan, China	ON209286	/
63	<i>B. ombrophila</i>	CIBWY18082308	Mt. Wuyi, Fujian, China	MW001159	MT998300
64	<i>B. ombrophila</i>	WUYI12015101	Mt. Wuyi, Fujian, China	KX856397	/
65	<i>B. ombrophila</i>	SYSa004612	Mt. Jiulian, Jiangxi, China	MH406836	MH406298
66	<i>B. ombrophila</i>	SYSa004613	Mt. Jiulian, Jiangxi, China	MH406837	MH406299
67	<i>B. ombrophila</i>	SYSa004614	Mt. Jiulian, Jiangxi, China	MH406838	MH406300
68	<i>B. ombrophila</i>	SYSa004615	Mt. Jiulian, Jiangxi, China	MH406839	MH406301
69	<i>B. ombrophila</i>	SYSa004616	Mt. Jiulian, Jiangxi, China	MH406840	MH406302
70	<i>B. ombrophila</i>	SYSa001976	Renhua County, Guangdong, China	MH406650	MH406086
71	<i>B. ombrophila</i>	SYSa001977	Renhua County, Guangdong, China	MH406651	MH406087
72	<i>B. ombrophila</i>	SYSa001978	Renhua County, Guangdong, China	MH406652	MH406088
73	<i>B. ombrophila</i>	SYSa001985	Renhua County, Guangdong, China	MH406653	MH406089
74	<i>B. ombrophila</i>	SYSa004583	Renhua County, Guangdong, China	MH406834	MH406296
75	<i>B. omeimontis</i>	SYSa005301	Mt. Le, Sichuan, China	MH406887	MH406349
76	<i>B. palpebralespinosa</i>	KIZ011650	Pu Hu Nature Reserve, Thanh Hoa, Vietnam	KX811889	KX812138
77	<i>B. puningensis</i>	SYSa005770	Puning City, Guangdong, China	OL635585	OL634853
78	<i>B. qianbeiensis</i>	CIBTZ20190608017	Huanglian Nature Reserve, Guizhou, China	MT651554	MT654521
79	<i>B. rubrimera</i>	AMSR177676	Sa Pa, Lao Cai, Vietnam	MF536419	MW086542
80	<i>B. sangzhiensis</i>	SYSa004306	Zhangjiajie, Hunan, China	MH406797	MH406259
81	<i>B. sanmingensis</i>	SYSa002486	Mt. Emeifeng, Fujian, China	MH406697	MH406145
82	<i>B. shimentaina</i>	CSUFT2105M35	Mt. Mang, Yizhang County, Hunan, China	OL347449	OQ517954
83	<i>B. shimentaina</i>	CSUFT2107M70	Mt. Mang, Yizhang County, Hunan, China	OL347446	OQ517955
84	<i>B. shimentaina</i>	CSUFT2107M86	Mt. Mang, Yizhang County, Hunan, China	OL347447	OQ517956
85	<i>B. shimentaina</i>	CSUFT2107M98	Mt. Mang, Yizhang County, Hunan, China	OL347448	OQ517957
86	<i>B. shimentaina</i>	SYSa002077	Shimentai Nature Reserve, Guangdong, China	MH406655	MH406092
87	<i>B. shimentaina</i>	SYSa002081	Shimentai Nature Reserve, Guangdong, China	MH406656	MH406093
88	<i>B. shimentaina</i>	SYSa004172	Shimentai Nature Reserve, Guangdong, China	MH406787	MH406249
89	<i>B. shimentaina</i>	SYSa004173	Shimentai Nature Reserve, Guangdong, China	MH406788	MH406250
90	<i>B. shunhuangensis</i>	HNNU18NS01	Nanshan Forest Park, Hunan, China	MK836023	MK977594
91	<i>B. spinata</i>	SYSa002226	Mt. Leigong, Guizhou, China	MH406675	MH406115
92	<i>B. tongboensis</i>	SYSa002415	Mt. Tongbo, Jiangxi, China	MH406690	MH406138
93	<i>B. tuberogranulatus</i>	SYSa004310	Badagongshan Nature Reserve, Hunan, China	MH406801	MH406263
94	<i>B. wugongensis</i>	SYSa004800	Mt. Wugong, Jiangxi, China	MH406853	MH406315
95	<i>B. wuliangshanensis</i>	SYSa003924	Mt. Wuliang, Yunnan, China	MH406771	MH406230
96	<i>B. wushanensis</i>	SYSa003008	Mt. Wu, Hubei, China	MH406732	MH406184
97	<i>B. xiangnanensis</i>	SYSa002874	Mt. Yangming, Hunan, China	MH406713	MH406165
98	<i>B. xianjuensis</i>	CIBXJ190505	Xianju County, Zhejiang, China	MN563753	MN563769
99	<i>B. yangmingensis</i>	SYSa002877	Mt. Yangming, Hunan, China	MH406716	MH406168
100	<i>B. yaoshanensis</i>	SYSa002189	Dayaoshan Nature Reserve, Guangxi, China	MH406667	MH406107
101	<i>B. yingdeensis</i>	SYSa002100	Shimentai Nature Reserve, Guangdong, China	MH406658	MH406095
102	<i>B. yunkaiensis</i>	SYSa004637	Yukaishan Nature Reserve, Guangdong, China	MH406843	MH406305
<i>Xenophrys</i>					
103	<i>X. glandulosa</i>	SYSa003758	Mt. Gaoligong, Yunnan, China	MH406755	MH406214
104	<i>X. mangshanensis</i>	SYSa002177	Mt. Sanyue, Guangdong, China	MH406666	MH406106

注:“/”代表无此序列。表 3~6 相同。

Note:“/” represents no such sequence. These are same in the Tables 3~6.

