

湖南省花臭蛙复合体分类及分布格局

何玉晓 朱艳军 冯琦琦 李真 陈卓 陈晓虹*

河南师范大学生命科学学院 新乡 453007

摘要: 运用形态特征系统聚类和分子系统学分析, 研究先前报道的湖南省花臭蛙 (*Odorrana schmackeri*) 各地理种群分类组成及其分布格局。结果显示, 原认定的花臭蛙湖南省各地理种群已分化为花臭蛙和黄岗臭蛙 (*O. huanggangensis*) 两个物种。分布于湘西南及南部雪峰山和南岭的花臭蛙种群应修订为黄岗臭蛙, 为湖南省臭蛙属物种新发现, 湘西北及湘东南罗霄山脉的种群为花臭蛙, 黄岗臭蛙与花臭蛙在张家界市武陵源景区同域分布。湘西北武陵山与雪峰山之间以及湘中丘陵地带花臭蛙种群分类归属, 黄岗臭蛙和花臭蛙在湖南省分布格局的形成以及同域分布的机制值得探讨。

关键字: 花臭蛙; 黄岗臭蛙; 新纪录; 分布格局; 湖南省

中图分类号: Q959.53 文献标识码: A 文章编号: 0250-3263 (2017) 04-607-13

The Taxonomic Revision and Geographic Distribution of the Piebald Odorous Frog (*Odorrana schmackeri* Species Complex) in Hunan Province

HE Yu-Xiao ZHU Yan-Jun FENG Qi-Qi LI Zhen CHEN Zhuo CHEN Xiao-Hong*

College of Life Science, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China

Abstract: The Piebald Odorous Frogs (*Odorrana schmackeri* species complex) are endemic to China and widely distribute in Southern China. However, their taxonomy is still unresolved and many cryptic species have been reported in the past decade. Previous analyses have suggested the obvious genetic divergence of *O. schmackeri* in Hunan Province, whereas the taxonomic status and distribution patterns of this frog in Hunan Province remain unclear. Here, morphological cluster and molecular phylogenetic analyses were conducted based on the data collected from 8 geographical populations of the piebald odorous frog in Hunan and the type locality of piebald odorous frog in Yichang, Hubei as well as samples of the huanggang odorous frog (*O. huanggangensis*) from the type locality Wuyishan, Fujian (Fig. 1). The genetic distance between Huitong, Chengbu, Xinning, Shuangpai, Yizhang populations of *O. schmackeri* in Hunan Province and *O. huanggangensis* in Fujian Province is 0.001 - 0.002, whereas it reached 0.072 - 0.073 compared with *O. schmackeri* from the type locality Yichang, Hubei Province. The genetic distance between Shimen, Guidong

基金项目 国家自然科学基金项目 (No. 31372164, 31572245, 31601848), 河南省创新型科技团队项目 (No. C20140032);

* 通讯作者, E-mail: xhchen-xx@sohu.com;

第一作者介绍 何玉晓, 男, 硕士研究生; 研究方向: 动物分类与保护生物学; E-mail: yuxiaoHe2014@163.com.

收稿日期: 2016-10-06, 修回日期: 2017-02-13 DOI: 10.13859/j.cjz.201704008

groups of *O. schmackeri* in Hunan Province and *O. schmackeri* of Yichang, Hubei Province is 0.001 - 0.012, which is less than that (0.072 - 0.074) with *O. huanggangensis* in Fujian Province (Table 2). Interestingly, the genetic distance analyses further suggested the existence of two distinct species, i.e., *O. schmackeri* and *O. huanggangensis*, which corresponding to Wulingyuan (A) group and Wulingyuan (B) group respectively, in the Wulingyuan Scenic Area of Zhangjiajie City, Hunan Province. In addition, the topology of phylogenetic tree reconstructed based on morphological and molecular data all indicated that *O. schmackeri* species complex in Hunan Province were divided into two major groups: one group consisted of the populations from Wulingyuan (A), Huitong, Chengbu, Xinning, Shuangpai and Yizhang, the another contained samples from Shimen, Wulingyuan (B) and Guidong (Fig. 4 and 5). Therefore, the piebald odorous frog distributed in southwestern Hunan and the south of Mt. Xuefeng are revised as *O. huanggangensis* and it was the new records in Hunan, whereas the populations from northwestern Hunan and Mt. Luoxiao are reserved as *O. schmackeri*, and the two species were sympatrically distributed in Wulingyuan Scenic Area. However, a further study is required on the taxonomic status of *O. schmackeri* species complex between Mt. Wuling and Mt. Xuefeng in northwestern Hunan, and the mechanism underlying the sympatric distribution.

Key words: Piebald Odorous Frog, *Odorrana schmackeri*; Huanggang Odorous Frog, *Odorrana huanggangensis*; New records; Geographical distribution; Hunan Province

花臭蛙 (*Odorrana schmackeri*) 隶属于蛙科 (Ranidae) 臭蛙属, 广泛分布于秦岭-大巴山以南、南岭以北, 四川盆地西缘至江南丘陵东部及浙闽丘陵 12 个省市 (费梁等 2012), 北限可达河南伏牛山区 (李磊等 2009)。近年来的遗传多样性研究显示, 中国境内花臭蛙不是单一的物种, 而是包含多个物种和种群的复合种 (费梁等 2007, 陈晓虹等 2010a, b, Chen et al. 2013), 分布于湖南莽山的花臭蛙与模式产地湖北宜昌花臭蛙遗传分化显著, 而与福建武夷山的黄岗臭蛙 (*O. huanggangensis*) 具有很近的亲缘关系 (乔梁 2011)。为此, 我们对湖南省已知花臭蛙分布地进行考察, 以探讨其分类组成及分布格局。

1 材料与方法

1.1 实验材料

2010 年 8 月至 2015 年 8 月, 徒手或用抄网在湖南省已知花臭蛙分布地采集样本 (图 1)。剪取蛙趾末节固定于 95% 的乙醇溶液用于分子鉴定, 部分用于形态鉴定和研究的标本采用双毁髓法处死, 腹腔注射 5% 福尔马林, 于

10% 福尔马林溶液中快速固定, 定型后转移至 5% 福尔马林溶液中长期保存。

1.2 数据测量和处理

形态量度依据费梁等 (2005) 稍加改进, 用广陆 111-252 型数显卡尺 (精度: 0.03 mm, 分辨率: 0.01 mm) 测量性成熟个体 16 项外部形态指标。为消除异速生长的影响, 取各量度与头体长的比值乘以 100 为校正值 (王新卫等 2010), 并经对数转换 (lg) 得到 15 项形态指标。

1.3 性二型性分析

运用区间分析检验雌雄个体头体长性二型性; 使用 SPSS20.0 软件通过曼-惠特尼 *U* 检验法 (Mann-Whitney *U* test) 对雌雄个体形态差异进行检验。个体数较少的种群, 如湖南新宁、城步种群雌性个体以及湖南石门种群雄性个体均仅 1 号样本, 不符合 *U* 检验分析的条件, 不进行检验分析, 性二型性结果参照同物种其他种群的检验数据。

1.4 聚类分析

依据除头体长外的 15 项形态指标, 运用 SPSS20.0 软件, 采用系统聚类法 (hierarchical

cluster) 对花臭蛙湖南省 8 个种群、湖北宜昌种群以及黄冈臭蛙进行聚类分析。聚类过程采用 Ward 法 (Ward's method), 选择平方欧氏距离 (squared Euclidean distance) 检测各种群相似性。

