

# 饰纹姬蛙的两性异形及雌性繁殖能力

姚冲学 王智红 王方 蒋桂莲 吕婷 汤永晶 陈明勇\*

云南大学生态学与环境学院 昆明 650091

**摘要:** 用采自云南省西双版纳傣族自治州勐腊县的 53 只 (28 ♂♂, 25 ♀♀) 成体饰纹姬蛙 (*Microhyla fissipes*), 测量全部个体的体长、头长、头宽、体重等 16 项形态特征和雌体怀卵量数据, 通过独立样本 *t* 检验和协方差检验该物种所有形态特征的两性差异, 进而采用线性回归方法分析雌雄成体局部形态特征与体长的相关性, 以及雌性成体怀卵量与局部形态特征的相关性。结果表明, 饰纹姬蛙平均体长雌性为 (25.08 ± 0.40) mm, 雄性为 (24.78 ± 0.31) mm, 体长和体重在雌雄两性间差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 两性个体大小基本同形。该蛙的所有局部形态特征与体长均存在极显著正相关性 ( $P < 0.01$ ); 雌雄两性间只在头宽和前臂及手长这两个形态特征上存在显著差异 ( $P < 0.05$ ), 且随体长的增大其生长速率也存在显著差异。雌性成体的怀卵量与体长、体重、眼间距、前臂宽、胫宽和跗足长均存在显著正相关性 ( $P < 0.05$ ), 且与体重存在极显著正相关性 ( $P < 0.01$ )。分析认为, 饰纹姬蛙成体两性异形主要表现在头宽和前臂及手长, 与生存竞争中对食物的获取能力及雄性争夺交配权的成功率有关; 而雌性个体可以通过增加体长和体重, 相应地增加腹腔容量来提高繁殖输出, 该结果符合生育力选择假说。

**关键词:** 饰纹姬蛙; 两性异形; 繁殖能力; 怀卵量

**中图分类号:** Q958 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2020) 03-317-06

## Sexual Dimorphism and Female Reproductive Ability of *Microhyla fissipes*

YAO Chong-Xue WANG Zhi-Hong WANG Fang JIANG Gui-Lian  
LÜ Ting TANG Yong-Jing CHEN Ming-Yong\*

School of Ecology and Environmental Science, Yunnan University, Kunming 650091, China

**Abstract:** After 53 (28 ♂♂, 25 ♀♀) adults of the Ornamented Pygmy Frog (*Microhyla fissipes*) had been collected from Mengla County of Xishuangbanna Dai Autonomous Prefecture in Yunnan Province, China, 16 morphological characteristics of them, such as body length, head length, head width, body mass and female's brood amount had been measured. With the independent sample *t* test and covariance method, sexual differences of the all morphological characteristics of this frog have been tested, and the correlation between local morphological characteristics with body length of male and female adults, also the brood amount with

**基金项目** 第二次全国重点保护野生动植物资源调查项目 (No. 2130211);

\* 通讯作者, E-mail: mychen1108@ynu.edu.cn;

**第一作者介绍** 姚冲学, 男, 硕士研究生; 研究方向: 动物生态学; E-mail: 1690249310@qq.com。

收稿日期: 2019-09-11, 修回日期: 2020-04-03 DOI: 10.13859/j.cjz.202003005

the local morphological characteristics of female adults have been also analyzed by the linear regression analysis method. The results showed that, the average body length of female *M. fissipes* was  $25.08 \pm 0.40$  mm, and the male's was  $24.78 \pm 0.31$  mm, there was no significant difference in body length and body mass between males and females ( $P > 0.05$ , Table 1), the size of male and female individuals was basically identical. All local morphological features were extremely significant positively correlated with body length ( $P < 0.01$ , Table 1). Length of lower arm and hand, and hand length were significantly different between males and females ( $P < 0.05$ , Table 1), there were also significant differences with the growth rate of body length. Separately, the brood amount was positively correlated with body length, body mass, inter-orbital space, diameter of lower arm, tibia-width, length of foot and tarsus ( $P < 0.05$ , Table 2), and extremely significant positive correlation with body mass ( $P < 0.01$ , Table 2). Our analyses suggest that, the sexual dimorphism of *M. fissipes* adults between female and male were mainly manifested in the head width, forearm length and hand length, which possibly related to the ability to obtain food for surviving, and the success rate of males in competing for mating rights. However, individuals of female may increase their reproductive output by increasing their body length and body weight correspondingly increasing abdominal volume, which was consistent with the fecundity selection hypothesis.