待鉴定谱系与已知种间的遗传距离均小于 Fouquet 等^[23]提出的基于 16S *rRNA* 基因的两栖动物种间遗传距离界限 3.0%, 但待鉴定谱系 2 与雨神

角蟾、待鉴定谱系 4 和石门台角蟾的遗传距离大于或等于 Chen 等^[7]建议的角蟾亚科物种间的遗传距离界限 2.0%。基于此, 我们将莽山的标本进

一步与以上物种的原始描述进行了比对, 发现其形态特征均符合其分子鉴定结果(表 2), 因此暂将

莽山地区的雨神角蟾、九连山角蟾、石门台角蟾定为湖南省新记录种, 现将标本观察结果描述如下。

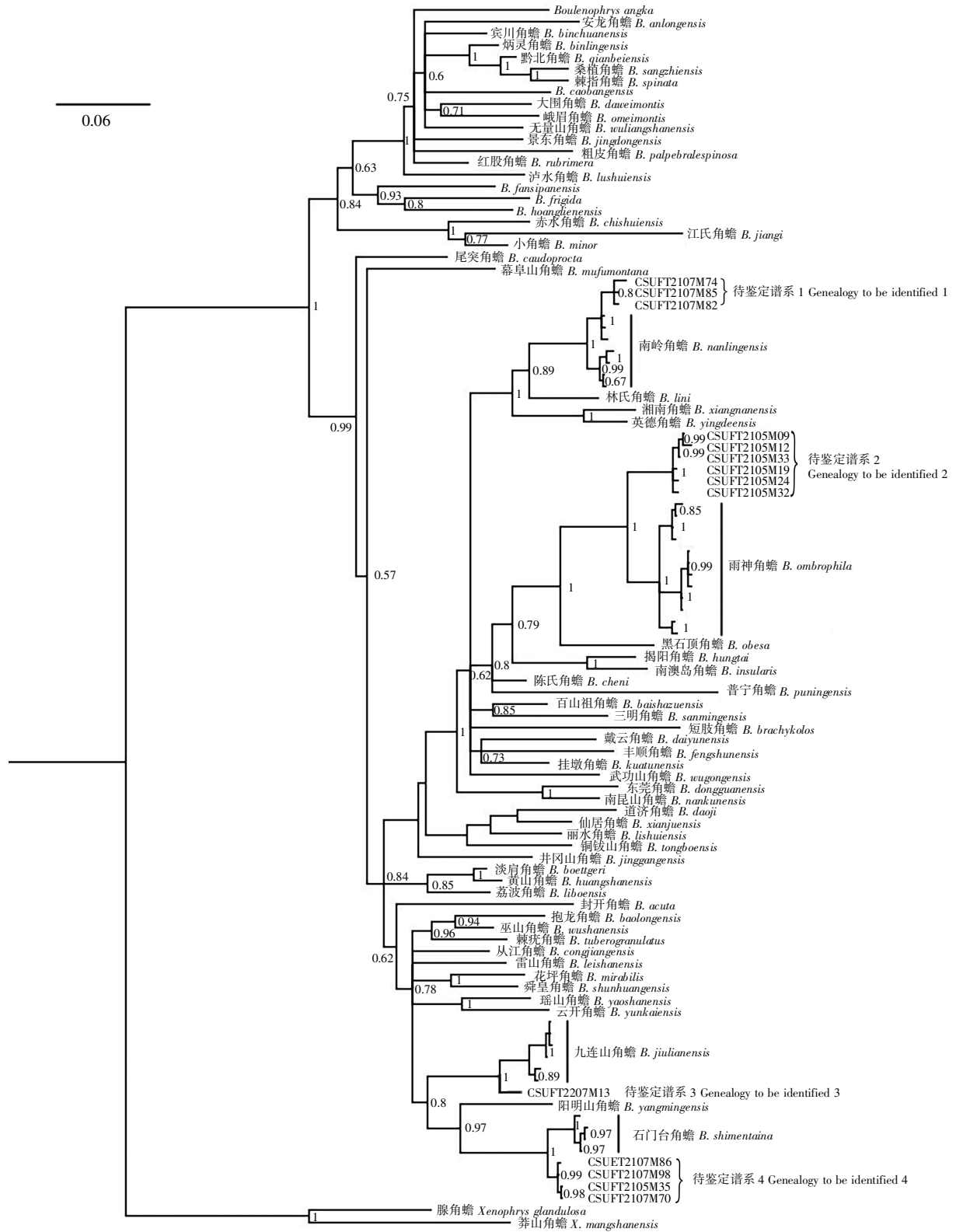


图 2 基于线粒体 16S rRNA 及 CO1 基因联合序列构建的贝叶斯系统发育树
节点附近的数字表示贝叶斯后验概率。

Fig.2 The Bayesian phylogenetic tree derived from DNA sequences of the mitochondrial 16S rRNA and CO1 genes
Numbers above each node indicate the Bayesian posterior probability.

表2 湖南莽山国家级自然保护区4种角蟾成体标本的形态特征量度值

Table 2 Morphometric measurement of four species of adult horned toads from Hunan Mangshan National Nature Reserve