1.5 DNA 分子鉴定

利用传统酚-氯仿法抽提组织样本 DNA 并稍加改进 (李佳璇等 2015), 选择 12S rRNA

为分子标记 (Chen et al. 2013), 常规 PCR 体系扩增, PCR 产物送生工生物工程 (上海) 有限公司双向测序, 运用 MEGA6.0 软件进行序列比对, 计算种群间遗传距离, MrBayes 3.2.5 软件 (Ronquist et al. 2012) 进行贝叶斯推算 (Bayesian inference, BI)、jModelTest 2.1.4 软件计算最佳碱基替代模型 (GTR + I + G) 构建各地理种群系统关系。

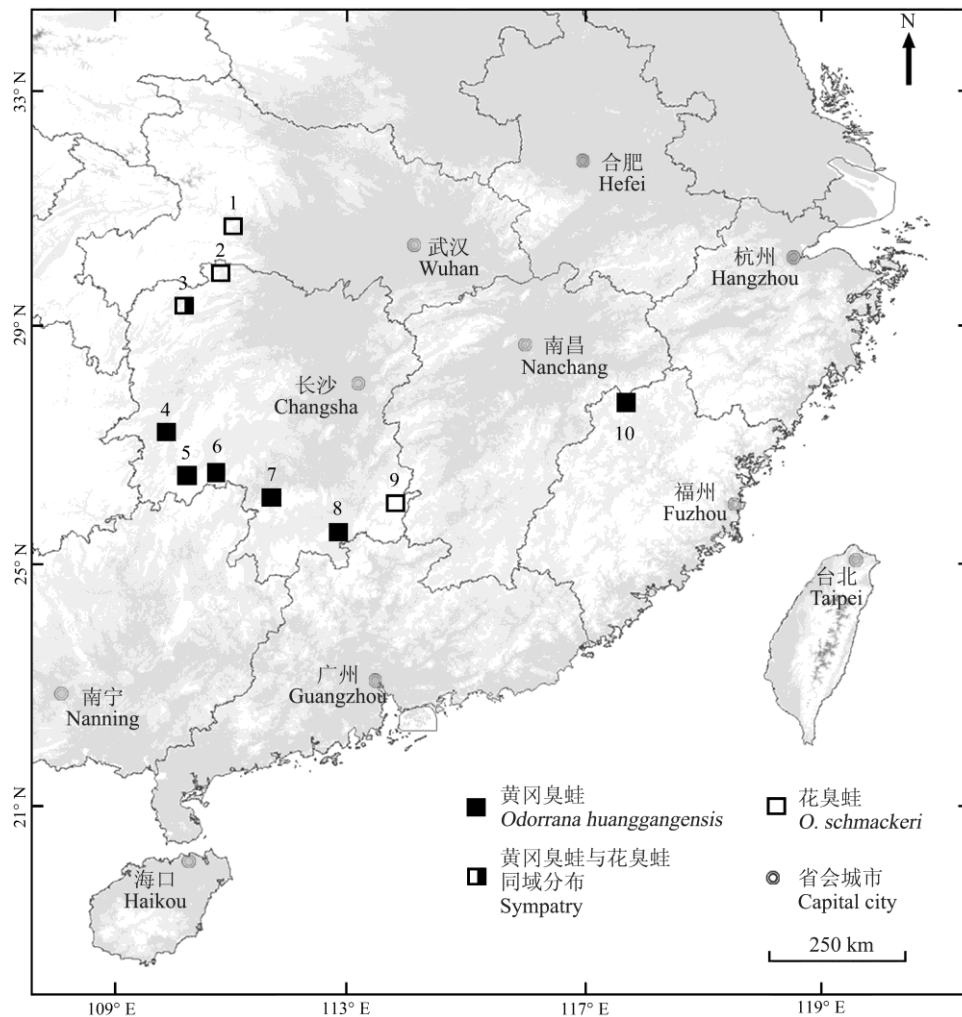


图 1 本文花臭蛙及黄冈臭蛙样本采集点

Fig. 1 Sampling localities of the Piebald Odorous Frog and the Huanggang Odorous Frog in this study

数字代表采样点位置: 1. 湖北宜昌 (花臭蛙模式产地); 2. 湖南石门; 3. 湖南武陵源景区; 4. 湖南会同; 5. 湖南城步; 6. 湖南新宁; 7. 湖南双牌; 8. 湖南宜章; 9. 湖南桂东; 10. 福建武夷山 (黄冈臭蛙模式产地)。
Sampling localities: 1. Yichang, Hubei (the type locality of Piebald Odorous Frog); 2. Shimen, Hunan; 3. Wulingyuan Scenic Area, Hunan; 4. Huitong, Hunan; 5. Chengbu, Hunan; 6. Xinning, Hunan; 7. Shuangpai, Hunan; 8. Yizhang, Hunan; 9. Guidong, Hunan; 10. Wuyi Mountains, Fujian (the type locality of Huanggang Odorous Frog).

2 结果

2.1 性二型性

花臭蛙湖南省各地理种群的形态量度和头体长 (snout-vent length, SVL) 的区间分析表明 (表 1, 图 2): 8 个种群雄性组头体长 (SVL 中值范围 40.11 ~ 49.50 mm) 均小于雌性组 (SVL 中值范围 77.00 ~ 90.44 mm), 且雌性组与雄性组头体长区间完全分开, 表明雌雄差异显著。

曼-惠特尼 *U* 检验的结果表明: 花臭蛙湖南会同种群雌雄个体在眼间距、眼径、鼓膜、前臂及手长、前臂宽、手长 6 个性状存在极显著差异 ($P < 0.01$), 胫长存在显著差异 ($P < 0.05$);

宜章种群雌雄个体在眼间距、眼径、鼓膜、前臂及手长、前臂宽、腿长 6 个性状存在极差异显著 ($P < 0.01$), 手长、胫长、跖足长存在显著差异 ($P < 0.05$); 双牌种群雌雄个体在眼间距、眼径、鼓膜、前臂及手长、前臂宽 5 个性状差异极显著 ($P < 0.01$), 手长差异显著 ($P < 0.05$); 武陵源种群雌雄个体在眼径、鼓膜、前臂宽、手长 4 个性状差异极显著 ($P < 0.01$), 胫长差异显著 ($P < 0.05$); 桂东种群雌雄个体在头长、眼径、鼓膜、前臂宽 4 个性状差异极显著 ($P < 0.01$) (表 1)。因此, 在聚类分析中花臭蛙湖南种群雌雄组分开分析。