**Key words:** *Microhyla fissipes*; Sexual dimorphism; Reproductive ability; Brood amount

性选择是一种直接与雌性增加子代输出或雄性增加交配次数的繁殖利益有关的自然选择压力,因而是导致不少动物两性异形的重要原因(郑荣泉等 2002)。怀卵量的多少是直观反映物种繁殖能力大小的重要参数之一(Cummins et al. 1995)。两栖类在形态、栖息地和生活史上具有丰富的多样性,两性异形在两栖类物种中亦较明显(杨大同 1991)。对特定两栖类物种进行雌雄两性形态差异分析,有助于了解该物种两性异形产生的机制,以及该物种不同个体的繁殖对策、繁殖投入程度和进化选择压力(胡一中等 2015)。在两栖类物种中,怀卵量差异很大,如花狭口蛙(*Kaloula pulchra*)雌体怀卵达 1 500 ~ 3 000 粒左右(莫灿坤等 2010),凹耳蛙(*Odorrana tormota*)却只有 657 粒左右(袁成等 2019)。怀卵量除了受环境因子的影响外,最主要还是与雌性自身的体型和体重等有关(Cummins et al. 1995)。

饰纹姬蛙(*Microhyla fissipes*)属无尾目(Anura)姬蛙科(Microhylidae)姬蛙属,背棕灰色或泥色,有对称成套的深棕色“^”形花纹;雌蛙咽喉部深灰色,雄蛙咽喉部深黑色,

胸、腹部及四肢腹面白色(费梁等 2009, 2012)。该蛙常栖息于静水水域及附近,尤喜在稻田、沼泽、池塘等环境的草丛中活动(杨大同等 2008)。两性异形和雌性繁殖能力是繁殖生物学中的重要组成部分,文献查询未见关于饰纹姬蛙两性异形以及雌体繁殖能力的研究报道,本文对此进行了研究。

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验材料和方法

2019 年 4 月,在云南省西双版纳傣族自治州勐腊县采集到 53 只饰纹姬蛙成体(28 ♂♂, 25 ♀♀),全部带回实验室处死后冰冻保存。用英衡电子天平(精度 0.01 g)称量体重(body mass, BM);用上海恒量电子数显游标卡尺(精确度为 0.01 mm)测量以下 15 项外部形态特征:体长(body length, BL, 自吻端至体后端长度)、头长(head length, HL, 自吻端至上下颌关节后缘长度)、头宽(head width, HW, 头两侧之间的最大距离长度)、吻长(snout length, SL, 自吻端至眼前角长度)、鼻间距(internasal space, INS, 左右鼻孔内缘之间的距离)、眼间

距 (interorbital space, IOS, 左右上眼睑内侧缘之间最窄距离)、上眼睑宽 (width of upper eyelid, WUE, 上眼睑的最大宽度)、眼径 (diameter of eye, DE, 与体轴平行的眼的直径)、前臂及手长 (length of lower arm and hand, LLAH, 自肘关节至第三指末端的长度)、前臂宽 (diameter of lower arm, DLA, 前臂最粗的直径)、腿或后肢全长 (leg length, LL, 自体后端正中部位至第四趾末端长度)、胫长 (tibia length, TL, 胫部两端之间的长度)、胫宽 (tibia width, TW, 胫部最粗的直径)、跖足长 (length of foot and tarsus, LFT, 自胫跖关节至第四趾末端的长度)、足长 (foot length, FL, 自内蹠突的近端至第四趾末端的长度) (费梁 1999)。