Species	Voucher number	Sex	SVL	HL	HW	SL	INS	IOS	ED	TD	TYE	LAHL	LFT	TL	FL
<i>B. nanlingensis</i>	CSUFT2107M74	♀	40.1	13.5	14.1	3.9	3.8	2.6	4.7	2.3	2.0	18.8	27.7	18.8	17.5
	CSUFT2107M26	♂	40.7	13.6	13.7	4.2	4.3	2.4	4.8	2.8	2.0	18.5	28.6	19.7	17.2
	CSUFT2107M85	♂	35.6	13.1	13.4	3.9	3.7	3.3	4.5	2.4	2.0	16.6	24.9	17.4	16.2
	CSUFT2107M89	♂	36.9	12.6	12.4	3.8	3.8	3.0	4.5	2.3	2.6	17.9	26.3	18.1	16.6
<i>B. cf. ombrophila</i>	CSUFT2105M24	♀	34.3	12.7	13.4	3.6	4.1	3.3	4.5	3.2	1.7	15.1	22.3	16.8	13.9
	CSUFT2105M09	♂	26.6	10.3	11.2	3.4	3.7	2.9	3.6	2.6	1.5	12.8	17.7	12.6	11.2
	CSUFT2105M12	♂	27.8	10.8	11.8	3.4	3.7	2.6	3.8	2.8	1.5	12.5	19.3	13.4	11.8
	CSUFT2105M19	♂	28.5	11.0	11.7	3.4	3.6	2.7	3.8	2.7	1.3	12.7	18.8	13.4	11.7
	CSUFT2105M32	♂	28.7	11.1	12.2	3.5	3.7	3.0	3.8	2.8	1.4	13.3	19.5	14.1	11.6
<i>B. jiulianensis</i>	CSUFT2105M33	♂	29.3	11.3	11.7	3.5	3.5	2.7	3.8	2.9	1.4	13.2	19.1	13.6	12.0
	CSUFT2207M13	♂	32.4	10.8	11.6	3.7	3.1	2.9	4.1	2.3	1.5	14.4	21.0	14.6	13.0
<i>B. shimentaina</i>	CSUFT2207M14	♂	38.4	12.6	12.4	4.8	3.7	3.0	4.6	2.7	1.7	17.7	24.8	16.8	15.3
	CSUFT2105M35	♀	33.0	11.2	10.8	3.4	3.2	2.7	4.5	2.0	1.9	14.7	22.5	15.3	13.4
	CSUFT2107M01	♂	25.6	9.2	9.6	3.4	2.9	2.4	3.9	1.8	1.3	12.7	19.3	13.2	11.8
	CSUFT2107M07	♂	26.2	9.5	9.6	3.1	2.9	2.6	3.7	1.4	1.1	12.6	18.6	13.5	11.5
	CSUFT2107M70	♂	26.8	9.8	10.0	3.1	2.7	2.5	3.7	1.7	1.2	12.8	17.8	13.5	12.2
	CSUFT2107M86	♂	28.2	9.9	9.9	3.2	2.8	2.6	3.7	2.0	1.5	12.3	18.6	13.7	11.1
	CSUFT2107M98	♂	27.2	9.7	10.4	3.1	2.9	2.5	4.0	1.8	1.6	11.9	18.6	12.6	11.5
CSUFT2108M08	♂	27.3	9.8	9.8	3.4	3.2	2.6	3.4	1.9	1.6	12.7	19.8	13.7	11.5	

3.2 形态描述

3.2.1 南岭角蟾 *Boulenophrys nanlingensis*

莽山南岭角蟾的标本编号、性别、采集时间和地点及 GenBank 登录号见表 3。

雄性标本描述: 体型(SVL 35.6~40.7 mm)较石门台角蟾(SVL 25.6~28.2 mm)、雨神角蟾(SVL 26.6~29.3 mm)大。头顶平坦, 长宽几乎相等, 头长/头宽(HL/HW) 0.98~1.02 ($n=3$), 背面观吻钝圆而突出; 吻棱明显, 鼻孔在吻棱下方; 鼓膜清晰, 椭圆形, 鼓膜最大径约为眼径的一半(TD/ED 0.51~0.58)。与模式标本原始描述不同, 莽山地区采集的南岭角蟾未发现犁骨齿。

前臂及手长不到头体长之半(LAHL/SVL 0.45~0.48); 指端膨大呈球形, 第一指略长于第二指, 指序为 III>IV>I>II, 有指基下瘤和关节下瘤; 内外掌突较明显; 指间无蹼。胫长不及头体长之半(TL/SVL 0.48~0.49), 左右跟部重叠; 足长短于胫长(FL/TL 0.87~0.93); 趾细长、扁平, 趾间具微蹼, 有

趾基下瘤, 第三趾长于第五趾, 趾序为 IV>III>V>II>I; 内蹼突明显, 无外蹼突。

身体背面满布细小的痣粒; 颞褶黄褐色, 后端粗厚; 背两侧分别存在一条不连续的皮肤棱; 背中部有一“Y”形肤棱; 颞部、上唇及从颊部至吻端区域的皮肤具密集的锥状痣粒; 体侧和股、胫背面均有疣粒; 腹面皮肤光滑, 胸侧具胸腺, 股后具股腺。

生活时体背棕色; 两眼之间有一个三角形斑纹; 小臂和后肢背侧上均具深褐色横纹。腹部浅灰色, 喉部具纵向条纹, 胸部有红色斑点; 前后肢腹面偏红色, 胸腺和股腺白色。

雌性标本描述(测量单位 mm): 标本号 CSUFT-2107M74, SVL 40.1, HL 13.5, HW 14.1, SL 3.9, INS 3.8, ED 4.7, IOS 2.6, TD 2.3, TYE 2.0, LAHL 18.8, LFT 27.7, TL 18.8, FL 17.5。背部皮肤较光滑且未发现背侧肤棱, 其余形态特征与雄性基本一致(图 3)。

表3 莽山南岭角蟾标本信息

Table 3 Specimen information on *B. nanlingensis* in Mangshan area

Voucher number	Sex	Collection time	Collection locality	GenBank accession number	
				16S rRNA	COI
CSUFT2107M74	♀	2021.07	Guizizhai	ON406221	/
CSUFT2107M82	♀	2021.07	Xiangsikeng	ON406219	/
CSUFT2107M26	♂	2021.07	Mengkengshi	/	/
CSUFT2107M85	♂	2021.07	Guizizhai	ON406220	/
CSUFT2107M89	♂	2021.07	Tiantaishan	/	/

第二性征: 雄性具单咽下内声囊, 繁殖期采集的个体未发现婚垫。

生物学资料: 南岭角蟾在莽山保护区分布于海拔 1 000~1 500 m, 常在溪中的石缝下; 在 7—8 月、10 月和 11 月的调查中均听见南岭角蟾鸣叫。

3.2.2 雨神角蟾 *Boulenophrys cf. ombrophila*

莽山雨神角蟾的标本编号、性别、采集时间和地点及 GenBank 登录号见表 4。

标本描述: 体型偏小, 雄性头体长 26.6~29.3 mm ($n=5$), 雌性头体长 34.3 mm。头扁平, 头长稍短于头宽, 头宽/头长(HW/HL) 1.04~1.10; 吻突出, 吻棱发达; 鼓膜较不明显, 但大(TD/ED 0.71~0.76)。无犁骨棱和犁骨齿。