2.2 聚类分析

花臭蛙湖南省 8 个地理种群与湖北宜昌种

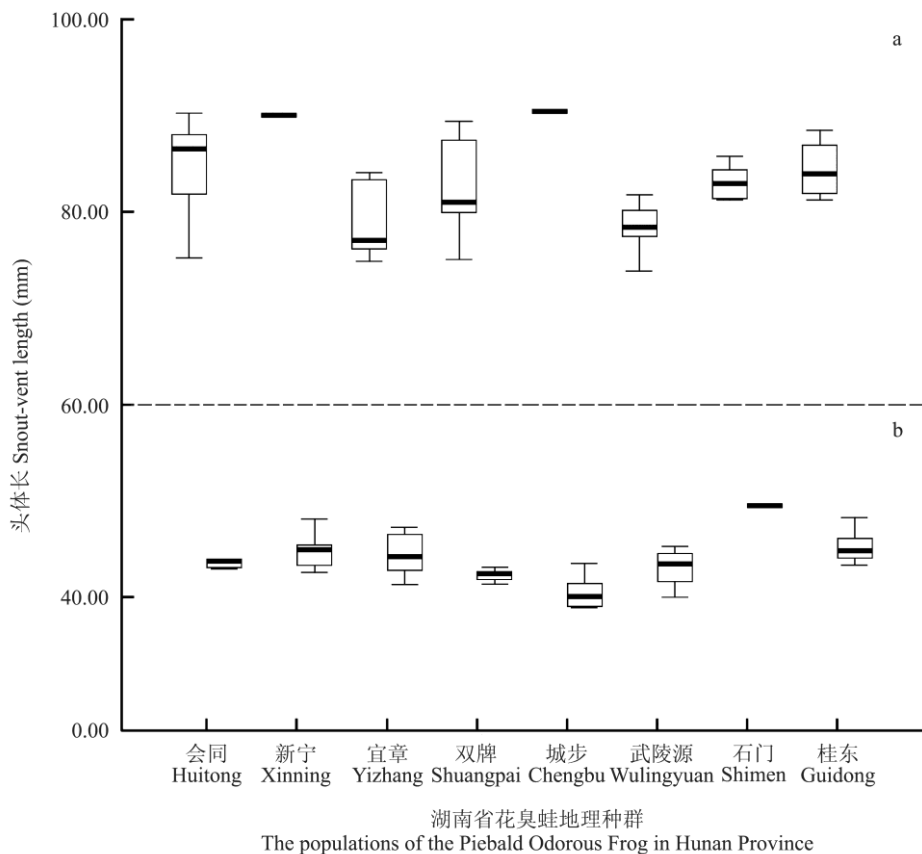


图 2 花臭蛙湖南种群雌雄个体头体长度量区间图

Fig. 2 Snout-vent length variation between the male and female individuals of the Piebald Odorous Frog from 8 populations in Hunan Province

a. 雌性; b. 雄性。 a. Female; b. Male.

表 1 花臭蛙不同地理种群及黄岗臭蛙成体形态量度 (单位: mm)
Table 1 Morphometric measurements on adult specimens of the Piebald Odorous Frog and the Huanggang Odorous Frog used in this study (Unit: mm)

参数 Characters	地理种群 Locality									
	湖南会同 Huitong		湖南新宁 Xinning		湖南宜章 Yizhang		湖南双牌 Shuangpai		湖南城步 Chengbu	
	♀ (n=7)	♂ (n=11)	♀ (n=1)	♂ (n=7)	♀ (n=5)	♂ (n=8)	♀ (n=7)	♂ (n=7)	♀ (n=1)	♂ (n=5)
头体长	平均值 84.51 ± 5.36	43.49 ± 1.51	90.03	44.76 ± 0.71	79.11 ± 1.91	44.47 ± 0.79	82.95 ± 2.00	42.29 ± 0.25	90.44	40.65 ± 0.83
SVL	范围 75.26 ~ 90.24	39.65 ~ 45.45		42.61 ~ 48.13	74.91 ~ 84.10	41.34 ~ 47.25	75.09 ~ 89.43	41.40 ~ 43.14		39.06 ~ 43.53
头长	平均值 26.61 ± 1.54	14.08 ± 0.77	29.19	14.00 ± 0.31	26.16 ± 0.29	14.00 ± 0.21	26.74 ± 0.44	13.73 ± 0.13	28.29	13.49 ± 0.24
HL	范围 24.59 ~ 29.27	12.68 ~ 14.88		12.76 ~ 15.12	25.37 ~ 26.89	13.39 ~ 15.20	25.82 ~ 29.04	13.23 ~ 14.12		13.07 ~ 14.25
	比率 31.5	32.4	30.5	31.3	33.1	31.5	32.3	32.5	31.3	33.2
头宽	平均值 27.76 ± 1.16	14.76 ± 0.60	29.31	15.15 ± 0.35	26.49 ± 0.43	15.26 ± 0.18	27.20 ± 0.46	14.29 ± 0.10	28.27	14.24 ± 0.18
HW	范围 25.84 ~ 29.25	13.67 ~ 15.60		13.77 ~ 16.17	25.32 ~ 27.72	14.39 ~ 15.91	25.32 ~ 29.01	13.85 ~ 14.64		13.75 ~ 14.78
	比率 32.9	33.9	31.2	33.8	33.5	34.3	32.9	34.8	31.2	35.1
吻长	平均值 12.38 ± 0.32	6.37 ± 0.11	13.76	6.51 ± 0.08	11.89 ± 0.27	6.56 ± 0.06	12.37 ± 0.32	6.15 ± 0.11	13.66	6.33 ± 0.14
SL	范围 11.62 ~ 13.78	5.45 ~ 6.71		6.13 ~ 6.78	11.43 ~ 12.90	6.31 ~ 6.86	11.43 ~ 13.57	5.67 ~ 6.54		6.07 ~ 6.80
	比率 14.7	14.6	13.4	14.1	15.0	14.9	14.6	15.1	15.1	16.8
鼻间距	平均值 8.80 ± 0.22	4.32 ± 0.03	8.85	4.33 ± 0.05	7.98 ± 0.08	8.44 ± 0.12	4.32 ± 0.05	9.13 ± 0.14	8.79	4.15 ± 0.06
INS	范围 8.20 ~ 9.60	4.13 ~ 4.48		4.14 ~ 4.50	7.74 ~ 8.23	7.90 ~ 8.88	4.07 ~ 4.50	8.99 ~ 9.27		4.03 ~ 4.35
	比率 10.4	10.1	11.1	9.7	10.1	10.2	10.2	10.2	9.7	10.2
眼间距	平均值 5.58 ± 0.20	3.87 ± 0.10	6.73	4.15 ± 0.05	5.54 ± 0.08	4.23 ± 0.03	5.48 ± 0.17	4.01 ± 0.09	6.62	3.97 ± 0.15
IOS	范围 5.00 ~ 6.53	3.46 ~ 4.33		3.97 ~ 4.31	5.25 ~ 5.69	4.09 ~ 4.35	5.00 ~ 6.31	3.72 ~ 4.39		3.59 ~ 4.31
	比率 6.6**	8.9**	7.5	9.3	7.0**	9.5**	6.6**	9.5**	7.3	9.8
眼径	平均值 9.05 ± 0.22	5.75 ± 0.09	9.55	6.22 ± 0.11	8.49 ± 0.18	5.88 ± 0.17	8.83 ± 0.12	5.86 ± 0.15	9.67	5.93 ± 0.22
ED	范围 8.11 ~ 9.69	5.21 ~ 6.21		5.90 ~ 6.73	8.01 ~ 8.89	5.00 ~ 6.30	8.47 ~ 9.43	5.38 ~ 6.54		5.36 ~ 6.34
	比率 10.7**	13.2**	10.7	13.9	10.7**	12.5**	10.7**	13.9**	10.7	14.6
鼓膜	平均值 4.91 ± 0.09	3.66 ± 0.06	5.33	3.60 ± 0.05	4.52 ± 0.05	3.60 ± 0.06	4.67 ± 0.13	3.71 ± 0.06	5.48	3.55 ± 0.04
TD	范围 4.44 ~ 5.13	3.21 ~ 3.97		3.41 ~ 3.77	4.39 ~ 4.65	3.38 ~ 3.77	4.10 ~ 5.12	3.40 ~ 3.85		3.45 ~ 3.67
	比率 5.8**	8.4**	5.8	8.0	5.7**	8.1**	5.6**	8.8**	6.1	8.8

