

海南岛饰纹姬蛙种群的形态变异*

李玉龙^{1,2} 王循刚^{1,2} 付磊¹ 束潇潇^{1,2} 王斌^{1**} 江建平^{1**}

¹中国科学院山地生态恢复与生物资源利用重点实验室, 生态恢复与生物多样性保育四川省重点实验室, 中国科学院成都生物研究所 成都 610041

²中国科学院大学 北京 100049

摘要 揭示海南岛饰纹姬蛙 (*Microhyla fissipes*) 种群的形态特征变异及环境在此过程中所发挥的作用, 于2016年6月和8月在海南岛共采集到饰纹姬蛙19个种群372只成体标本, 测量其7个外部形态性状, 并采用聚类分析、主成分分析、Wilcoxon秩和检验和非参数多元方差分析等方法进行比较. 结果表明: (1) 除儋州种群外, 种群头体长大体呈现由西南向东北逐渐增大的趋势; (2) 层次聚类及主成分分析结果表明这19个种群可分为2组, 即东北组和西南组, 而东北组的头体长显著大于西南组, 且两组在其他形态量度性状上均差异显著; (3) 6月份和8月份采集的群体中, 雄性形态差异显著, 而雌性形态差异不显著. 以上形态差异状况可能是由海南岛独特的南北生态差异所造成, 食物资源及捕食压力可能是促进饰纹姬蛙种群朝着更加大型化方向发展的生态因素; 本研究结果有助于揭示这一广布物种的形态变异规律及其与生态环境的关系. (图4表5参27)

关键词 饰纹姬蛙; 形态差异; 地理梯度; 海南岛

CLC Q959.530.8

Morphological variation of *Microhyla fissipes* on Hainan Island*

LI Yulong^{1,2}, WANG Xungang^{1,2}, FU Lei¹, SHU Xiaoxiao^{1,2}, WANG Bin^{1**} & JIANG Jianping^{1**}

¹CAS Key Laboratory of Mountain Ecological Restoration and Bioresource Utilization & Ecological Restoration and Biodiversity Conservation Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China

²University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract The aims of this study were to reveal the morphological variation patterns of *Microhyla fissipes* on Hainan Island of China, and to understand the effects of ecological environments on the body size of this species. We collected 372 adult individuals of 19 *M. fissipes* populations from Hainan Island in June and August 2016, and we assessed seven morphological characters. We used hierarchical clustering and principal component analysis (PCA) to evaluate the morphological variation patterns and relationships. In addition, we used the Wilcoxon rank sum test and nonparametric MANOVA to determine significant differences among groups. With the exception of the Danzhou population, the body size of *M. fissipes* on Hainan Island increased from southwest to northeast. The results of hierarchical clustering and PCA revealed that the 19 populations were clustered into two groups—the northeastern group and the southwestern group—bounded by the Wuzhi and Yinggeling Mountains. All morphological characters of the northeastern group were significantly larger than those of southwestern group. In addition, the morphological characters of populations collected in June and August differed significantly among males but not among females. We propose that the geographic gradient in body size is related to the unique topographical and climatic condition of Hainan. Food resources and predation pressures may be ecological factors that promote the development of *M. fissipes* populations towards a larger body size. Our findings will help to elucidate the morphological variation of this widespread species.

Keywords *Microhyla fissipes*; morphological variation; geographical gradient; Hainan Island

海南岛位于北纬18°09'-20°11', 东经108°03'-111°04'之间, 面积33 600 km², 北以琼州海峡与雷州半岛相隔约30 km, 东、西、南三面分别与菲律宾、越南、南洋群岛隔海相望^[1], 为世界三大热带区的印尼—马来热带区的北缘, 具有热带和亚热带自然条件的过渡特征^[2]. 岛内地形中部高四周低, 南

部以丘陵和山地为主, 北部以台地和平原为主, 其典型的热带海洋性气候孕育了丰富而独特的生物多样性资源^[3]. 海南岛两栖动物区系都是东洋界成分, 其中东洋型占63%、南中国型占15.9%、岛屿型(特有种)占21.3%^[4].

Smith (1931) 认为海南岛动物区系中, 山区主要分布着起源于我国大陆的种或土著种, 而低地则主要分布着中南半岛的习见种^[5]. 岛屿具有地理界限明显、受其他地区影响小、生境多样、地质变化频繁、生物个体间基因流因海洋阻隔而交流机会降低等特点^[6]. 因此, 系统研究岛屿内物种的分化具有重要的科学意义.

饰纹姬蛙 (*Microhyla fissipes*) 在海南岛分布广泛, 在山区和低地均有分布^[7], 但其分化状况尚无系统研究. Yuan等

收稿日期 Received: 2017-03-13 接受日期 Accepted: 2017-04-17

*国家自然科学基金项目(31471964)和中国科学院重点部署项目(KJZD-EW-L13)资助 Supported by the National Natural Science Foundation of China (31471964), and the Key Project of Chinese Academy of Sciences (KJZD-EW-L13)

**通讯作者 Corresponding author (E-mail: wangbin@cib.ac.cn; jiangjp@cib.ac.cn)

(2016)对饰纹姬蛙的研究结果提示饰纹姬蛙的大陆种群遗传分化较为明显^[8],但并未涉及海南岛种群的遗传分化,也并未基于形态学数据探讨海南岛种群的变异.因此,本文对海南岛饰纹姬蛙不同种群的形态性状量度特征进行比较分析,以期揭示该物种在海南岛不同地区的种群是否具有显著的形态差异,该研究也将为该物种的系统学研究和谱系地理学研究提供基础.

1 材料与方法

1.1 样品采集

于2016年5月28日至6月12日在海南岛的西北部地区采集到饰纹姬蛙11个种群,共190只成体(38只雌性成体,152只雄性成体),后于2016年8月2日至8月11日在东南部地区采集到饰纹姬蛙8个种群共182只成体(33只雌性成体,149只雄性成体)(表1,图1).成体的判定依据为雄性睾丸及输精管呈现膨胀状态和雌性已怀卵.所有标本固定于10%福尔马林溶液中,并保存于中国科学院成都生物研究所.