雌体怀卵量 (brood amount, BA) 的测定: 取出雌体整个卵巢称重 ( $M$ ), 随即取一部分卵巢称重 ( $M_1$ ), 计数其中卵数量 ( $N_1$ ), 怀卵雌体的卵总数 ( $N$ ) 通过公式  $N = N_1 M / M_1$  计算。每个卵巢重复测定 3 次, 取平均值作为雌体怀卵量 (郑荣泉等 2002)。

## 1.2 数据处理方法

采用 SPSS 23.0 和 SigmaPlot 12.5 软件进行数据的统计分析和制图。在进行差异性检验分析前, 先用 Kolmogorov-Smirnov 和 Bartlett 分别检测所有数据的正态性和方差同质性。用独立样本  $t$  检验比较雌雄两性体长和体重的差异显著性。用线性回归分析局部形态特征与体长的相关性, 以及雌性怀卵量与局部形态特征的相关性。对与体长具有相关性的局部形态特征, 进一步以体长为协变量进行单因素协方差分析 (ANCOVA), 比较雌雄两性这些局部形态特征的两性差异。对两性差异明显且与体长显著相关的局部形态特征, 将它们与体长作一元线性回归分析。当体长及怀卵量与体重、眼间距、前臂宽、胫宽和跖足长这 5 个形态特征存在相关性, 且数据符合正态分布时, 则以体长为控制变量进行怀卵量与体重、眼间距、前臂宽、胫宽和跖足长的偏相关分析。描述统计值用平均值  $\pm$  标准误 (Mean  $\pm$  SE) 表示, 显著性水

平设置为  $\alpha = 0.05$ , 极显著水平设置为  $\alpha = 0.01$ 。

## 2 结果

### 2.1 形态特征的两性异形

本次研究中, 怀卵饰纹姬蛙最小雌性个体其体长为 21.44 mm, 体重为 0.70 g, 故将体长大于 21.44 mm 者视为性成熟个体 (不考虑年龄因素)。雄性平均体长为 (24.78  $\pm$  0.31) mm (21.51 ~ 27.27 mm), 雌性平均体长为 (25.08  $\pm$  0.40) mm (21.44 ~ 28.44 mm)。独立样本  $t$  检验结果显示, 两性间的体长和体重差异均不显著 ( $P > 0.05$ ), 雌雄两性个体大小基本同形 (表 1)。

线性回归结果显示, 饰纹姬蛙的头长 ( $r^2 = 0.605$ ,  $F_{1,51} = 78.252$ ,  $P < 0.01$ )、头宽 ( $r^2 = 0.328$ ,  $F_{1,51} = 24.928$ ,  $P < 0.01$ )、吻长 ( $r^2 = 0.135$ ,  $F_{1,51} = 7.929$ ,  $P < 0.01$ )、鼻间距 ( $r^2 = 0.243$ ,  $F_{1,51} = 16.407$ ,  $P < 0.01$ )、眼间距 ( $r^2 = 0.319$ ,  $F_{1,51} = 23.897$ ,  $P < 0.01$ )、上眼睑宽 ( $r^2 = 0.204$ ,  $F_{1,51} = 13.107$ ,  $P < 0.01$ )、眼径 ( $r^2 = 0.158$ ,  $F_{1,51} = 9.558$ ,  $P < 0.01$ )、前臂及手长 ( $r^2 = 0.511$ ,  $F_{1,51} = 53.371$ ,  $P < 0.01$ )、前臂宽 ( $r^2 = 0.409$ ,  $F_{1,51} = 35.283$ ,  $P < 0.01$ )、腿或后肢全长 ( $r^2 = 0.570$ ,  $F_{1,51} = 67.557$ ,  $P < 0.01$ )、胫长 ( $r^2 = 0.497$ ,  $F_{1,51} = 50.435$ ,  $P < 0.01$ )、胫宽 ( $r^2 = 0.339$ ,  $F_{1,51} = 26.188$ ,  $P < 0.01$ )、跖足长 ( $r^2 = 0.473$ ,  $F_{1,51} = 45.843$ ,  $P < 0.01$ ) 和足长 ( $r^2 = 0.429$ ,  $F_{1,51} = 38.372$ ,  $P < 0.01$ ) 这 14 个形态特征与体长均存在极显著正相关性。协方差分析结果表明, 头宽 ( $F_{1,50} = 5.924$ ,  $P < 0.05$ ) 和前臂及手长 ( $F_{1,50} = 6.653$ ,  $P < 0.05$ ) 在雌雄两性之间存在显著差异, 其他局部形态特征均无两性差异 ( $P > 0.05$ , 表 1)。