续表 1

参数 Characters	地理种群 Locality											
	湖南会同 Huitong		湖南新宁 Xinning		湖南宜章 Yizhang		湖南双牌 Shuangpai		湖南城步 Chengbu			
	♀ (n=7)	♂ (n=11)	♀ (n=1)	♂ (n=7)	♀ (n=5)	♂ (n=8)	♀ (n=7)	♂ (n=7)	♀ (n=1)	♂ (n=1)	♀ (n=5)	♂ (n=5)
前臂及 手长 LAHL	平均值 33.80 ± 0.71	19.50 ± 0.10	36.66	19.34 ± 0.08	32.01 ± 0.26	19.56 ± 0.13	35.27 ± 0.82	19.81 ± 0.06	36.67	19.42 ± 0.12	范围 31.36 ~ 36.73	19.03 ~ 19.73
	比率 40.0**	44.9**	39.7	43.3	40.6**	44.1**	42.6**	46.8**	40.5	47.8		
前臂宽 LAW	平均值 6.44 ± 0.12	4.28 ± 0.06	7.14	4.36 ± 0.10	6.24 ± 0.12	4.14 ± 0.07	6.49 ± 0.09	4.46 ± 0.09	7.10	4.25 ± 0.06	范围 6.13 ~ 7.12	4.10 ~ 4.42
	比率 7.6**	9.8**	7.3	9.7	7.9**	9.3**	7.8**	10.5**	7.9	10.5		
手长 HAL	平均值 22.98 ± 0.20	12.82 ± 0.14	23.51	13.22 ± 0.14	22.34 ± 0.65	13.39 ± 0.17	23.00 ± 0.30	12.47 ± 0.10	23.34	12.66 ± 0.20	范围 22.30 ~ 23.68	12.14 ~ 13.11
	比率 27.3**	29.5**	26.5	29.6	28.2*	30.1*	27.8*	27.7*	25.8	31.2		
腿长 HLL	平均值 150.46 ± 2.83	75.30 ± 0.62	163.24	77.03 ± 0.46	144.93 ± 2.80	75.12 ± 1.05	148.28 ± 2.65	75.88 ± 0.62	162.26	73.23 ± 1.26	范围 139.44 ~ 163.70	70.87 ~ 77.18
	比率 178.3	173.2	169.8	172.3	183.3**	169.0**	179.0	179.4	179.4	180.2		
胫长 TL	平均值 51.92 ± 0.75	25.27 ± 0.18	55.82	25.20 ± 0.27	49.55 ± 0.87	26.33 ± 0.33	51.69 ± 0.82	25.43 ± 0.32	55.70	24.68 ± 0.19	范围 49.34 ~ 55.57	24.27 ~ 25.30
	比率 61.6*	58.1*	59.1	56.3	62.7*	59.3*	62.4	60.1	61.6	60.8		
胫宽 TW	平均值 11.75 ± 0.17	5.73 ± 0.08	11.35	5.71 ± 0.15	10.77 ± 0.30	5.71 ± 0.13	11.23 ± 0.14	5.55 ± 0.11	10.94	5.31 ± 0.06	范围 11.18 ~ 12.43	5.17 ~ 5.46
	比率 13.9	13.2	13.3	12.8	13.6	12.8	13.6	13.1	12.1	13.1		
跗足长 FTL	平均值 65.16 ± 0.59	34.00 ± 0.22	72.13	35.20 ± 0.28	63.31 ± 1.49	34.12 ± 0.29	65.55 ± 1.60	33.72 ± 0.22	70.88	33.75 ± 0.33	范围 62.26 ~ 66.81	33.03 ~ 34.68
	比率 77.3	78.2	74.0	78.7	80.0*	76.8*	79.1	79.8	78.4	83.1		
足长 FL	平均值 44.38 ± 0.65	23.70 ± 0.11	47.87	24.21 ± 0.19	43.07 ± 0.68	23.59 ± 0.32	43.97 ± 0.98	22.89 ± 0.23	44.62	23.67 ± 0.20	范围 41.43 ~ 46.74	23.11 ~ 24.18
	比率 52.6	54.5	50.2	54.2	54.5	53.1	53.1	54.2	49.3	58.3		

续表 1

参数 Characters	地理种群 Locality											
	湖南武陵源 Wulingyuan		湖南石门 Shimen		湖南桂东 Guidong		福建武夷山 Wuyi Mountains		湖北宜昌 Yichang			
	♀ (n=10)	♂ (n=4)	♀ (n=6)	♂ (n=1)	♀ (n=4)	♂ (n=11)	♀ (n=4)	♂ (n=4)	♀ (n=9)	♂ (n=14)		
头体长	平均值	78.24 ± 0.78	43.08 ± 1.09	83.08 ± 0.70	49.50	45.23 ± 0.49	85.88 ± 2.00	42.22 ± 1.24	78.85 ± 1.93	46.21 ± 0.53		
SVL	范围	73.91 ~ 81.76	40.08 ~ 45.27	81.22 ~ 85.75	84.41 ± 1.61	43.38 ~ 48.29	80.77 ~ 89.99	39.14 ~ 45.14	69.24 ~ 84.26	41.96 ~ 49.30		
头长	平均值	26.65 ± 0.38	14.71 ± 0.09	29.79 ± 0.21	17.32	17.30 ± 0.25	26.95 ± 0.78	14.32 ± 0.35	26.56 ± 0.73	16.76 ± 0.23		
HL	范围	24.42 ~ 28.70	14.46 ~ 14.91	28.99 ~ 30.43	24.33 ~ 27.96	16.16 ~ 18.60	25.85 ~ 29.19	13.73 ~ 15.25	23.95 ~ 31.32	15.02 ~ 18.72		
	比率	34.1	34.2	35.9	34.0**	34.2**	31.4	34.0	33.8	36.3		
头宽	平均值	26.59 ± 0.31	14.58 ± 0.66	28.44 ± 0.32	15.84	15.18 ± 0.15	28.04 ± 0.44	14.57 ± 0.63	26.19 ± 0.49	15.88 ± 0.18		
HW	范围	24.43 ~ 28.42	13.03 ~ 15.97	27.55 ~ 29.64	27.58 ~ 30.02	14.42 ~ 16.35	27.05 ~ 29.19	13.55 ~ 16.40	23.58 ~ 27.89	14.95 ~ 17.09		
	比率	34.00	33.8	34.2	34.3	33.6	32.7	34.5	33.3	34.4		
吻长	平均值	11.86 ± 0.25	6.19 ± 0.13	13.29 ± 0.29	7.43	6.57 ± 0.09	14.69 ± 0.58	6.14 ± 0.30	11.11 ± 0.26	8.30 ± 0.88		
SL	范围	11.07 ~ 13.56	5.88 ~ 6.48	12.26 ~ 14.15	11.16 ~ 14.66	6.21 ~ 6.98	13.21 ~ 15.62	5.29 ~ 6.63	9.86 ~ 11.85	6.24 ~ 16.23		
	比率	15.2	14.4	15.0	15.4	14.6	17.1	14.5	14.1	17.9		
鼻间距	平均值	8.05 ± 0.11	4.37 ± 0.07	8.68 ± 0.10	4.93	4.55 ± 0.10	8.58 ± 0.24	4.27 ± 0.06	7.88 ± 0.19	4.86 ± 0.08		
INS	范围	7.40 ~ 8.58	4.25 ~ 4.55	8.31 ~ 9.03	8.38 ~ 9.77	4.14 ~ 5.10	7.92 ~ 9.06	4.10 ~ 4.40	6.81 ~ 8.60	4.36 ~ 5.37		
	比率	10.3	10.2	10.4	10.7	10.1	10.0	10.1	10.0	10.5		
眼间距	平均值	5.27 ± 0.09	3.66 ± 0.24	5.95 ± 0.12	3.81	3.21 ± 0.06	5.83 ± 0.37	3.92 ± 0.17	5.54 ± 0.13	3.62 ± 0.151		
IOS	范围	4.89 ~ 5.90	3.01 ~ 4.11	5.51 ~ 6.27	5.65 ~ 6.72	3.04 ~ 3.72	5.22 ~ 6.91	3.61 ~ 4.26	4.83 ~ 6.13	2.62 ~ 4.12		
	比率	6.7	8.5	7.2	7.2	7.1	6.8	9.3	7.0	7.9		
眼径	平均值	8.03 ± 0.18	6.36 ± 0.24	8.04 ± 0.10	6.47	6.02 ± 0.10	9.31 ± 0.47	6.10 ± 0.41	8.19 ± 0.21	6.07 ± 0.19		
ED	范围	7.14 ~ 8.78	6.03 ~ 7.05	7.75 ~ 8.47	7.85 ~ 8.58	5.41 ~ 6.64	8.16 ~ 10.31	5.29 ~ 7.08	6.86 ~ 8.99	4.81 ~ 7.57		
	比率	10.3**	14.8**	9.7	9.7**	13.3**	10.8	14.4	10.4	13.1		
鼓膜	平均值	4.79 ± 0.08	3.95 ± 0.18	5.45 ± 0.14	4.58	4.05 ± 0.05	5.00 ± 0.13	3.69 ± 0.05	5.37 ± 0.21	4.32 ± 0.09		
TD	范围	4.40 ~ 5.15	3.76 ~ 4.49	5.02 ~ 5.86	5.42 ~ 6.02	3.74 ~ 4.27	4.70 ~ 5.35	3.53 ~ 3.77	4.43 ~ 6.12	3.63 ~ 4.84		
	比率	6.1**	9.2**	6.6	6.8**	9.0**	5.8	8.8	6.8	9.4		