1.2 数据测量

依据费梁等^[9]和Watters等^[10]的测量标准,用电子游标卡尺(精度0.01 mm)测定了所有标本的7个形态性状,各形态性状的量度特征描述如下:头长(Head length, HL):自吻端至上、下颌关节后缘的长度;头宽(Head width, HW):头两侧之间的最大距离;眼间距(Interorbital space, IOS):左右上眼睑内侧缘之间的最窄距离;头体长(Snout-vent length, SVL):自吻端至体后端的长度;前臂及手长(Length of lower arm and hand, LAHL):自肘关节至第三指末端的长度;胫长(Tibia length, TL):胫部两端之间的长度;足长(Foot length, FL):自内蹠突的近端至第四趾末端的长度.

1.3 数据分析

将形态量度值进行自然对数转换作为校正值^[11],采用基于马氏距离的离差平方和法^[12]对6月份采集的11个种群、8月份采集的8个种群,及合并后的19个种群的雄性形态量度分别进行层次聚类分析(Hierarchical clustering).因雌性样本较少,本文仅对雄性个体进行分析.该分析采用R 3.3.1^[13]中

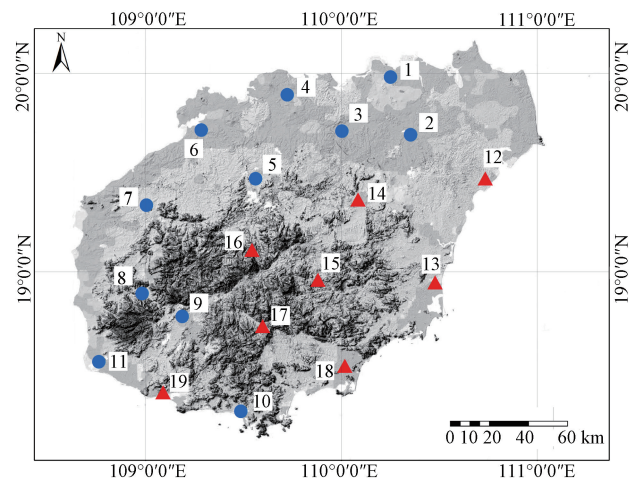


图1 海南岛饰纹姬蛙19个种群采样点.蓝色圆点为2016年6月份采集,红色三角形为2016年8月份采集.

Fig. 1 Sampling localities of 19 populations of *Microhyla fissipes* on Hainan Island. The localities with blue solid circles and red solid triangles were surveyed in June and August 2016, respectively.

stats包的hclust函数.

使用相关系数矩阵(Correlation matrix)对校正后的形态量度指标进行标准化,并进行主成分分析(Principal component analysis, PCA),提取特征值大于1的主成分.该分析采用R 3.3.1^[13]中stats包的princomp函数.

采用Wilcoxon秩和检验(Wilcoxon rank sum test)检验两组各个形态性状量度的差异显著性,采用非参数多元方差分析(Nonparametric MANOVA)检验两组形态性状量度整体的差异显著性.分析分别采用R 3.3.1^[13]中stats包的wilcox.test函数和vegan包的adonis2函数.

2 结果

2.1 不同种群头体长的比较

根据每个种群纬度的变化(表2),分性别和采样月份

表1 海南岛饰纹姬蛙种群采样信息

Table 1 Sampling information of *Microhyla fissipes* on Hainan Island

种群编号 Population	采集地 Locality	经度 Longitude	纬度 Latitude	采样时间 Date	雌性数量 Female Number	雄性数量 Male Number
1	海口市 Haikou City	110.25163	19.98020	2016/5/28	0	14
2	定安县 Ding'an County	110.35345	19.68970	2016/6/12	4	12
3	澄迈县 Chengmai County	110.00269	19.70805	2016/5/29	0	14
4	临高县 Lin'gao County	109.72374	19.89148	2016/5/30	1	17
5	儋州市 Danzhou City	109.56134	19.46854	2016/6/1	1	18
6	英进村 Yingjin Village	109.28362	19.71347	2016/5/31	0	15
7	昌江县 Changjiang County	109.00333	19.33516	2016/6/3	5	14
8	江边村 Jiangbian Village	108.98226	18.89022	2016/6/5	3	12
9	乐东市 Ledong City	109.18702	18.77474	2016/6/6	14	10
10	三亚市 Sanya City	109.48570	18.29662	2016/6/9	1	14
11	佛罗镇 Folo Town	108.76061	18.54661	2016/6/8	9	12
12	会文镇 Huiwen Town	110.73444	19.47056	2016/8/11	5	15
13	山根镇 Shan'gen Town	110.47833	18.94667	2016/8/10	5	26
14	屯昌县 Tunchang County	110.08406	19.36409	2016/8/2	6	11
15	琼中县 Qiongzhong County	109.87925	18.95959	2016/8/4	5	21
16	白沙市 Baisha City	109.54251	19.11018	2016/8/4	1	11
17	五指山市 Wuzhishan City	109.59653	18.72689	2016/8/5	4	22
18	陵水市 Lingshui City	110.01676	18.52668	2016/8/8	5	22
19	三公里村 San'gongli Village	109.08766	18.39359	2016/8/6	2	21

表2 海南岛饰纹姬蛙19个种群的7个形态性状量度特征的均值及标准差

Table 2 Measurements (mean \pm standard deviation) of seven morphological characters of 19 *Microhyla fissipes* populations collected from Hainan Island