指末端圆形, 略膨大; 指序为 III > I > II = IV, 具较明显的指基下瘤; 指间无蹼; 内、外掌突明显, 内掌突大于外掌突。后肢短, 胫长不及头体长的一半(TL/SVL 0.46~0.49); 足短于胫(FL/TL 0.82~0.89)。趾两侧具较窄的缘膜, 趾间具微蹼, 趾序为 IV > III > V > II > I, 有关节下瘤; 内蹼突较大, 无外蹼突。

背部皮肤粗糙, 头及身体背面有分散的疣粒, 体侧具有略大的疣粒; 颞褶较平滑, 后端稍粗; 起自眼后, 背部有一“Y”型肤棱; 股部腹面有一排白色的圆形疣粒; 腹面皮肤较光滑, 胸侧各有一明显的白色胸腺; 股腹面中部亦各有一白色的股腺。

生活时背部体色呈棕黄色或深棕色(图 4); 两

眼间有一深棕色镂空的三角形斑, 虹膜呈明亮的铜色。腹面以棕色为主, 带有橘黄色、白色, 咽喉中部具一显著比周围颜色深的条纹; 股、胫均具深色横纹。

第二性征: 雄性具单咽下声囊, 繁殖期有婚垫。

生物学资料: 多栖息于海拔 1300 m 左右的落叶枯枝上, 在 5—7 月可听到雄蟾鸣叫。

与 Messenger 等^[24]描述的采自福建武夷山的雨神角蟾模式标本相比, 采自莽山的雨神角蟾标本有如下不同特征: 1) 趾两侧存在缘膜; 2) 背部具明显的皮肤棱; 3) 雄性在繁殖期具婚垫; 4) 后肢更长(TL/SVL 0.46~0.49 vs. 0.33~0.41); 5) 具有更大的鼓膜(TD/ED 0.71~0.76 vs. 0.54~0.69)。

3.2.3 九连山角蟾 *Boulenophrys jiulianensis*

莽山九连山角蟾的标本编号、性别、采集时间和地点及 GenBank 登录号见表 5。

标本描述: 头体长 32.4~38.4 mm ($n=2$)。头扁平, 头长与头宽几近等长(HL/HW 0.93~1.02); 吻钝圆, 背面观超出下唇缘; 吻棱明显, 颊部略凹陷; 鼓膜清晰, 呈纵椭圆形; 有犁骨棱和犁骨齿。

指端略膨大呈球状, 指序为 III > IV > I > II, 关节下瘤明显; 具有内、外掌突。后肢修长, 前伸贴体时达眼中部, 胫长不及头体长之半(TL/SVL 0.44~0.45), 左右跟部重叠; 趾端钝圆, 趾序为 IV > III > V >

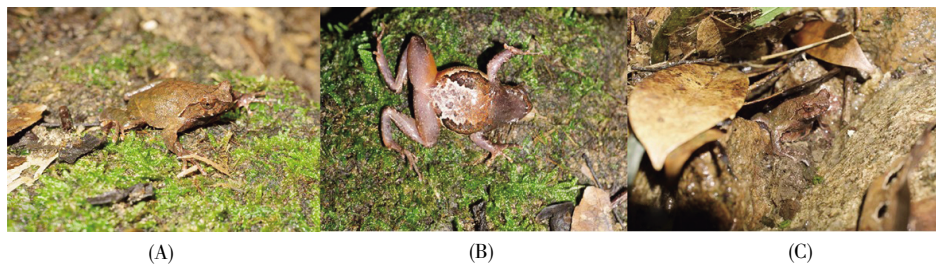


图 3 湖南莽山国家级自然保护区南岭角蟾活体 (A) CSUFT2107M74 侧面观; (B) CSUFT2107M74 腹面观; (C) 生境中的个体(未采集)。

Fig.3 Live specimens of *B. nanlingensis* from Hunan Mangshan National Nature Reserve

(A) CSUFT2107M74 lateral view; (B) CSUFT2107M74 ventral view; (C) An individual in habitat (not collected).

表 4 莽山雨神角蟾标本信息
Table 4 Specimen information on *B. cf. ombrophila* in Mangshan area

Voucher number	Sex	Collection time	Collection locality	GenBank accession number	
				16S rRNA	COI
CSUFT2105M24	♀	2021.05	Xiangsikeng	OL711911	/
CSUFT2105M09	♂	2021.05	Xiangsikeng	MZ570079	OL674543
CSUFT2105M12	♂	2021.05	Xiangsikeng	MZ570080	OL674544
CSUFT2105M19	♂	2021.05	Xiangsikeng	MZ570081	OL674545
CSUFT2105M32	♂	2021.05	Xiangsikeng	ON209286	/
CSUFT2105M33	♂	2021.05	Xiangsikeng	MZ570082	OL674546

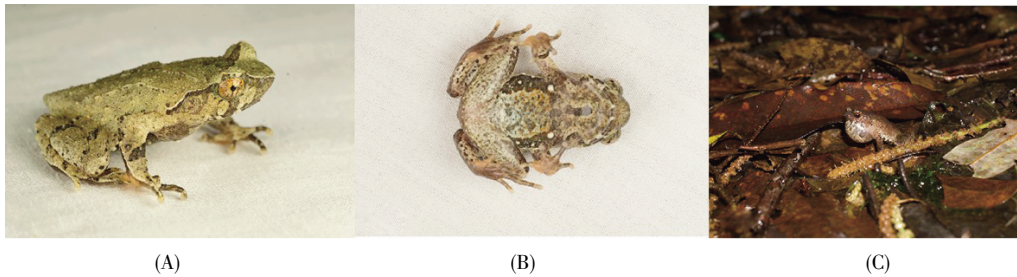


图 4 湖南莽山国家级自然保护区雨神角蟾活体

(A) CSUFT2105M33 侧面观; (B) CSUFT2105M33 腹面观; (C) CSUFT2105M19 生境中的个体。

Fig.4 Live specimens of *B. cf. ombrophila* from Hunan Mangshan National Nature Reserve

(A) CSUFT2105M33 lateral view; (B) CSUFT2105M33 ventral view; (C) A CSUFT2105M19 individual in habitat.