续表 1

参数 Characters	地理种群 Locality									
	湖南武陵源 Wulingyuan		湖南石门 Shimen		湖南桂东 Guidong		福建武夷山 Wuyi Mountains		湖北宜昌 Yichang	
	♀ (n=10)	♂ (n=4)	♀ (n=6)	♂ (n=1)	♀ (n=4)	♂ (n=11)	♀ (n=4)	♂ (n=4)	♀ (n=9)	♂ (n=14)
前臂及 手长	平均值 34.75 ± 0.48	19.98 ± 0.30	38.74 ± 0.37	22.52	39.37 ± 1.36	21.40 ± 0.23	34.24 ± 0.84	19.06 ± 0.32	36.27 ± 1.10	21.62 ± 0.34
LAHL	范围 32.82 ~ 37.37	19.44 ~ 20.84	37.24 ~ 39.64		36.68 ~ 42.00	20.36 ~ 22.83	32.72 ~ 36.62	18.27 ~ 19.82	30.09 ~ 40.57	19.20 ~ 23.95
	比率 44.5	46.4	46.6	45.5	46.6	47.3	42.6	45.2	46.0	46.8
前臂宽 LAW	平均值 6.60 ± 0.17	4.54 ± 0.18	7.07 ± 0.20	5.04	7.15 ± 0.19	4.1448 ± 0.09	6.55 ± 0.19	4.22 ± 0.18	6.67 ± 0.22	4.76 ± 0.16
	范围 5.71 ~ 7.30	4.29 ~ 5.08	6.25 ~ 7.76		6.86 ~ 7.68	4.03 ~ 4.84	6.20 ~ 7.07	3.79 ~ 4.54	5.78 ~ 7.78	4.02 ~ 5.83
	比率 8.4**	10.5**	8.5	10.2	8.5**	9.9**	7.6	10.0	8.5	10.3
手长 HAL	平均值 22.08 ± 0.33	13.07 ± 0.43	24.40 ± 0.37	14.79	24.95 ± 0.86	13.79 ± 0.17	22.71 ± 0.35	12.62 ± 0.31	23.12 ± 0.43	14.35 ± 0.16
	范围 19.89 ~ 23.58	12.00 ~ 13.99	22.71 ~ 25.24		23.14 ~ 26.74	13.00 ~ 14.94	22.01 ~ 23.50	12.00 ~ 13.19	20.83 ~ 25.10	13.05 ~ 15.48
	比率 28.2**	30.8**	29.4	30.0	29.5	30.5	26.5	30.0	29.4	31.1
腿长 HLL	平均值 143.47 ± 1.54	75.62 ± 1.19	151.69 ± 1.12	87.35	149.97 ± 5.13	81.12 ± 1.11	154.48 ± 3.64	75.17 ± 1.45	141.74 ± 3.32	81.70 ± 0.78
	范围 136.76 ~ 153.64	72.24 ~ 77.83	148.91 ~ 156.00		138.62 ~ 159.66	77.30 ~ 88.38	148.76 ~ 164.26	71.26 ~ 78.13	125.84 ~ 153.07	77.09 ~ 87.67
	比率 183.4	175.7	182.6	176.5	177.6	179.3	179.9	178.2	179.9	176.9
胫长 TL	平均值 49.45 ± 0.47	25.32 ± 0.40	51.44 ± 0.73	28.40	49.56 ± 1.30	26.70 ± 0.24	51.85 ± 1.35	25.47 ± 0.40	47.33 ± 0.94	27.11 ± 0.29
	范围 46.64 ~ 51.64	24.40 ~ 26.31	48.79 ~ 53.83		46.54 ~ 52.23	25.41 ~ 28.35	49.56 ~ 55.73	24.40 ~ 26.21	41.91 ~ 51.12	24.68 ~ 28.61
	比率 63.2*	58.8*	61.9	57.4	58.7	59.1	60.4	60.5	60.1	58.7
胫宽 TW	平均值 10.99 ± 0.24	5.58 ± 0.11	10.80 ± 0.24	6.62	11.87 ± 0.62	6.17 ± 0.08	11.03 ± 0.13	5.61 ± 0.24	10.80 ± 0.26	6.12 ± 0.19
	范围 10.03 ~ 12.21	5.37 ~ 5.89	9.97 ~ 11.72		10.12 ~ 12.82	5.76 ~ 6.72	10.79 ~ 11.39	5.28 ~ 6.31	9.68 ~ 11.65	4.68 ~ 7.46
	比率 14.0	13.0	13.0	13.4	14.0	13.7	12.9	13.3	13.7	13.2
跖足长 FTL	平均值 62.72 ± 0.78	34.01 ± 0.87	67.08 ± 0.54	39.13	67.80 ± 2.06	36.25 ± 0.47	67.13 ± 1.71	34.53 ± 0.29	62.80 ± 1.58	36.78 ± 0.35
	范围 59.13 ~ 66.03	31.82 ~ 36.00	65.30 ~ 68.72		64.20 ~ 72.10	34.21 ~ 39.54	63.94 ~ 71.96	33.68 ~ 34.96	56.06 ~ 68.92	34.66 ~ 39.17
	比率 80.2	78.9	80.7	79.1	80.3	80.2	78.2	81.9	79.7	79.7
足长 FL	平均值 42.74 ± 0.56	23.25 ± 0.63	45.77 ± 0.16	25.99	44.91 ± 1.75	24.39 ± 0.43	45.13 ± 0.90	23.53 ± 0.21	41.57 ± 1.04	24.71 ± 0.28
	范围 40.54 ~ 45.02	22.57 ~ 25.15	45.28 ~ 46.34		40.98 ~ 48.04	22.50 ~ 26.76	43.31 ~ 47.55	23.18 ~ 24.13	37.40 ~ 46.30	22.54 ~ 26.45
	比率 54.7	54.0	55.1	52.5	53.2	53.9	52.6	55.9	52.8	53.5

表中平均值为平均值 ± 标准差; 范围为测量范围; 比率指各测量值与头体长之比(%) ; “*” 雌雄差异达显著水平 (P < 0.05) ; “**” 雌雄差异达极显著水平 (P < 0.01) ; “***” 雌雄差异达极显著水平 (P < 0.001) ; “*” 雌雄差异达显著水平 (P < 0.05) ; 平均值的 Mean ± SD; 范围的 Range; 比率, Ratio (Ratios of each measurements to SVL, %); “***” differences between male and female are extremely significant (P < 0.01); “*” differences between male and female are significant (P < 0.05).