种群 Population	性别 Sex	N	SVL/mm	HL/mm	HW/mm	LAHL/mm	TL/mm	FL/mm	IOS/mm
1	♂	14	22.14 \pm 0.78	8.38 \pm 0.23	8.93 \pm 0.40	8.42 \pm 0.38	10.70 \pm 0.29	11.33 \pm 0.30	1.98 \pm 0.09
2	♂	12	21.74 \pm 1.10	8.87 \pm 0.33	9.23 \pm 0.66	8.41 \pm 0.36	10.57 \pm 0.37	11.07 \pm 0.66	1.87 \pm 0.14
	♀	4	25.22 \pm 0.78	9.30 \pm 0.61	10.08 \pm 0.38	8.85 \pm 0.53	11.70 \pm 0.75	12.31 \pm 0.91	2.07 \pm 0.23
3	♂	14	20.18 \pm 1.54	8.40 \pm 0.70	8.14 \pm 0.83	7.76 \pm 0.68	9.65 \pm 0.87	10.33 \pm 0.88	1.78 \pm 0.16
4	♂	17	20.25 \pm 1.18	8.11 \pm 0.51	8.14 \pm 0.70	8.07 \pm 0.77	10.02 \pm 0.78	10.38 \pm 0.96	1.89 \pm 0.17
	♀	1	24.69	9.09	9.04	9.65	12.18	12.49	2.17
5	♂	18	23.14 \pm 0.91	9.24 \pm 0.32	9.49 \pm 0.68	9.38 \pm 0.34	11.37 \pm 0.47	12.31 \pm 0.49	2.16 \pm 0.14
	♀	1	20.84	7.67	7.72	8.17	10.05	10.56	1.76
6	♂	15	19.31 \pm 0.75	7.58 \pm 0.47	7.56 \pm 0.62	7.69 \pm 0.47	9.40 \pm 0.44	9.68 \pm 0.45	1.72 \pm 0.09
7	♂	14	18.96 \pm 0.59	7.55 \pm 0.41	7.49 \pm 0.49	7.61 \pm 0.36	9.29 \pm 0.45	9.95 \pm 0.35	1.68 \pm 0.15
	♀	5	21.29 \pm 1.24	7.95 \pm 0.40	8.20 \pm 0.37	7.84 \pm 0.35	10.07 \pm 0.37	10.78 \pm 0.51	1.94 \pm 0.16
8	♂	12	18.44 \pm 1.18	7.59 \pm 0.44	7.56 \pm 0.44	7.27 \pm 0.55	8.79 \pm 0.78	9.48 \pm 0.78	1.73 \pm 0.16
	♀	3	20.63 \pm 0.37	8.05 \pm 0.10	7.96 \pm 0.30	7.78 \pm 0.03	9.79 \pm 0.18	10.59 \pm 0.14	1.80 \pm 0.02
9	♂	10	18.09 \pm 0.79	7.53 \pm 0.42	7.56 \pm 0.44	6.98 \pm 0.22	8.51 \pm 0.27	9.02 \pm 0.44	1.57 \pm 0.07
	♀	14	19.86 \pm 0.50	7.72 \pm 0.26	7.54 \pm 0.35	7.31 \pm 0.38	9.22 \pm 0.60	9.93 \pm 0.49	1.68 \pm 0.11
10	♂	14	18.01 \pm 0.96	7.10 \pm 0.38	6.91 \pm 0.33	7.47 \pm 0.41	9.01 \pm 0.51	9.34 \pm 0.64	1.63 \pm 0.10
	♀	1	19.58	7.89	7.53	7.77	9.86	10.68	1.77
11	♂	12	17.16 \pm 0.78	6.88 \pm 0.36	6.65 \pm 0.32	6.87 \pm 0.22	8.42 \pm 0.32	8.75 \pm 0.43	1.52 \pm 0.12
	♀	9	17.89 \pm 1.07	6.98 \pm 0.66	6.53 \pm 0.38	7.01 \pm 0.52	8.95 \pm 0.56	9.11 \pm 0.63	1.56 \pm 0.13
12	♂	15	20.89 \pm 1.19	8.36 \pm 0.56	8.32 \pm 0.37	8.75 \pm 0.51	10.79 \pm 0.52	11.46 \pm 0.65	1.90 \pm 0.14
	♀	5	23.05 \pm 1.00	8.53 \pm 0.28	8.72 \pm 0.31	9.13 \pm 0.64	11.75 \pm 0.64	12.71 \pm 0.86	2.09 \pm 0.11
13	♂	26	20.42 \pm 1.21	7.89 \pm 0.73	7.97 \pm 0.65	8.23 \pm 0.44	10.26 \pm 0.51	10.57 \pm 0.54	1.77 \pm 0.12
	♀	5	23.47 \pm 1.83	8.50 \pm 0.60	8.83 \pm 0.59	8.85 \pm 1.11	11.32 \pm 1.05	11.65 \pm 1.22	1.93 \pm 0.25
14	♂	11	19.69 \pm 1.16	7.78 \pm 0.37	7.92 \pm 0.62	8.30 \pm 0.39	9.68 \pm 0.80	10.77 \pm 0.34	1.74 \pm 0.13
	♀	6	22.72 \pm 1.64	8.35 \pm 0.67	8.52 \pm 0.58	8.93 \pm 0.28	11.27 \pm 0.47	12.19 \pm 0.46	1.97 \pm 0.13
15	♂	21	19.65 \pm 0.68	7.95 \pm 0.34	7.90 \pm 0.41	8.42 \pm 0.46	10.29 \pm 0.34	11.22 \pm 0.48	1.73 \pm 0.16
	♀	5	22.57 \pm 0.96	8.42 \pm 0.42	8.81 \pm 0.49	9.30 \pm 0.52	11.44 \pm 0.45	12.55 \pm 0.79	2.09 \pm 0.23
16	♂	11	18.14 \pm 0.38	7.57 \pm 0.30	7.44 \pm 0.24	7.48 \pm 0.27	8.85 \pm 0.31	9.74 \pm 0.35	1.53 \pm 0.07
	♀	1	20.94	7.97	7.43	8.77	10.63	11.86	1.69
17	♂	22	16.93 \pm 0.75	7.03 \pm 0.49	6.65 \pm 0.32	7.23 \pm 0.38	8.43 \pm 0.39	9.38 \pm 0.50	1.55 \pm 0.12
	♀	4	20.45 \pm 1.10	8.05 \pm 0.26	7.87 \pm 0.31	8.11 \pm 0.58	9.90 \pm 0.58	10.47 \pm 0.43	1.73 \pm 0.09
18	♂	22	15.66 \pm 0.70	6.34 \pm 0.28	6.56 \pm 0.26	6.58 \pm 0.24	7.89 \pm 0.37	8.49 \pm 0.51	1.46 \pm 0.06
	♀	5	16.31 \pm 0.78	6.38 \pm 0.36	6.54 \pm 0.31	6.71 \pm 0.18	7.94 \pm 0.74	9.11 \pm 0.36	1.56 \pm 0.06
19	♂	21	16.31 \pm 0.65	6.76 \pm 0.27	6.45 \pm 0.36	6.81 \pm 0.29	8.04 \pm 0.31	8.74 \pm 0.37	1.43 \pm 0.09
	♀	2	17.41 \pm 0.17	6.96 \pm 0.26	6.31 \pm 0.40	7.07 \pm 0.38	8.57 \pm 0.40	9.25 \pm 0.66	1.67 \pm 0.07