将两性间存在差异的头宽、前臂及手长这两个局部形态特征与体长进行一元线性回归分析, 回归斜率显示, 饰纹姬蛙雌、雄两性的头宽随体长的增长速率差异不大 (图 1), 前臂及手长随体长的增长速率差异较明显, 雌性较雄性大 (图 1)。

表 1 成体饰纹姬蛙雌雄两性的形态特征比较

Table 1 Comparison of morphological characteristics between males and females of *Microhyla fissipes* adults

形态特征 Morphological characteristics	平均值 ± 标准误 (范围) Mean ± SE (Range)		结果 Results
	雄性 Male (n = 28)	雌性 Female (n = 25)	
体长 Body length (mm)	24.78 ± 0.31 (21.51 ~ 27.27)	25.08 ± 0.40 (21.44 ~ 28.44)	$t = 0.590, df = 51, P > 0.05$
体重 Body mass (g)	1.28 ± 0.04 (0.82 ~ 1.75)	1.43 ± 0.07 (0.70 ~ 2.14)	$t = 1.944, df = 51, P > 0.05$
头长 Head length (mm)	7.06 ± 0.11 (6.08 ~ 8.27)	7.11 ± 0.14 (5.78 ~ 8.25)	$F_{1,50} = 0.048, P > 0.05$
头宽 Head width (mm)	6.27 ± 0.10 (5.19 ~ 7.14)	6.00 ± 0.13 (4.99 ~ 7.06)	$F_{1,50} = 5.924, P < 0.05$
吻长 Snout length (mm)	3.11 ± 0.06 (2.48 ~ 3.71)	3.00 ± 0.07 (2.35 ~ 3.68)	$F_{1,50} = 2.429, P > 0.05$
鼻间距 Internasal space (mm)	1.81 ± 0.04 (1.52 ~ 2.24)	1.87 ± 0.04 (1.52 ~ 2.27)	$F_{1,50} = 1.038, P > 0.05$
眼间距 Interorbital space (mm)	2.55 ± 0.03 (2.24 ~ 2.90)	2.56 ± 0.06 (1.77 ~ 3.09)	$F_{1,50} = 0.017, P > 0.05$
上眼睑宽 Width of upper eyelid (mm)	1.55 ± 0.04 (1.17 ~ 1.99)	1.54 ± 0.03 (1.27 ~ 1.88)	$F_{1,50} = 0.313, P > 0.05$
眼径 Diameter of eye (mm)	2.41 ± 0.04 (1.90 ~ 2.89)	2.34 ± 0.04 (2.03 ~ 2.76)	$F_{1,50} = 2.524, P > 0.05$
前臂及手长 Length of lower arm and hand (mm)	11.35 ± 0.10 (9.01 ~ 11.43)	10.08 ± 0.18 (8.37 ~ 12.09)	$F_{1,50} = 6.653, P < 0.05$
前臂宽 Diameter of lower arm (mm)	1.56 ± 0.03 (1.32 ~ 1.96)	1.63 ± 0.04 (1.34 ~ 2.04)	$F_{1,50} = 1.734, P > 0.05$
腿或后肢全长 Leg length (mm)	38.43 ± 0.40 (34.64 ~ 42.93)	38.81 ± 0.55 (33.39 ~ 45.61)	$F_{1,50} = 0.036, P > 0.05$
胫长 Tibia length (mm)	10.89 ± 0.20 (7.27 ~ 12.42)	11.10 ± 0.19 (9.75 ~ 12.88)	$F_{1,50} = 0.194, P > 0.05$
胫宽 Tibia width (mm)	3.32 ± 0.05 (2.81 ~ 3.79)	3.45 ± 0.09 (2.39 ~ 4.18)	$F_{1,50} = 1.542, P > 0.05$
跖足长 Length of foot and tarsus (mm)	16.38 ± 0.23 (14.30 ~ 18.60)	16.81 ± 0.30 (13.83 ~ 19.16)	$F_{1,50} = 1.130, P > 0.05$
足长 Foot length (mm)	11.98 ± 0.16 (10.07 ~ 13.40)	12.30 ± 0.19 (10.44 ~ 14.55)	$F_{1,50} = 1.353, P > 0.05$