SVL, Snout-vent length; HL, Head length; INS, Internasal space; IOS, Interorbital space; ED, Diameter of eye; TD, Diameter of tympanum; LAHL, Length of lower arm and hand length; LAW, Width of lower arm; HAL, Hand length; HLL, Length of hind leg; TL, Tibia length; TW, Tibia width; FTL, Length of foot and tarsus; FL, Foot length.

群、黄岗臭蛙的雌性和雄性聚类结果基本一致，均聚为 2 大支（图 3）。雌性组，会同、城步、新宁、双牌、宜章种群与黄岗臭蛙聚为一支；武陵源、石门、桂东种群与花臭蛙湖北宜昌种群聚为一支。雄性组，会同、城步、新宁、双牌、宜章、武陵源与黄岗臭蛙聚为一支；石门、桂东与花臭蛙宜昌种群聚为一支。不同之处在于：雌性组花臭蛙武陵源种群与花臭蛙湖北宜昌种群聚为一支，而雄性组花臭蛙武陵源种群与黄岗臭蛙聚为一支。

2.3 分子鉴定

常规 PCR 扩增，经校正比对，去除插入、

缺失和模糊位点，得到 749 bp 12S rRNA 基因片段，包括保守位点（conserved sites）688 个，变异位点（variable sites）61 个，简约信息位点（parsimony-informative sites）56 个。基于 Kimura 2-parameter 模型计算各种群的遗传距离，花臭蛙湖南会同、城步、新宁、双牌、宜章种群之间以及与黄岗臭蛙的遗传距离均为 0.001 ~ 0.002，与花臭蛙湖北宜昌种群的遗传距离则达 0.072 ~ 0.073；花臭蛙湖南石门、桂东种群之间以及与花臭蛙湖北宜昌种群遗传距离均为 0.001 ~ 0.012，而与黄岗臭蛙间遗传距离为 0.072 ~ 0.074；黄岗臭蛙与花臭蛙湖北宜昌种群间遗传

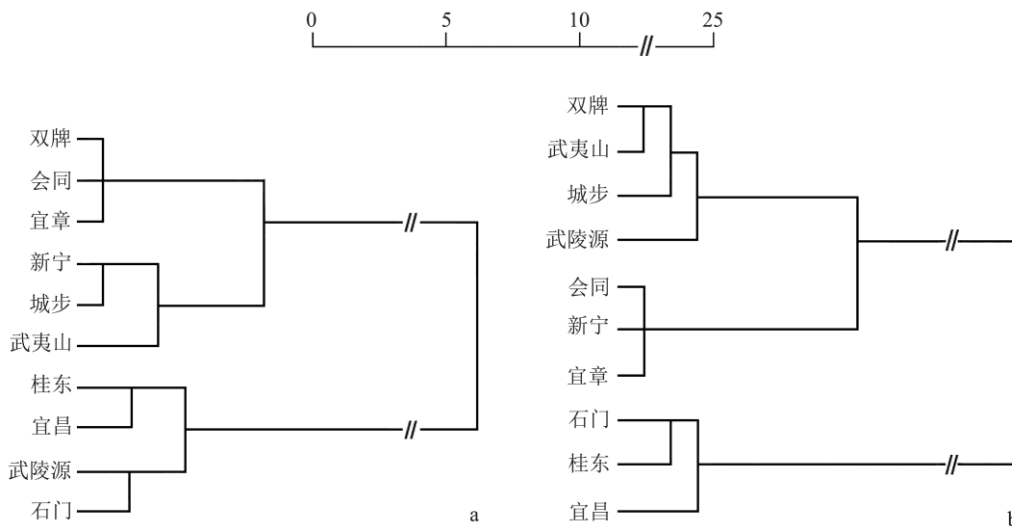


图 3 花臭蛙湖南 8 个地理种群与湖北宜昌种群及黄岗臭蛙的性状聚类

Fig. 3 Morphological clusters of the Piebald Odorous Frog from 8 populations of Hunan and Yichang, Hubei, and the Huanggang Odorous Frog

a. 雌性; b. 雄性。a. Female; b. Male.

标尺表示各种群相对距离；宜昌，花臭蛙湖北宜昌种群（花臭蛙模式产地）；石门，花臭蛙湖南石门种群；武陵源，花臭蛙湖南武陵源景区种群；会同，花臭蛙湖南会同种群；城步，花臭蛙湖南城步种群；新宁，花臭蛙湖南新宁种群；双牌，花臭蛙湖南双牌种群；宜章，花臭蛙湖南宜章种群；桂东，花臭蛙湖南桂东种群；武夷山，黄岗臭蛙福建武夷山种群（黄岗臭蛙模式产地）。

The rulers show the relative distance among each groups; 宜昌, Yichang population of Piebald Odorous Frog in Hunan (the type locality of Piebald odorous frog); 石门, Shimen population of piebald odorous frog in Hunan; 武陵源, Wulingyuan Scenic Area population of piebald odorous frog in Hunan; 会同, Huitong population of piebald odorous frog in Hunan; 城步, Chengbu population of piebald odorous frog in Hunan; 新宁, Xinning population of piebald odorous frog in Hunan; 双牌, Shuangpai population of piebald odorous frog in Hunan; 宜章, Yizhang population of piebald odorous frog in Hunan; 桂东, Guidong population of piebald odorous frog in Hunan; 武夷山, Wuyishan population of Huanggang Odorous Frog in Fujian (the type locality of Huanggang odorous frog).

距离为 0.071。武陵源种群部分个体与黄岗臭蛙的遗传距离为 0.002, 与花臭蛙湖北宜昌种群的遗传距离为 0.073, 划分为武陵源种群 A 组; 其他个体与花臭蛙湖北宜昌种群遗传距离为 0.001, 与黄岗臭蛙间遗传距离为 0.072, 划分为武陵源种群 B 组 (表 2)。基于 12S rRNA 序列以贝叶斯法重建各地理种群 BI 树, 会同、城步、新宁、双牌、宜章种群及武陵源种群 A 组与黄岗臭蛙聚为一支 (分支 I, $PP = 1.0$), 桂东、石门种群及武陵源种群 B 组与花臭蛙湖北宜昌种群聚为一支 (分支 II, $PP = 1.0$) (图 4)。

3 讨论

作为一种多元分析方法, 聚类分析可通过形态学数据将不同种群进行初步归类, 量化种群间的差异程度, 分析种群间的相似程度 (李勤生等 1991)。遗传距离已成为衡量种间或种群间分化程度和遗传差异的重要指标, 群体分化时间越短, 遗传距离越小 (乔梁等 2011)。地理种群形态聚类与系统发育分析显示, 原认定的花臭蛙湖南省各地理种群已分化为花臭蛙和黄岗臭蛙两个物种, 分布于西北部武陵山脉石门种群和东南部罗霄山脉桂东种群为花臭蛙, 而湘西南雪峰山至南岭的会同、城步、新宁、双牌、宜章花臭蛙种群应修订为黄岗臭蛙, 为湖南省臭蛙属新记录。花臭蛙武陵源种群 A、

表 2 基于 12S rRNA 序列花臭蛙湖南种群与湖北宜昌种群及黄岗臭蛙的平均遗传距离

Table 2 The average genetic distance among the Huanggang Odorous Frog and populations of the Piebald Odorous Frog in Yichang and Hunan province based on mitochondrial 12S rRNA sequences