N: 个体数量; SVL: 头体长; HL: 头长; HW: 头宽; LAHL: 前臂及手长; TL: 胫长; FL: 足长; IOS: 眼间距。

N: Number of individuals; SVL: Snout-vent length; HL: Head length; HW: Head width; LAHL: Length of lower arm and hand; TL: Tibia length; FL: Foot length; IOS: Interorbital space.

绘制了不同种群头体长的变化情况及时势线(图2)。可以看出,6月份采集的11个种群(种群编号1-11;表1,图1)中,除儋州种群(种群编号5)外,无论是雄性群体还是雌性群体,头体长均呈现出由西南向东北随纬度增加而逐渐变大的趋势;类似地,8月份采集的8个种群(种群编号12-19;表1,图1)中,头体长也同样呈现出由西南向东北随纬度增加而逐渐变大的趋势。

2.2 聚类分析

海南岛饰纹姬蛙的19个种群雄性标本的形态性状量度特征的聚类结果(图3)表明,6月份采集的雄性群体中,海口种群(1)、定安种群(2)、澄迈种群(3)、临高种群(4)、儋州种群(5)聚为东北组,而英进村种群(6)、昌江种群(7)、江边种群(8)、乐东种群(9)、三亚种群(10)、佛罗种群(11)聚为西南组(图3A);8月份采集的雄性群体中,会文种群(12)、山根种群(13)、屯昌种群(14)和琼中种群(15)聚为东北组,白沙种群(16)、五指山种群(17)、陵水种群(18)和三公里种群(19)聚为西南组(图3B);将两月份采

集的所有雄性群体合并分析,得到类似的聚类结果(图3C),两组的东北组聚为一组形成大东北组,两组的西南组聚为一组而形成大西南组。

2.3 主成分分析

4组分析的第一主成分对方差的贡献率均达到85%以上,前两个主成分的累积贡献率均达到90%以上(表3),表明依据前两个主成分的二维图(图4)可以表征出可信的种群间的相似性,可明显将6月份和8月份采集的种群分别识别为两组,即东北组和西南组,每组的种群组成与聚类分析结果类似。

2.4 东北组与西南组差异性检验

使用Wilcoxon秩和检验和非参数多元方差分析对东北组和西南组进行差异显著性检验,结果(表4)表明东北组在7个性状上均显著大于西南组($P < 0.01$)。非参数多元方差分析结果表明:东北组与西南组在整体性状上差异显著($P < 0.01$)。