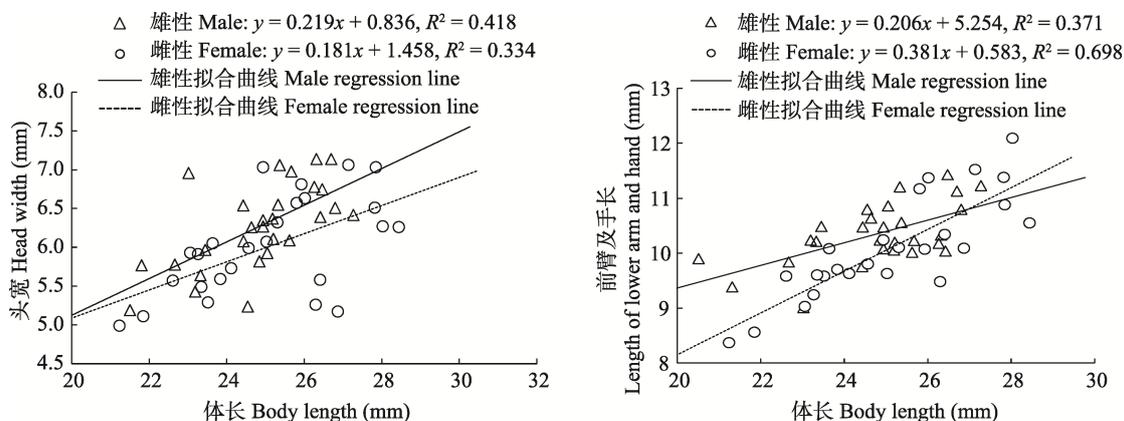


图 1 饰纹姬蛙局部形态特征与体长的关系

Fig. 1 The relationship between local morphological characteristics and body length of *Microhyla fissipes*

### 2.2 雌性繁殖能力

将饰纹姬蛙的怀卵量作为雌性繁殖能力最直观的考察指标, 怀卵量测定结果显示, 25 只雌性成蛙的平均怀卵量为 (435.12 ± 54.39) 粒。线性回归分析结果显示, 雌性怀卵量与体长 ( $F = 6.671, P < 0.05$ )、体重 ( $F = 22.899, P <$

0.01)、眼间距 ( $F = 5.640, P < 0.05$ )、前臂宽 ( $F = 6.400, P < 0.05$ )、胫宽 ( $F = 4.948, P < 0.05$ ) 和跖足长 ( $F = 4.581, P < 0.05$ ) 存在显著正相关性, 而与头长、头宽、吻长、鼻间距、上眼睑宽、眼径、前臂及手长、腿或后肢全长、胫长和足长这 10 个形态特征均不存在相关性

( $P > 0.05$ )。以雌性体长作为控制变量的偏相关分析结果显示, 雌性怀卵量只与体重 ( $F = 0.726, P < 0.01$ ) 存在正相关性, 而与眼间距、前臂宽、胫宽和跗足长均不存在相关性 ( $P > 0.05$ , 表 2)。

### 3 讨论

两栖动物成体两性异形有雌性大于雄性、雄性大于雌性、两性个体大小基本同形但局部形态特征在两性之间差异显著这三种模式 (Powell 1985)。大部分两栖类属于第一种模式, 该模式有利于雌性提高繁殖输出, 如黑斑侧褶蛙 (*Pelophylax nigromaculatus*) (郑荣泉等 2002) 和华南湍蛙 (*Amolops ricketti*) (胡一中等 2015) 等物种。只有少数种类属于第二、第三种模式, 这两种模式与雄体争夺配偶、提高繁殖成功率有关 (Darwin 1871)。本研究结果表明, 云南省西双版纳勐腊地区的成体饰纹姬