表 5 莽山九连山角蟾标本信息

Table 5 Specimen information on *B. julianensis* in Mangshan area

Voucher number	Sex	Collection time	Collection locality	GenBank accession number	
				16S <i>rRNA</i>	<i>CO1</i>
CSUFT2207M13	♂	2022.07	Nanmenzhuang	OQ517199	OQ517953
CSUFT2207M14	♂	2022.07	Nanmenzhuang	/	/

II > I, 趾间微蹼, 第一、二趾具趾基下瘤; 内蹼突明显, 呈长椭圆形, 无外蹼突。

头及身体背部皮肤较粗糙, 满布痣粒, 体侧具稍大的疣粒; 颞褶清晰; 体背具两条交叉形成的“X”型肤棱; 股腹面具分散的乳白色疣粒; 具白色胸腺, 腹面皮肤较光滑(图 5)。

生活时体背为米黄色; 眼间有一镂空的三角形黑色斑块; 前臂、股、胫均具黑色横纹; 咽喉中部有一比周围颜色稍深的褐色条纹。腹部有橘红色和白色斑点; 股、胫腹面呈橘红色。

第二性征: 雄性具单咽下声囊, 但与模式标本^[25]不同的是莽山雄性样本不具婚垫。

生物学资料: 分布于莽山南门庄 600~650 m 处的溪流附近的落叶上; 在 7 月初可听到零星的雄蟾鸣叫声, 8 月份再返回时并未发现个体和鸣叫声, 推测其繁殖期为 7 月前。

3.2.4 石门台角蟾 *Boulenophrys shimentaina*

莽山石门台角蟾的标本编号、性别、采集时间和地点及 GenBank 登录号见表 6。

雄性标本描述: 体型小, 头体长 25.6~28.2 mm ($n=6$)。头扁平, 头宽略大于头长, 头长/头宽(HL/HW) 0.93~1.00; 吻部呈盾状, 超出下唇缘; 吻棱明显; 鼓膜清晰, 其最长径大于鼓膜与眼间距; 舌后端无缺刻; 有犁骨棱和犁骨齿。

前臂及手长不到头体长之半(LAHL/SVL 0.44~0.50); 指端钝圆, 指序为 III > IV > II ≈ I, 关节下瘤不明显; 指间具微蹼; 内掌突较大, 外掌突不明显。胫长约为头体长的一半(TL/SVL 0.46~0.52); 足短于胫; 趾细长, 趾间微蹼; 趾序为 IV > III > V > II > I, 趾关节下瘤不明显; 内蹼突小, 无外蹼突。

背部皮肤粗糙, 头侧、体背有分散的小痣粒, 体侧有大的疣粒; 颞褶明显且长, 其后端较粗厚

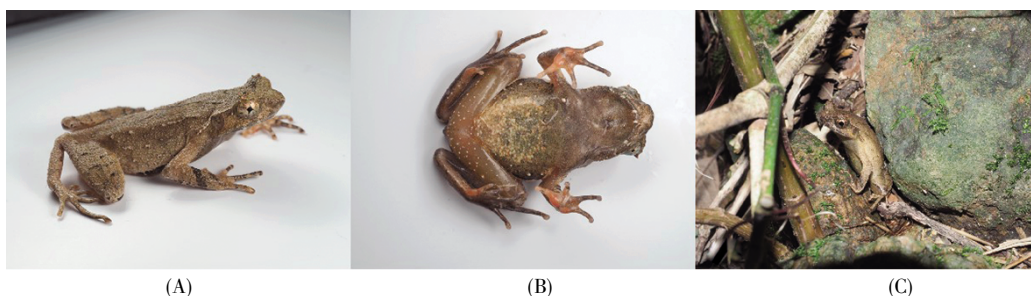


图 5 湖南莽山国家级自然保护区九连山角蟾活体

(A) CSUFT2207M13 侧面观; (B) CSUFT2207M13 腹面观; (C) CSUFT2207M13 生境中的个体。

Fig.5 Live specimens of *B. julianensis* from Hunan Mangshan National Nature Reserve

(A) CSUFT2207M13 lateral view; (B) CSUFT2207M13 ventral view; (C) A CSUFT2207M13 individual in habitat.

且达肩背方;背中有“八”型肤棱,背侧皮肤棱断续;腹面皮肤光滑,胸侧各有一胸腺;股后部中央各有一股腺。

生活时背部为棕黄色;自两眼向后有一倒置的褐色八字形或三角形斑,背部斑纹稍浅且不规则;上唇缘具褐色纵纹,下唇缘具褐色断续横纹;前肢具深色粗横纹,后肢横纹较窄。腹面整体偏褐色,胸及腹部颜色稍深,咽喉部有一黑褐色纵斑;肛孔上方有一黑色斑块,股、胫腹面橘红色。

雌性标本描述(测量单位 mm):标本号 CSUFT-2105M35, SVL 33.0, HL 11.2, HW 10.8, SL 3.4, INS 3.2, ED 4.5, IOS 2.7, TD 2.0, TYE 1.9, LAHL 14.7, LFT 22.5, TL 15.3, FL 13.4。雌性个体与雄性个体在形态特征上大体一致,但与雄性相比,该雌性个体第一指较第二指长,指序为 III>IV>I>II;体背的小痣粒更密集,体侧面隆起的疣粒较之稍浅;背部不连续的“八”形肤棱较淡;前肢具深色粗横纹,后肢无横纹(图 6A、B)。