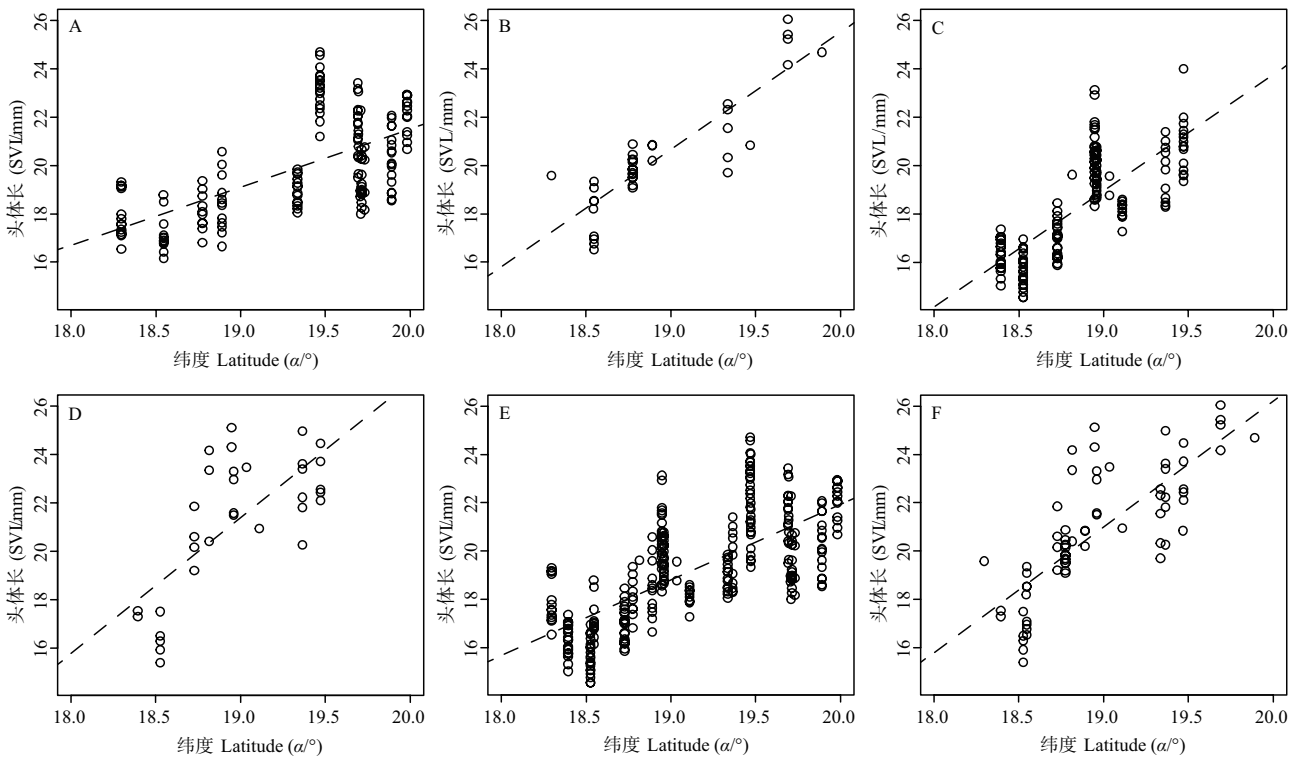


图2 海南岛饰纹姬蛙19个种群的雌雄头体长 (SVL) 变化情况及趋势。图中虚线为头体长随纬度变化的趋势线。A、B分别为6月份采集的雄性和雌性，C、D分别为8月份采集的雄性和雌性，E、F分别为所有的雄性和所有的雌性。

Fig. 2 Snout-vent length (SVL) variation and trend among 19 populations of *Microhyla fissipes* on Hainan Island. Dotted lines represent the estimated regression lines. A and B are males and females collected in June, 2016; C and D are males and females collected in August, 2016; E and F are all the males and all the females, respectively.

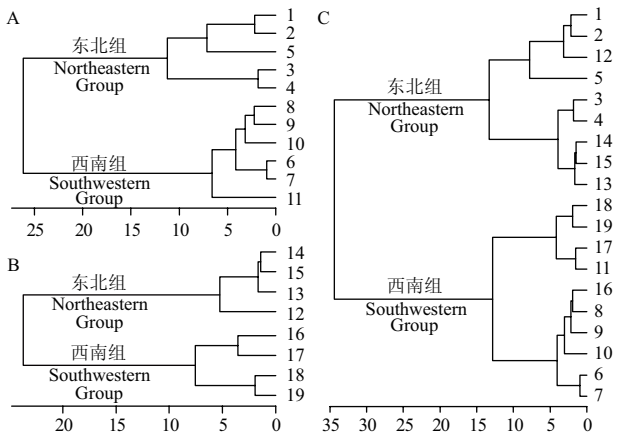


图3 海南岛饰纹姬蛙19个种群形态量度的聚类分析。A、B分别为6月和8月采集的雄性，C为所有雄性。

Fig. 3 Cluster analysis of 19 populations of *Microhyla fissipes* males on Hainan Island. A and B are males collected in June and August, 2016, respectively; C are all the males.

2.5 6月与8月采集种群的差异检验

根据前面的分析结果，按照以下分组分别进行Wilcoxon秩和检验和非参数多元方差分析，检验6月和8月采集种群间的差异：(1) 东北组中，6月采集的雄性和8月采集的雄性；(2) 东北组中，6月采集的雌性和8月采集的雌性；(3) 西南组中，6月采集的雄性和8月采集的雄性；(4) 西南组中，6月采集的雌性和8月采集的雌性。

Wilcoxon 秩和检验结果 (表5) 表明，东北组中，6月份采集的雄性，除前臂及手长、足长外，其余5项形态性状量度均显著大于8月份采集的雄性，而雌性之间差异不显著；西南组中，6月份采集的雄性各项形态性状量度特征均显著大于8月份采集的雄性，而雌性之间差异均不显著。

非参数多元方差分析结果 (表5) 表明，东北组及西南组的6月份采集的雄性和8月份采集的雄性在整体上均差异显著，而雌性之间的体型在整体上均差异不显著。

3 讨论

本文使用主成分分析及多元方差分析对形态性状量度进行分析，结果表明海南岛的饰纹姬蛙种群变异较大，东北组的7个形态性状量度特征均显著大于西南组 ($P < 0.05$)，头体长总体呈现由西南向东北随纬度增加而逐渐增大的趋势。

生活史理论认为食物可利用性和捕食压力是影响物种生活史特征的两个重要因素^[14]。低丰度的食物资源会降低生长速率，延迟个体发育成熟的时间，甚至导致成熟时体型减小^[15-17]，而较低的捕食压力则可能提高觅食频率，进而导致个体发育成熟所需时间和体型增加^[14, 18]。Wu等 (2006) 对舟山群岛泽蛙 (*Fejervarya multistriata*) 种群的研究结果表明岛屿上的泽蛙种群体型与种群密度显著正相关，并认为当种群密度较高时，大型个体在激烈的种内竞争中具有更大的优势^[19]。车秀芬等 (2014) 将海南岛的气候划分为2个温度带、3

表3 基于采样月份和性别划分的4组群体的主成分分析结果

Table 3 Summary of principal component analysis of four groups delineated based on sampling months and sex

群体 Group	雄性 Male (June)		雌性 Female (June)		雄性 Male (August)		8月雌性 Female (August)		所有雄性 All males		所有雌性 All females	
	PC1	PC2	PC1	PC2	PC1	PC2	PC1	PC2	PC1	PC2	PC1	PC2
标准差 Standard deviation	2.479	0.549	2.446	0.591	2.481	0.552	2.473	0.626	2.477	0.559	2.454	0.587
方差贡献率 Proportion of variance	0.878	0.043	0.855	0.050	0.880	0.044	0.873	0.056	0.877	0.045	0.860	0.049
载荷 Loading												
HL	-0.370	-0.495	-0.373	-0.493	-0.362	0.598	-0.378	0	-0.369	-0.407	-0.372	-0.591
HW	-0.370	-0.524	-0.388	-0.339	-0.378	0.121	-0.387	0	-0.375	-0.427	-0.385	-0.375
SVL	-0.392	0	-0.393	-0.195	-0.390	0	-0.392	-0.196	-0.391	-0.126	-0.392	-0.277
LAHL	-0.373	0.547	-0.373	0.359	-0.387	0	-0.384	-0.301	-0.378	0.514	-0.379	0.477
TL	-0.390	0.246	-0.374	0.120	-0.391	0	-0.388	-0.187	-0.390	0.254	-0.384	0.247
FL	-0.385	0.317	-0.396	0	-0.384	0	-0.382	-0.129	-0.380	0.464	-0.388	0.301
IOS	-0.364	0	-0.347	0.676	-0.352	-0.786	-0.331	0.901	-0.362	-0.304	-0.344	0.233

N: 个体数量; SVL: 头体长; HL: 头长; HW: 头宽; LAHL: 前臂及手长; TL: 胫长; FL: 足长; IOS: 眼间距。

N: Number of individuals; SVL: Snout-vent length; HL: Head length; HW: Head width; LAHL: Length of lower arm and hand; TL: Tibia length; FL: Foot length; IOS: Interorbital space.