蛙雌、雄两性的体长和体重不存在差异性, 两性个体大小基本相同, 两性异形主要表现在头宽、前臂及手长这两个局部形态特征上, 且雄性平均值均比雌性大, 属于上述两栖动物成体两性异形的第三种模式。

我们在野外观察发现, 饰纹姬蛙成体中具有较长前臂及手长的个体, 其攀爬、寻找食物的能力也较强。而头部较宽的个体, 可以获取更大食物, 如体型更大的昆虫等。分析认为, 为了满足繁殖过程中能量的高消耗, 因而发展出较大的头宽, 以利于获取更多、更好的食物资源, 这与 Schoener 等 (1982) 对巴哈马弹簧蜥 (*Leiocephalus carinatus*) 的研究结论相似。因此, 头部较大、前臂及手长较长的个体, 能够摄取更大、更好的食物, 在资源竞争, 尤其是食物竞争中具有更大的优势。对饰纹姬蛙野外的繁殖行为观察中我们还发现, 繁殖期抱对时, 雄蛙前臂抱于雌性的腋部, 这与其他许多

表 2 饰纹姬蛙雌性成体怀卵量与形态特征的线性回归和偏相关分析结果

Table 2 The results of linear regression and partial correlation analysis on the brood amount and morphological characteristics of *Microhyla fissipes* female adults

形态特征 Morphological characteristics	线性回归分析 Linear regression analysis			偏相关性分析 Partial correlation analysis
体长 Body length (mm)	$r^2 = 0.212$	$F = 6.671$	$P > 0.05$	
体重 Body mass (g)	$r^2 = 0.511$	$F = 25.899$	$P < 0.01$	$F = 0.726, df = 22, P < 0.01$
头长 Head length (mm)	$r^2 = 0.148$	$F = 4.004$	$P > 0.05$	
头宽 Head width (mm)	$r^2 = 0.138$	$F = 3.683$	$P > 0.05$	
吻长 Snout length (mm)	$r^2 = 0.005$	$F = 0.121$	$P > 0.05$	
鼻间距 Internasal space (mm)	$r^2 = 0.038$	$F = 0.914$	$P > 0.05$	
眼间距 Interorbital space (mm)	$r^2 = 0.197$	$F = 5.640$	$P < 0.05$	$F = 0.222, df = 22, P > 0.05$
上眼睑宽 Width of upper eyelid (mm)	$r^2 = 0.055$	$F = 1.348$	$P > 0.05$	
眼径 Diameter of eye (mm)	$r^2 = 0.056$	$F = 1.357$	$P > 0.05$	
前臂及手长 Length of lower arm and hand (mm)	$r^2 = 0.042$	$F = 1.017$	$P > 0.05$	
前臂宽 Diameter of lower arm (mm)	$r^2 = 0.218$	$F = 6.400$	$P < 0.05$	$F = 0.205, df = 22, P > 0.05$
腿或后肢全长 Leg length (mm)	$r^2 = 0.049$	$F = 1.180$	$P > 0.05$	
胫长 Tibia length (mm)	$r^2 = 0.138$	$F = 3.679$	$P > 0.05$	
胫宽 Tibia width (mm)	$r^2 = 0.177$	$F = 4.948$	$P < 0.05$	$F = 0.125, df = 22, P > 0.05$
跗足长 Length of foot and tarsus (mm)	$r^2 = 0.166$	$F = 4.581$	$P < 0.05$	$F = 0.041, df = 22, P > 0.05$
足长 Foot length (mm)	$r^2 = 0.054$	$F = 1.301$	$P > 0.05$	

两栖动物物种中雄蛙抱于雌体的下腹部有明显不同。分析认为, 具有较长前臂及手长的饰纹姬蛙雄性个体在争夺配偶的竞争中具有更大的优势, 相对于前臂及手长较小的雄性个体, 它们能更快、更有力地抱住雌性, 并能在随后的抱对过程中不会从雌性背部滑落, 增加了抱对及交配的成功率。因此, 雄蛙的前臂及手长这一局部特征在配偶竞争及交配繁殖中具有重要意义。