第二性征:雄性具单咽下声囊,第一指和第二指具婚垫。

生物学资料:石门台角蟾的模式产地为广东石门台国家级自然保护区(广东省清远市英德县境内),其主要分布在海拔 210~500 m 处的山间缓慢溪流边的树叶上,繁殖季节在 4—8 月份^[26]。

2021 年,在莽山保护区海拔 1 500 m 处采集到标本;2022 年 6 月份,在莽山枫树坝(海拔 776 m)和三级电站(海拔 887 m)附近均发现了石门台角蟾,7 月后消失不见,推测和气温升高有关。其夜间多栖息于溪边石上(图 6C),白天未观察到其活动。夜间调查时听见雄蟾鸣叫,其叫声短促,类似蝉鸣,在电光照射刺激下会暂停鸣叫,但一般不逃跑。解剖雌性标本后,共取出 79 枚卵,卵呈黄色,卵粒直径 1.17~1.46 mm。据《中国动物志 两栖纲(中卷)》记载,挂墩角蟾怀卵量为 52~56(54)粒,短肢角蟾怀卵量为 305 粒^[22];另有文献记载,桑植角蟾(*B. sangzhiensis*)怀卵量为 483~542 粒($n=2$)^[27],尾突角蟾(*B. caudoprocta*)怀卵量为 26 粒(仅左侧卵巢)^[28]。

4 讨论

在莽山野外考察过程中发现,石门台角蟾、南岭角蟾和雨神角蟾在海拔 1 000~1 600 m 的区域有重叠分布,且 3 种角蟾的蝌蚪可在同一水域获得。不过,雨神角蟾和南岭角蟾存在明显的繁殖期相互回避现象,即雨神角蟾在上半年繁殖,而南岭角蟾在下半年繁殖,两者的繁殖期仅在 7 月中旬有几天短暂的重叠,这也形成了 3 种雄蟾(包括石门台角蟾)在同一位点共同鸣叫的场景,但

表 6 莽山石门台角蟾标本信息

Table 6 Specimen information on *B. shimentaina* in Mangshan area

Voucher number	Sex	Collection time	Collection locality	GenBank accession number	
				16S rRNA	CO1
CSUFT2105M35	♀	2021.05	Baigongao	OL347449	OQ517954
CSUFT2107M01	♂	2021.07	Baigongao	/	/
CSUFT2107M07	♂	2021.07	Baigongao	/	/
CSUFT2107M70	♂	2021.07	Xiangsikeng	OL347446	OQ517955
CSUFT2107M86	♂	2021.07	Xiangsikeng	OL347447	OQ517956
CSUFT2107M98	♂	2021.07	Xiangsikeng	OL347448	OQ517957
CSUFT2108M08	♂	2021.08	Baigongao	/	/

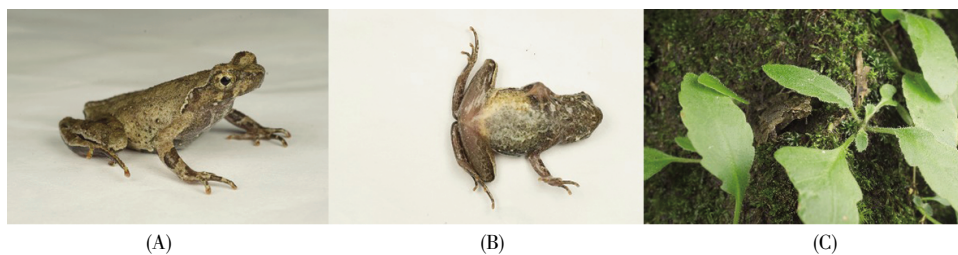


图 6 湖南莽山国家级自然保护区石门台角蟾活体

(A) CSUFT2105M35 侧面观; (B) CSUFT2105M35 腹面观; (C) CSUFT2107M70 生境中的个体。

Fig.6 Live specimens of *B. shimentaina* from Hunan Mangshan National Nature Reserve

(A) CSUFT2105M35 lateral view; (B) CSUFT2105M35 ventral view; (C) A CSUFT2107M70 individual in habitat.

此时并不属于两者的繁殖高峰期。九连山角蟾采自距莽山森林公园稍远的南门庄村,与莽山角蟾(*X. mangshanensis*)^[29]同域分布,其分布范围在海拔600~650 m。该区域海拔较低,在同一时间较莽山森林公园内的温度更高。这种差异化的分布模式可能与物种间的生态位偏好有关。

布角蟾属物种在中国南方和中南半岛分布广泛,物种多样性高但形态分化保守,液浸标本的形态特征则更加难以鉴定^[30]。在《湖南动物志 两栖纲》出版时,本文鉴定的4种角蟾均未发表,属于隐存种。此外,在近年调查中,莽山保护区并未发现有挂墩角蟾和短肢角蟾,这也同Liu等^[8]和

Tapley等^[9]关于挂墩角蟾与短肢角蟾仅分布于其模式产地的推测一致。不过,分类修订需要充分的实地调查和对标本馆标本的详细鉴定^[11],因此《湖南动物志 两栖纲》中描述的这些标本具体是否属于挂墩角蟾和短肢角蟾,还应在后续研究中对馆藏标本进行检视并重新鉴定。

致谢: 湖南莽山国家级自然保护区管理局陈军、张爱梅、陈德胜等同志协助野外调查;中国地质大学(武汉)硕士研究生宋宇协助制作物种分布图;中山大学博士研究生齐硕帮助物种鉴定;中南林业科技大学硕士研究生李媛、刘均林对本文提出了修改建议,在此一并致谢!