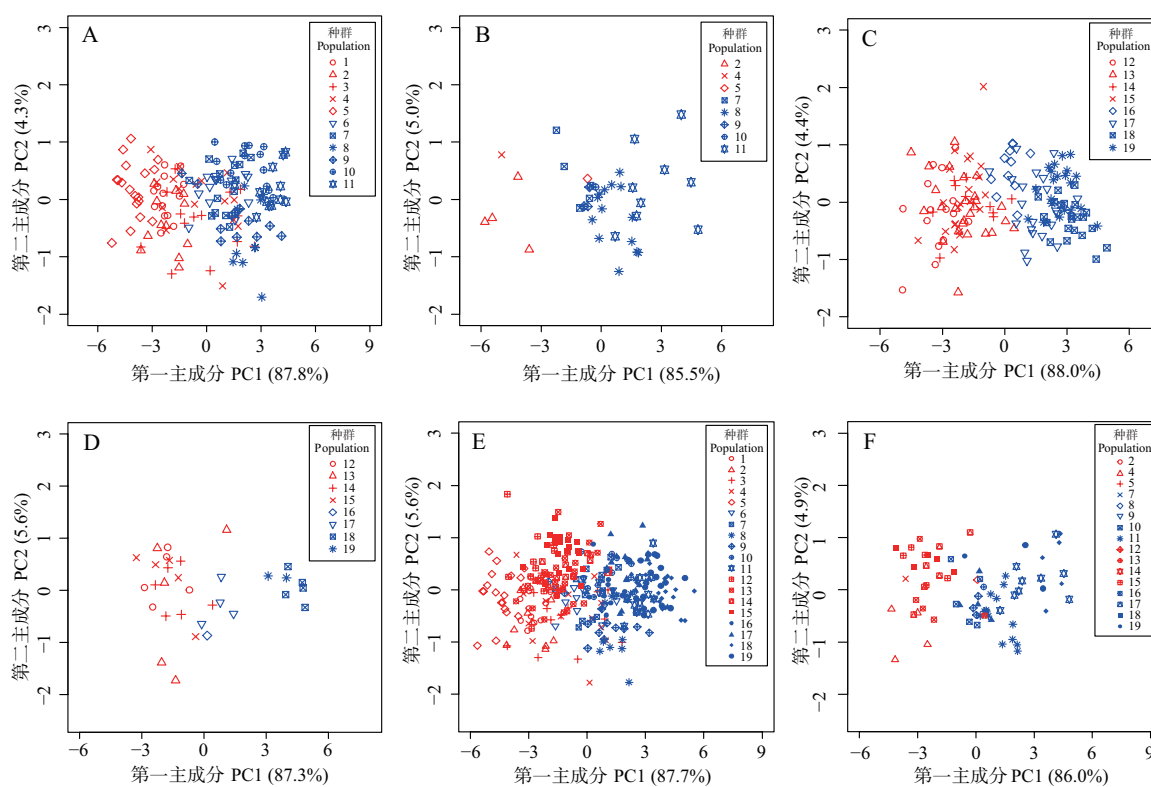


图4 海南岛饰纹姬蛙形态量的主成分分析。A、B分别为6月份采集的雄性和雌性，C、D分别为8月份采集的雄性和雌性，E、F分别为所有雄性和所有雌性。

Fig. 4 Principal component analysis for morphological characters of *Microhyla fissipes* on Hainan Island. A and B are males and females collected in June, 2016; C and D are males and females collected in August, 2016; E and F are all the males and all the females, respectively.

个干湿区和8个气候区^[20]，北方组主要为北方热带湿润区，南方组主要为中部山地边缘热带湿润区、中热带湿润区、中热带半湿润区和中热带半干旱区。海南岛的地理差异造成北方组和南方组生态位差异明显，湿润温和的气候使得北方地区的食物资源更加丰富，这有利于提高个体的生长速率和种群密度^[21-22]，增加了其具有较大体型的可能性。

儋州种群(种群编号5)在海南岛所有种群中体型最大，没有遵守头体长由西南向东北随纬度增加而逐渐增大的规律，其采样地点为儋州市南部陶江村一农户旁的池塘岸边，

同时采集到姬蛙属的粗皮姬蛙(*M. butleri*)和花姬蛙(*M. pulchra*)。可能的原因是儋州市地理位置较为特殊，往南约10 km即为松涛水库主库区。松涛水库是海南岛最大的水库，水库集雨面积达1 496 km²，年平均径流量达15亿m³，总库容达33.45亿m³^[23]，年平均降雨量为1 896.1 mm，其中5-10月降雨量占全年的80%以上，干湿季节明显^[24]。儋州种群恰好处于两个气候区的过渡地带，即北方热带湿润区和中部山地边缘热带湿润区^[20]，环境更加湿润适宜，食物资源相比其他地区更加丰富多样，这可能是促进该种群体型朝着更加大型化方向

表4 海南岛饰纹姬蛙东北组 (NE) 和西南组 (SW) 的形态性状量度差异显著性检验

Table 4 Significant tests of the morphological characters between the northeastern group (NE) and the southwestern group (SW)