物种 Species	地理种群 Locality	遗传距离 Genetic distance										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1 黄岗臭蛙 <i>O. huanggangensis</i>	福建武夷山 Wuyishan, Fujian											
2 花臭蛙 <i>O. schmackeri</i>	湖北宜昌 Yichang, Hubei	0.071										
3 花臭蛙 <i>O. schmackeri</i>	湖南会同 Huitong, Hunan	0.001	0.072									
4 花臭蛙 <i>O. schmackeri</i>	湖南新宁 Xinning, Hunan	0.002	0.073	0.000								
5 花臭蛙 <i>O. schmackeri</i>	湖南宜章 Yizhang, Hunan	0.002	0.072	0.001	0.001							
6 花臭蛙 <i>O. schmackeri</i>	湖南城步 Chengbu, Hunan	0.001	0.072	0.001	0.001	0.001						
7 花臭蛙 <i>O. schmackeri</i>	湖南双牌 Shuangpai, Hunan	0.001	0.072	0.000	0.001	0.001	0.001					
8 花臭蛙 <i>O. schmackeri</i>	湖南武陵源 A Wulingyuan A, Hunan	0.002	0.073	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001				
9 花臭蛙 <i>O. schmackeri</i>	湖南武陵源 B Wulingyuan B, Hunan	0.072	0.001	0.071	0.071	0.071	0.071	0.071	0.071			
10 花臭蛙 <i>O. schmackeri</i>	湖南石门 Shimen, Hunan	0.072	0.001	0.071	0.071	0.071	0.071	0.071	0.071	0.000		
11 花臭蛙 <i>O. schmackeri</i>	湖南桂东 Guidong, Hunan	0.074	0.012	0.072	0.073	0.072	0.073	0.072	0.073	0.011	0.011	

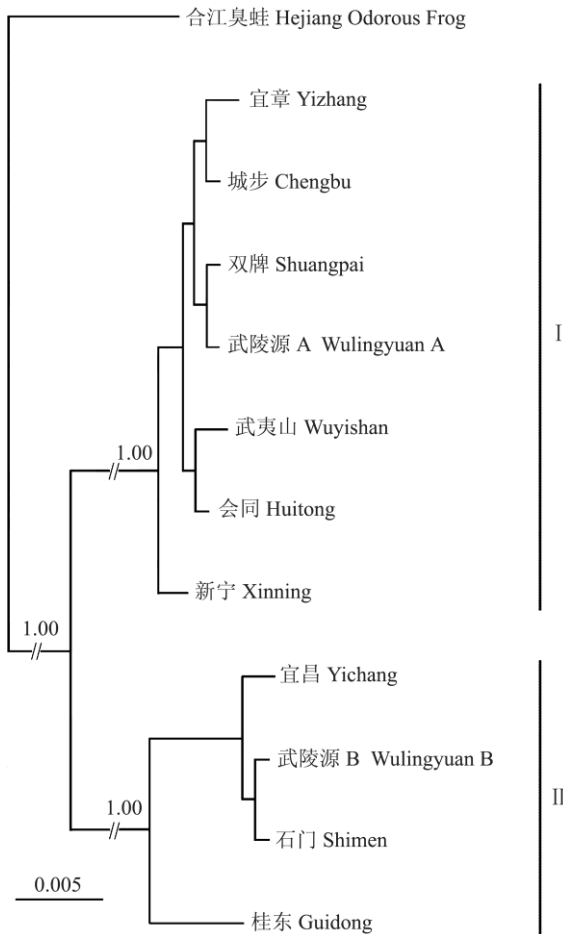


图4 基于 12S rRNA 序列构建花臭蛙湖南种群与湖北宜昌种群及黄岗臭蛙的贝叶斯系统树

Fig. 4 The Bayesian tree of the Huanggang Odorous Frog and populations of the Piebald Odorous Frog in Yichang and Hunan Province based on 12S rRNA sequences

合江臭蛙 (*O. hejiangensis*) 为外群；分支节点上的数值为后验概率；支系 I 包括会同、城步、新宁、双牌、宜章、武夷山（黄岗臭蛙）种群及武陵源种群 A 组 ($PP = 1.00$)；支系 II 包括桂东、石门、宜昌（花臭蛙）种群及武陵源种群 B 组 ($PP = 1.00$)。

Set the Hejiang Odorous Frog (*O. hejiangensis*) as outgroup; The numbers on the branches are posterior probability; Clade I includes the populations of Huitong, Chengbu, Xinning, Shuangpai, Yizhang, Wuyishan (Huanggang Odorous Frog) and Wulingyuan (A) ($PP = 1.00$); Clade II includes the populations of Guidong, Shimen, Yichang (Piebald Odorous Frog) and Wulingyuan (B) ($PP = 1.00$).

B 组与各地种群形态聚类结果表明，武陵源种群 A 组与黄岗臭蛙聚为一支，武陵源种群 B 组与花臭蛙湖北宜昌种群聚为一支（图 5），花臭蛙与黄岗臭蛙在湖南省张家界市武陵源景区同域分布。

我国滇西高山峡谷地区、粤桂湘赣南岭山地和湘川鄂边境地区受第四纪冰川的影响不大（王献溥等 1994），可能为两栖类物种分化和多样性形成提供了理想的避难所（Yan et al. 2011, Shen et al. 2012, Yang et al. 2014, 朱艳军等 2015）。湖南省位于长江中下游以南，南岭山脉以北，东、南、西三面是山地丘陵，中部和北部地势低平，以洞庭湖为中心形成马蹄形盆地。其生态环境复杂，气候温暖湿润，是我国两栖动物较为丰富的省（区）之一（沈猷慧等 2015）。近年来发现多个两栖动物新种（Yan et al. 2011, Shen et al. 2012, Yang et al. 2014）。湖南省臭蛙属包括竹叶臭蛙（*O. versabilis*）、大绿臭蛙（*O. graminea*）、绿臭蛙（*O. margaratae*）、宜章臭蛙（*O. yizhangensis*）和花臭蛙（沈猷慧等 2015），其中花臭蛙为优势种，曾被认为广泛分布于西北部的武陵山脉、雪峰山至南岭及罗霄山脉（赵秀璧 1990, 向孙军等 2002, 冯斌等 2005, 熊建利 2005, 费梁等 2009, 杨道德等 2009, 傅祺等 2012, 吴炳贤等 2016）。黄岗臭蛙目前已知分布于福建与江西武夷山区（陈晓虹等 2010a, 王同亮等 2015），黄岗臭蛙在湖南的发现表明其可能是由雪峰山经南岭向东延伸至武夷山区，而在此区间是否连续分布，尚有待进一步调查。同时，黄岗臭蛙与花臭蛙是否只在张家界武陵源景区同域分布，或者有广泛的交叉重叠分布？湘西北武陵山与雪峰山之间以及湘中丘陵地带花臭蛙种群的分类归属（冯斌等 2005, 李祖实等 2010），黄岗臭蛙和花臭蛙在湖南省分布格局的形成以及同域分布的机制值得探讨。

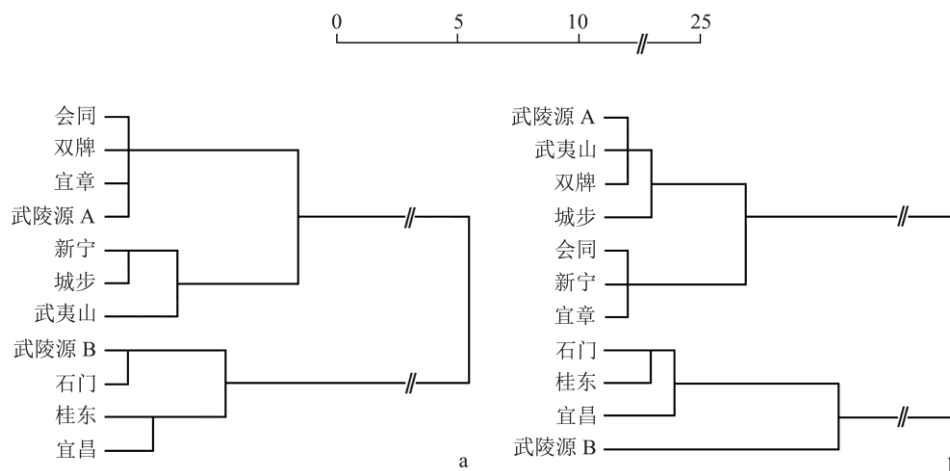


图 5 花臭蛙武陵源种群 A 组和 B 组与 8 个地理种群及黄冈臭蛙的性状聚类

Fig. 5 Morphological clusters of the Huanggang Odorous Frog and the Pieblad Odorous Frog from populations of Wulingyuan population group A, B and 8 other populations

a. 雌性; b. 雄性。a. Female; b. Male.