湖南莽山地区布角蟾属分种检索表

1. 体型偏大, 雄性头体长>32 mm, 胫跗关节左右跟部重叠, 繁殖期雄性无婚垫..... 2
 体型偏小, 雄性头体长<32 mm, 且繁殖期雄性具婚垫..... 3
2. 头宽, 腿长, 背中部具“Y”型肤棱..... 南岭角蟾 *Boulenophrys nanlingensis*
 头稍窄, 腿短, 背中部具“X”型肤棱..... 九连山角蟾 *Boulenophrys jiulianensis*
3. 指间微蹼, 具犁骨齿, 背中部具“/”型肤棱, 体型纤细, 头窄, 鼓膜小.....
 石门台角蟾 *Boulenophrys shimentaina*
 指间无蹼, 无犁骨齿, 背中部具“Y”型肤棱, 头宽, 鼓膜大.....
 雨神角蟾 *Boulenophrys cf. ombrophila*

参考文献(References):

- [1] 傅祺, 杨道德, 费冬波, 等. 湖南莽山国家级自然保护区两栖动物资源调查与分析[J]. 动物学杂志(FU Qi, YANG Dao-de, FEI Dongbo, et al. Amphibian resources in Mangshan National Nature Reserve of Hunan Province[J]. Chinese Journal of Zoology, 2012, 47(4): 62-67.
- [2] MELL R. Beiträge zur Fauna Sinica[M]. Berlin: Friedländer, 1922.
- [3] 四川生物所两栖爬行室. 湖南省宜章莽山两栖动物调查报告[M]/四川省生物研究所. 两栖爬行动物研究资料. 成都: 四川省生物研究所(Amphibian Reptile Studio, Sichuan Institute of Biology. A survey of amphibians in Mang Mountain, Yizhang, Hunan Province[M]/Sichuan Institute of Biology. Amphibian and Reptile Research Data. Chengdu: Sichuan Institute of Biology, 1976: 24-26.
- [4] 沈猷慧. 湖南省两栖动物调查及区系分析[J]. 两栖爬行动物学报(SHEN Youhui. Survey and fauna analysis of amphibians in Hunan Province[J]. Journal of Amphibians and Reptiles), 1983, 2(1): 49-58.
- [5] 叶昌媛, 费梁. 我国小型角蟾 *Megophrys* 的分类研究及其新种(新亚种)的描述[M]/中国动物学会两栖爬行动物学分会, 遵义医学院. 两栖爬行动物学研究(第4, 5辑). 贵阳: 贵州科技出版社(YE Changyuan, FEI Liang. Taxonomic studies on the small type *Megophrys* in China including descriptions of the new species (subspecies)[M]/Chinese Herpetological Society, Zunyi Medical University. Acta Herpetologica Sinica. Guiyang: Guizhou Science and Technology Publishing House Co., Ltd., 1995: 72-81.
- [6] 沈猷慧, 杨道德, 莫小阳, 等. 湖南动物志: 两栖纲[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社(SHEN Youhui, YANG Dao-de, MO Xiao-yang, et al. Fauna Hunan: Amphibia[M]. Changsha: Hunan Science and Technology Press), 2014: 3-4.
- [7] CHEN J M, ZHOU W W, POYARKOV N A, et al. A novel multilocus phylogenetic estimation reveals unrecognized diversity in Asian horned toads, genus *Megophrys* sensu lato (Anura: Megophryidae)[J]. Molecular Phylogenetics and Evolution, 2017, 106: 28-43.
- [8] LIU Z Y, CHEN G L, ZHU T Q, et al. Prevalence of cryptic species in morphologically uniform taxa -fast speciation and evolutionary radiation in Asian frogs[J]. Molecular Phylogenetics and Evolution, 2018, 127: 723-731.
- [9] TAPLEY B, CUTAJAR T, MAHONY S, et al. The Vietnamese population of *Megophrys kuatunensis* (Amphibia: Megophryidae) represents a new species of Asian horned frog from Vietnam and Southern China[J]. Zootaxa, 2017, 4344(3): 465-492.
- [10] 高志伟, 钱天宇, 江建平, 等. 湖南省两栖、爬行动物物种多样性及其地理分布[J]. 生物多样性(GAO Zhiwei, QIAN Tianyu, JIANG Jianping, et al. Species diversity and distribution of amphibians and reptiles in Hunan Province, China[J]. Biodiversity Science), 2022, 30(2): 21290.
- [11] QI S, LYU Z T, WANG J, et al. Three new species of the genus *Boulenophrys* (Anura, Megophryidae) from Southern China[J]. Zootaxa, 2021, 5072(5): 401-438.
- [12] QIAN T Y, LI Y H, CHEN J, et al. Tadpoles of four sympatric megophryinid frogs (Anura, Megophryidae, Megophryinae) from Mangshan in southern China[J]. ZooKeys, 2023, 1139: 1-32.
- [13] 莫吉炜. 湖南莽山国家级自然保护区两栖爬行动物公路死亡研究及生物通道设计[D]. 长沙: 中南林业科技大学(MO Jiwei. The Research on Herpetological Roadkill and Wildlife Undercrossing Design in Hunan Mangshan National Nature Reserve[D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology), 2009.