群体 Group	雄性 Male (June)		月雌性 Female (June)		8月性 Male (August)		雌性 Female (August)		所有雄性 All males		所有雌性 All females	
	NE (N = 75) / SW (N = 77)		NE (N = 6) / SW (N = 32)		NE (N = 73) / SW (N = 76)		NE (N = 21) / SW (N = 12)		NE (N = 148) / SW (N = 153)		NE (N = 27) / SW (N = 44)	
	W	P	W	P	W	P	W	P	W	P	W	P
Wilcoxon秩和检验 Wilcoxon rank sum test												
HL	5424.0	0.000	192.0	0.004	5159.0	0.000	229.5	0.000	20659	0.000	1093	0.000
HW	5310.5	0.000	198.0	0.002	5361.0	0.000	245.5	0.000	20852	0.000	1155	0.000
SVL	5395.0	0.000	218.0	0.000	5527.5	0.000	243.0	0.000	21501	0.000	1187	0.000
LAHL	5062.0	0.000	222.0	0.000	5473.0	0.000	234.0	0.000	21164	0.000	1180	0.000
TL	5302.0	0.000	221.0	0.000	5468.0	0.000	247.0	0.000	21693	0.000	1208	0.000
FL	5223.5	0.000	215.0	0.000	5487.5	0.000	243.0	0.000	21518	0.000	1183	0.000
IOS	5183.5	0.000	200.5	0.001	5297.0	0.000	237.0	0.000	20314	0.000	1116.5	0.000
非参数多元方差分析 Nonparametric MANOVA	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
	186.8	0.001	38.1	0.001	414.3	0.001	58.8	0.001	435.16	0.001	101.26	0.001

N: 个体数量; SVL: 头体长; HL: 头长; HW: 头宽; LAHL: 前臂及手长; TL: 胫长; FL: 足长; IOS: 眼间距。

N: Number of individuals; SVL: Snout-vent length; HL: Head length; HW: Head width; LAHL: Length of lower arm and hand; TL: Tibia length; FL: Foot length; IOS: Interorbital space.

表5 海南岛饰纹姬蛙6月采集种群和8月采集种群的形态性状量度的差异显著性检验

Table 5 Significant tests of the morphological characters between populations collected in June and August

群体 Group	东北组 Northeastern group				西南组 Southwestern group			
	雄性 Male		雌性 Female		雄性 Male		雌性 Female	
	June (N = 75) / August (N = 73)	June (N = 7) / August (N = 21)	June (N = 7) / August (N = 21)	June (N = 7) / August (N = 21)	June (N = 77) / August (N = 76)	June (N = 32) / August (N = 12)	June (N = 32) / August (N = 12)	June (N = 32) / August (N = 12)
Wilcoxon秩和检验 Wilcoxon rank sum test								
HL	4222.5	0.000	94.5	0.277	4563.0	0.000	244.5	0.171
HW	4251.0	0.000	101.5	0.145	4661.5	0.000	250.0	0.130
SVL	4112.0	0.000	107.0	0.080	5153.0	0.000	256.0	0.094
LAHL	2945.0	0.427	47.0	0.168	4226.0	0.000	206.0	0.722
TL	3369.0	0.016	70.0	0.874	4796.0	0.000	243.5	0.179
FL	3206.5	0.072	53.0	0.289	3892.0	0.000	214.0	0.571
IOS	4090.5	0.000	70.5	0.894	4879.5	0.000	230.5	0.316
非参数多元方差分析 Nonparametric MANOVA	F	P	F	P	F	P	F	P
	18.5	0.001	1.6	0.196	66.5	0.001	2.9	0.089

N: 个体数量; SVL: 头体长; HL: 头长; HW: 头宽; LAHL: 前臂及手长; TL: 胫长; FL: 足长; IOS: 眼间距。

N: Number of individuals; SVL: Snout-vent length; HL: Head length; HW: Head width; LAHL: Length of lower arm and hand; TL: Tibia length; FL: Foot length; IOS: Interorbital space.

发展的生态因素. 而这些生态因素有待于进一步调查研究, 同时, 需要检测该种群在遗传上是否与其他种群存在明显的分化.

6月采集的雄性群体的体型显著大于8月采集的雄性群体的体型. 这是地理上的差异或者是季节上的差异, 仍有待于进一步的调查研究. 两栖动物具有终生生长的特性, 8月份采集的东南部雄性个体有可能是当年完成变态并初次参与繁殖, 其在种群中所占的比例增大, 采集到该种类型的概率较大, 因此8月份采集的雄性个体体型相对较小. Ma & Lu (2009) 对高山倭蛙 (*Nanorana parkeri*)^[25], Li等 (2010) 对沼水蛙 (*Hylarana guentheri*)^[26]及Özdemir等 (2012) 对北方雨蛙 (*Hyla arborea*)^[27]的骨龄学研究结果表明, 雄性的初次繁殖年龄比雌性早, 参与繁殖的雌性形态特征相对雄性来说比较稳定. 因此, 海南岛的饰纹姬蛙是否也存在这种两性生长速率上的差异非常值得研究.

综上所述, 海南岛的饰纹姬蛙种群的体型大体上符合由西南向东北随纬度增加逐渐变大的趋势. 岛上种群可明显分为东北组和西南组, 这种现象可能是由海南岛独特的南北生

态差异造成. 而儋州种群 (种群编号5) 较为独特, 可能与其所处的独特地理位置有关, 并提示有必要进一步开展该物种的系统学研究和谱系地理学研究, 进而更加全面地揭示这一广布物种的变异规律.