标尺表示各种群相对距离; 宜昌. 花臭蛙湖北宜昌种群 (花臭蛙模式产地); 石门. 花臭蛙湖南石门种群; 武陵源 A. 花臭蛙湖南武陵源景区种群 A 组; 武陵源 B. 花臭蛙湖南武陵源景区种群 B 组; 会同. 花臭蛙湖南会同种群; 城步. 花臭蛙湖南城步种群; 新宁. 花臭蛙湖南新宁种群; 双牌. 花臭蛙湖南双牌种群; 宜章. 花臭蛙湖南宜章种群; 桂东. 花臭蛙湖南桂东种群; 武夷山. 黄冈臭蛙福建武夷山种群 (黄冈臭蛙模式产地)。

The rulers show the relative distance among each groups; 宜昌. Yichang population of Piebald Odorous Frog in Hunan (the type locality of Piebald Odorous Frog); 石门. Shimen population of Piebald Odorous Frog in Hunan; 武陵源 A. Wulingyuan Scenic Area population (A) of Piebald Odorous Frog in Hunan; 武陵源 B. Wulingyuan Scenic Area population (B) of Piebald Odorous Frog in Hunan; 会同. Huitong population of Piebald Odorous Frog in Hunan; 城步. Chengbu population of Piebald Odorous Frog in Hunan; 新宁. Xinning population of Piebald Odorous Frog in Hunan; 双牌. Shuangpai population of Piebald Odorous Frog in Hunan; 宜章. Yizhang population of Piebald Odorous Frog in Hunan; 桂东. Guidong population of Piebald Odorous Frog in Hunan; 武夷山. Wuyishan population of Huanggang Odorous Frog in Fujian (the type locality of Huanggang Odorous Frog).

参 考 文 献

- Chen X H, Chen Z, Jiang J P, et al. 2013. Molecular phylogeny and diversification of the genus *Odorrana* (Amphibia, Anura, Ranidae) inferred from two mitochondrial genes. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 69(3): 1196–1202.
- Ronquist F, Teslenko M, 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.
- Shen Y H, Jiang J P, Mo X Y, 2012. A new species of the genus *Tylotriton* (Amphibia, Salamandridae) from Hunan, China. *Asian Herpetological Research*, 3(1): 21–30.
- Yan F, Jiang K, Chen H M, et al. 2011. Matrilial history of the *Rana longicrus* species group (*Rana*, Ranidae, Anura) and the description of a new species from Hunan, southern China. *Asian Herpetological Research*, 2(2): 61–71.
- Yang D D, Jiang J P, Shen Y H, et al. 2014. A new species of the genus *Tylotriton* (Urodela: Salamandridae) from northeastern Hunan Province, China. *Asian Herpetological Research*, 5(1): 1–11.
- 陈晓虹, 周开亚, 郑光美. 2010a. 中国臭蛙属一新种. *动物分类学报*, 35(1): 206–211.
- 陈晓虹, 周开亚, 郑光美. 2010b. 中国臭蛙类一新种. *北京师范大学学报: 自然科学版*, 46(5): 606–609.

- 费梁, 胡淑琴, 叶昌媛, 等. 2009. 中国动物志: 两栖纲(下卷)无尾目 蛙科. 北京: 科学出版社, 1283–1289.
- 费梁, 叶昌媛, 黄永昭. 2005. 中国两栖动物检索及图解. 成都: 四川科学技术出版社, 6–7.
- 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, 388–390.
- 费梁, 叶昌媛, 谢锋, 等. 2007. 中国四川省蛙科一新种——南江臭蛙(两栖纲: 无尾目). 动物学研究, 28(5): 551–555.
- 冯斌, 杨道德. 2005. 湖南借母溪自然保护区两栖动物区系研究. 湖南林业科技, 32(1): 41–43.
- 傅祺, 杨道德, 费冬波, 等. 2012. 湖南莽山国家级自然保护区两栖动物资源调查与分析. 动物学杂志, 47(4): 62–67.
- 李佳璇, 陈卓, 朱艳军, 等. 2015. 一种简便高效提取两栖动物肌肉组织基因组 DNA 的方法. 天津师范大学学报: 自然科学版, 35(3): 73–75.
- 李磊, 陈晓虹, 杨杰, 等. 2009. 龙峪湾国家森林公园两栖动物多样性与保护. 河南师范大学学报: 自然科学版, 37(6): 120–122.
- 李勤生, 蔡庆华, 华俐, 等. 1991. 东湖异养细菌群落的分类结构和聚类分析. 水生生物学报, 15(3): 242–254.
- 李祖实, 莫吉炜, 谷颖乐, 等. 2010. 南岳衡山国家级自然保护区两栖爬行动物资源调查与分析. 湖南林业科技, 37(1): 20–23.
- 乔梁. 2011. 广义花臭蛙的形态量度和遗传分化研究. 新乡: 河南师范大学硕士学位论文.
- 乔梁, 鲁有强, 陈晓虹. 2011. 光雾臭蛙的分布新纪录及地理变异. 动物分类学报, 36(1): 132–135.
- 沈猷慧. 2015. 湖南省动物志: 两栖纲. 长沙: 湖南科学技术出版社, 254–258.
- 王同亮, 程林, 兰文军, 等. 2015. 江西武夷山国家级自然保护区两栖动物多样性及海拔分布特点. 生态学杂志, 34(7): 2009–2014.
- 王献溥, 刘玉凯. 1994. 生物多样性的理论与实践. 北京: 中国环境科学出版社, 1–257.
- 王新卫, 王丽, 朱钰, 等. 2010. 广义金线侧褶蛙河南 3 个地理种群的形态分析及分类探讨. 河南大学学报: 自然科学版, 40(6): 612–616.
- 吴炳贤, 杨道德, 刘应志, 等. 2016. 湖南黄桑国家级自然保护区两栖爬行动物多样性及区系分析. 四川动物, 35(4): 601–607.
- 向孙军, 孙善贵, 刘胜贵, 等. 2002. 八面山两栖动物多样性研究初报. 华中师范大学学报: 自然科学版, 36(3): 353–357.
- 熊建利. 2005. 壶瓶山国家级自然保护区两栖动物资源调查与种群监测. 长沙: 中南林学院硕士学位论文.
- 杨道德, 熊建利, 冯斌, 等. 2009. 湖南阳明山国家级自然保护区两栖爬行动物资源调查. 四川动物, 28(1): 127–132.
- 赵秀璧. 1990. 南岭和雪峰山脉过渡地区的两栖、爬行动物. 湖南大学邵阳分校学报, 3(1): 39–42.
- 朱艳军, 陈卓, 常利明, 等. 2015. 重庆市发现宜章臭蛙. 动物学杂志, 50(6): 969–973.