- [14] 邓文静, 韦启浪, 彭琪, 等. 湖南雪峰山自然保护区两栖动物多样性调查及人为干扰研究[J]. 生命科学研究(DENG Wenjing, WEI Qilang, PENG Qi, *et al.* Study on biodiversity and human disturbances of amphibians in Xuefengshan Nature Reserve, Hunan Province[J]. Life Science Research), 2021, 25(4): 338–346.
- [15] SIMON C, FRATI F, BECKENBACH A, *et al.* Evolution, weighting, and phylogenetic utility of mitochondrial gene sequences and a compilation of conserved polymerase chain reaction primers[J]. Annals of the Entomological Society of America, 1994, 87(6): 651–701.
- [16] MEYER C P, GELLER J B, PAULAY G. Fine scale endemism on coral reefs: archipelagic differentiation in turbinid gastropods[J]. Evolution, 2005, 59(1): 113–125.
- [17] QIAN T Y, XIA X, CAO Y, *et al.* A new species of *Leptobrachella* (Anura: Megophryidae) Smith, 1925 from Wuling Mountains in Hunan Province, China[J]. Zootaxa, 2020, 4816(4): 491–526.
- [18] KUMAR S, STECHER G, TAMURA K. MEGA7: molecular evolutionary genetics analysis version 7.0 for bigger datasets[J]. Molecular Biology and Evolution, 2016, 33(7): 1870–1874.
- [19] DARRIBA D, POSADA D, KOZLOV A M, *et al.* ModelTest-NG: a new and scalable tool for the selection of DNA and protein evolutionary models[J]. Molecular Biology and Evolution, 2020, 37(1): 291–294.
- [20] RONQUIST F, TESLENKO M, VAN DER MARK P, *et al.* MrBayes 3.2: efficient Bayesian phylogenetic inference and model choice across a large model space[J]. Systematic Biology, 2012, 61(3): 539–542.
- [21] TAMURA K, STECHER G, PETERSON D, *et al.* MEGA6: molecular evolutionary genetics analysis version 6.0[J]. Molecular Biology and Evolution, 2013, 30(12): 2725–2729.
- [22] 费梁, 胡淑琴, 叶昌媛, 等. 中国动物志: 中卷 两栖纲[M]. 北京: 科学出版社(FEI Liang, HU Shuqin, YE Changyuan, *et al.* Fauna Sinica: Vol.2 Amphibia[M]. Beijing: Science Press), 2006: 7–8, 429, 436.
- [23] FOUQUET A, GILLES A, VENCES M, *et al.* Underestimation of species richness in Neotropical frogs revealed by mtDNA analyses[J]. PLoS One, 2007, 2(10): e1109.
- [24] MESSENGER K R, DAHN H A, LIANG Y R, *et al.* A new species of the genus *Megophrys* Gunther, 1864 (Amphibia: Anura: Megophryidae) from Mount Wuyi, China[J]. Zootaxa, 2019, 4554(2): 561–583.
- [25] WANG J, LYU Z T, LIU Z Y, *et al.* Description of six new species of the subgenus *Panophrys* within the genus *Megophrys* (Anura, Megophryidae) from Southeastern China based on molecular and morphological data[J]. ZooKeys, 2019, 851: 113–164.
- [26] LYU Z T, LI Y Q, ZENG Z C, *et al.* Four new species of Asian horned toads (Anura, Megophryidae, *Megophrys*) from Southern China[J]. ZooKeys, 2020, 942: 105–140.
- [27] 廖春林, 梁茜茜, 王燕, 等. 桑植角蟾 *Megophrys sangzhiensis* Jiang, Ye et Fei, 2008 形态特征补记(Amphibia, Anura, Megophryidae)[J]. 四川动物(LIAO Chunlin, LIANG Qianqian, WANG Yan, *et al.* Additional notes on *Megophrys sangzhiensis* Jiang, Ye et Fei, 2008 (Amphibia, Anura, Megophryidae)[J]. Sichuan Journal of Zoology), 2013, 32(2): 217–218.
- [28] 沈猷慧, 谷祺, 廖春林. 尾突角蟾 *Megophrys caudoprocta* (两栖纲, 角蟾科)的进一步记述[J]. 动物学杂志(SHEN Youhui, GU Qi, LIAO Chunlin. Additional record of *Megophrys caudoprocta* (Amphibia, Megophryidae)[J]. Chinese Journal of Zoology), 2013, 48(3): 351–356.
- [29] 中国两栖类. “中国两栖类”信息系统[DB/OL]. [2022–09–01]. <http://www.amphibiachina.org/>.
- [30] 费梁, 叶昌媛, 江建平. 中国两栖动物及其分布彩色图鉴[M]. 成都: 四川科学技术出版社(FEI Liang, YE Changyuan, JIANG Jianping. Colored Atlas of Chinese Amphibians and Their Distributions[M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press), 2012: 230–232.

(上接第 343 页)

- [22] MÖLLER M, MIDDLETON D, NISHII K, *et al.* A new delimitation for *Oreocharis* incorporating an additional ten genera of Chinese Gesneriaceae[J]. Phytotaxa, 2011, 23: 1–36.
- [23] 洪欣, 马文, 徐双双, 等. 华南苦苣苔植物花粉形态的补充研究[J]. 安徽师范大学学报(自然科学版) (HONG Xin, MA Wen, XU Shuangshuang, *et al.* The supplementary study on pollen morphology of Gesneriaceae from Southern China[J]. Journal of Anhui Normal University (Natural Science)), 2015, 38(5): 466–473.
- [24] GUO Z Y, LI Z Y, XIANG X G. *Oreocharis duyunensis* (Gesneriaceae), a new species from Guizhou, China[J]. Nordic Journal of Botany, 2018, 36(9): e01514.
- [25] 苏兰英, 彭涛, 赵志国, 等. 苦苣苔科石山苣苔属一新种——重庆石山苣苔[J]. 广西植物(SU Lanying, PENG Tao, ZHAO Zhiguo, *et al.* *Petrocodon chongqingensis*, a new species of Gesneriaceae from Chongqing City, China[J]. Guihaia), 2019, 39(8): 997–1006.
- [26] XIN Z B, FU L F, HUANG Z J, *et al.* *Petrocodon chishuiensis* (Gesneriaceae), a new species endemic to Guizhou, China[J]. Taiwan, 2020, 65(2): 181–186.
- [27] XU W B, HUANG Y S, WEI G F, *et al.* *Paraboea angustifolia* (Gesneriaceae): a new species from limestone areas in northern Guangxi, China[J]. Phytotaxa, 2012, 62: 39–43.
- [28] PAN B, XU W B, WU W H. *Hemiboea pseudomagnibracteata* (Gesneriaceae), a new species from Guangxi, China[J]. Taiwan, 2012, 57(2): 188–192.
- [29] NONG D X, XU W B, WU W H, *et al.* *Lysionotus fengshanensis* Yan Liu & D. X. Nong sp. nov. (Gesneriaceae) from Guangxi, China[J]. Nordic Journal of Botany, 2010, 28(6): 720–722.