生育力选择假说认为, 如果生育力随雌性体型的增大而增加, 雌性向较大体型方向进化有利于提高繁殖输出并强化其繁殖成功率 (Woolbright 1983, Olsson et al. 2002)。与雄性不同的是, 雌性需要更大的腹腔以增大怀卵量, 因而个体大的雌性将具有更大的生育力和更多的繁殖输出 (Shine 1979)。国内学者对虎纹蛙 (*Hoplobatrachus chinensis*) (林植华等 2005)、多疣狭口蛙 (*Kaloula verrucosa*) (贺佳飞等 2006)、海陆蛙 (*Fejervarya cancrivora*) (李春瑜等 2013) 等的研究也证实了雌体可通过增大个体大小以增加腹腔怀卵量的策略来提高繁殖适合度。根据本次偏相关分析结果, 饰纹姬蛙的雌性怀卵量主要与其体长和体重呈正相关性, 表明雌体可以通过增加自身个体大小并相应地增加腹腔容量, 在繁殖过程中, 储存更多的能量并产出更多的卵来提高繁殖输出, 该结果符合生育力选择假说。

## 参 考 文 献

- Cummins C P, Swan M J S. 1995. Variation in reproductive characteristics of the stream frog *Colostethus trinitatis* on the island of Trinidad. *Journal of Tropical Ecology*, 11(4): 603–618.
- Darwin C. 1871. *The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex*. London: John Murray, 1–10.
- Olsson M, Shine R, Wapstra E, et al. 2002. Sexual dimorphism in lizard body shape: the roles of sexual selection and fecundity selection. *Evolution*, 56(7): 1538–1542.
- Powell G L, Russell A P. 1985. Growth and sexual size dimorphism in Alberta populations of the eastern short-horned lizard, *Phrynosoma douglassi brevirostre*. *Canadian Journal of Zoology*, 63(1): 139–154.
- Schoener T W, Slade J B, Stinson C H. 1982. Diet and sexual dimorphism in the very catholic lizard genus, *Leiocephalus* of the Bahamas. *Oecologia*, 53(2): 160–169.
- Shine R. 1979. Sexual selection and sexual dimorphism in the amphibia. *Copeia*, 1979(2): 297–306.
- Woolbright L L. 1983. Sexual selection and size dimorphism in anuran amphibia. *American Naturalist*, 121(1): 110–119.
- 费梁. 1999. 中国两栖动物图鉴. 郑州: 河南科学技术出版社, 7–23.
- 费梁, 胡淑琴, 叶昌媛, 等. 2009. 中国动物志: 两栖纲 中卷: 无尾目. 北京: 科学出版社.
- 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.
- 贺佳飞, 周伟, 李明会, 等. 2006. 多疣狭口蛙的两性异形. *中南林业科技大学学报*, 26(1): 82–86.
- 胡一中, 代亚如, 程岩岩, 等. 2015. 华南湍蛙的两性异形. *浙江师范大学学报: 自然科学版*, 38(1): 23–27.
- 李春瑜, 洪美玲, 王力军, 等. 2013. 海陆蛙的两性异形和雌性繁殖能力. *动物学杂志*, 48(1): 16–21.
- 林植华, 计翔. 2005. 浙江丽水虎纹蛙形态特征的两性异形和食性. *动物学研究*, 26(3): 255–262.
- 莫灿坤, 徐大德, 江波. 2010. 花狭口蛙两性异形及其繁殖习性. *肇庆学院学报*, 31(5): 33–38.
- 杨大同. 1991. 云南两栖类志. 北京: 中国林业出版社, 7–9.
- 杨大同, 饶定齐. 2008. 云南两栖爬行动物. 昆明: 云南科技出版社, 126–127.
- 袁成, 王生, 刘妹文, 等. 2019. 雌性凹耳蛙生育力与体型参数间相关性及其配对模式. *动物学杂志*, 54(1): 30–36.
- 郑荣泉, 杜卫国, 寿鹿. 2002. 黑斑侧褶蛙的两性异形和雌性繁殖能力. *动物学杂志*, 37(4): 14–18.