参考文献 [References]

- 1 史海涛. 海南岛两栖动物区系及地理区划[J]. 四川动物, 2002, 21 (3): 174-176 [Shi HT. The fauna and geographical division of amphibian in Hainan Island [J]. *Sichuan J Zool*, 2002, 21 (3): 174-176]
- 2 刘承钊, 胡淑琴, 费梁, 黄祝坚. 海南岛两栖动物调查报告[J]. 动物学报, 1973, 19 (4): 385-404 [Liu CZ, Hu SQ, Fei L, Huang ZJ. On collections of amphibians from Hainan Island [J]. *Acta Zool Sin*, 1973, 19 (4): 385-404]
- 3 曾昭璇, 曾宪中. 海南岛自然地理[M]. 北京: 科学出版社, 1989 [Zeng ZX, Zeng XZ. Natural Geography of Hainan Island [M]. Beijing: Science Press, 1989]
- 4 张荣祖. 中国动物地理[M]. 北京: 科学出版社, 1999 [Zhang RZ. Zoogeography of China [M]. Beijing: Science Press, 1999]
- 5 Smith AM. The Fauna of British India, Including Ceylon and Burma [M].

- London: Taylor and Francis, Red Lion Court, 1931
- 6 Whittaker RJ, Ladle RJ, Araújo MB, Fernández-Palacios JM, Delgado JD, Arévalo JR. The island immaturity-speciation pulse model of island evolution: an alternative to the “diversity begets diversity” model [J]. *Ecography*, 2007, **30** (3): 321-327
 - 7 费梁, 叶昌媛, 江建平. 中国两栖爬行动物及其彩色图谱[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2012 [Fei L, Ye CY, Jiang JP. Colored Atlas of Chinese Amphibians and Their Distributions [M]. Chengdu: Sichuan Publishing House of Science and Technology, 2012]
 - 8 Yuan ZY, Suwannapoom C, Yan F, Poyarkov NA, Nguyen SN, Chen HM, Chomdej S, Murph RW, Che J. Red River barrier and pleistocene climatic fluctuations shaped the genetic structure of *Microhyla fissipes* complex (Anura: Microhylidae) in southern China and Indochina [J]. *Curr Zool*, 2016, **62**: 531-543
 - 9 费梁, 叶昌媛, 黄永昭, 江建平, 谢峰. 中国两栖动物检索及图解[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2005 [Fei L, Ye CY, Huang YZ, Jiang JP, Xie F. An Illustrated Key to Chinese Amphibians [M]. Chengdu: Sichuan Publishing House of Science and Technology, 2005]
 - 10 Watters JL, Cummings ST, Flanagan RL, Siler CD. Review of morphometric measurements used in anuran species descriptions and recommendations for a standardized approach [J]. *Zootaxa*, 2016, **4072** (4): 477-495
 - 11 Schalk CM, Montana CG, Springer L. Morphological diversity and community organization of desert anurans [J]. *J Arid Environ*, 2015, **122**: 132-140
 - 12 Jr Ward JH. Hierarchical grouping to optimize an objective function [J]. *J Am Stat Assoc*, 1963, **58** (301): 236-244
 - 13 R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing [M]. Austria: R Foundation for Statistical Computing, Vienna, 2016
 - 14 Stearns SC. The Evolution of Life Histories (Vol. 249) [M]. Oxford: Oxford University Press, 1992
 - 15 Wilbur HM. Complex life cycles [J]. *Annu Rev Ecol Syst*, 1980, **11** (1): 67-93
 - 16 Baker RL. Effects of food abundance on growth, survival, and use of space by nymphs of *Coenagrion resolutum* (Zygoptera) [J]. *Oikos*, 1982, **38**: 47-51
 - 17 Anholt BR. Measuring selection on a population of damselflies with a manipulated phenotype [J]. *Evolution*, 1991, **45**: 1091-1106
 - 18 Ball SL, Baker RL. Predator-induced life history changes: antipredator behavior costs or facultative life history shifts? [J] *Ecology*, 1996, **77**: 1116-1124
 - 19 Wu Z, Li Y, Murray BR. Insular shifts in body size of rice frogs in the Zhoushan Archipelago, China [J]. *J Anim Ecol*, 2006, **75** (5): 1071-1080
 - 20 车秀芬, 张京红, 黄海静, 刘少军, 张明洁. 海南岛气候区划研究[J]. 热带农业科学, 2014, **34** (6): 60-65 [Che XF, Zhang JH, Huang HJ, Liu SJ, Zhang MJ. Climate regionalization in Hainan Island [J]. *Chin J Trop Agric*, 2014, **34** (6): 60-65]
 - 21 Adler GH, Levins R. The island syndrome in rodent populations [J]. *Quart Rev Biol*, 1994, **69** (4): 473-490
 - 22 Palkovacs EP. Explaining adaptive shifts in body size on islands: a life history approach [J]. *Oikos*, 2003, **103** (1): 37-44
 - 23 邢李桃. 重要水源地松涛水库流域管理问题的探讨[J]. 水文, 2009, **29** (S1): 22-23 [Xing LT. Discussion on watershed management of Songtao Reservoir as important water source [J]. *J China Hydrol*, 2009, **29** (S1): 22-23]
 - 24 曾红娟, 杨胜天, 王凌, 郑东海, 张翠萍, 王雪蕾, 高云飞. 海南省松涛水库流域土壤侵蚀及控制方案[J]. 地理研究, 2009, **28** (5): 1197-1207 [Zeng HJ, Yang ST, Wang L, Zheng DH, Zhang CP, Wang XL, Gao YF. The situation and control scheme of soil erosion in Songtao Reservoir Basin of Hainan Island [J]. *Geogr Res*, 2009, **28** (5): 1197-1207]
 - 25 Ma X, Lu X. Sexual size dimorphism in relation to age and growth based on skeletochronological analysis in a Tibetan frog [J]. *Amphibia-Reptilia*, 2009, **30** (3): 351-359
 - 26 Li C, Liao WB, Yang ZS, Zhou CQ. A skeletochronological estimation of age structure in a population of the Guenther's frog, *Hylarana guentheri*, from western China [J]. *Acta Herpetol*, 2010, **5** (1): 1-11
 - 27 Özdemir N, Altunışık A, Ergül T, Gül S, Tosunoğlu M, Cadeddu G, Giacomini C. Variation in body size and age structure among three Turkish populations of the treefrog *Hyla arborea* [J]. *Amphibia-Reptilia*, 2012, **33** (1): 25-35