

四明山脉溪流区水产经济动物棘胸蛙(*Paa spinosa*) 同生群两性亲体间的形质差异*

杨程¹ 富裕¹ 朱卫东^{1,2} 申屠基康^{1,3} 斯烈钢^{1,3} 王志铮^{1①}

(1. 浙江海洋学院 舟山 316022; 2. 余姚市水产技术推广中心 余姚 315400; 3. 宁波市海洋与渔业研究院 宁波 315012)

摘要 随机选取养殖于四明山脉溪流区的棘胸蛙 3 年龄同生群人工养成群体中的雌、雄亲体各 84 只作为研究材料, 采用聚类分析、主成分分析和判别分析方法研究了棘胸蛙同生群两性亲体间的形质差异。结果表明: (1) 在所涉 20 项生物学测定指标和 25 项形质评价指标中, 两性亲体间具显著差异的分别为 17 项和 16 项, 两者基于形质评价指标均值计算所得的欧氏距离为 0.305 ($P < 0.01$); (2) 经主成分分析, 提取到的 5 个特征值均大于 1 的主成分, 累计贡献率达 80.841%, 其中第一主成分可归为与脏器质量配置相关的能量代谢因子, 第二主成分可归为以头宽和吻长为代表的与口腔空间大小有关的食物吞咽因子, 后三个主成分可归为以足肢比和眼间距为代表的与寻食、跳跃和抱食能力相关的捕食功能因子; (3) 采用逐步判别法, 以判别贡献率较大的 L_1 (前足长/前肢长)、 L_5 (吻长/肩宽)、 L_7 (眼间距/头宽)、 W_2 (胃质量/心质量)、 W_4 (肺质量/心质量)、 W_6 (性腺质量/心质量) 为自变量, 所建 Fisher 分类函数方程组可较清晰地地区分棘胸蛙两性亲体, 雌、雄亲体判别准确率 P_1 、 P_2 分别为 84.52%、83.53% 和 83.33%、84.34%, 综合判别率为 83.93%。

关键词 棘胸蛙; 亲体; 形质特征; 多元分析; 性别

中图分类号 S966.3 doi: 10.11693/hyhz20141200360

棘胸蛙(*Paa spinosa*)隶属于两栖纲、无尾目、蛙科、棘蛙属, 系分布于我国南方丘陵溪流区中具滴水产卵繁育特性的特有大型食用蛙(林光华等, 1990; 丁松林等, 2009), 具很高的食用和药用价值, 素有“百蛙之王”之美誉, 是一种极具开发利用潜力的名贵水产品。上世纪八十年代以来, 我国学者为破解棘胸蛙野生种质资源日趋衰退和商品棘胸蛙市场消费需求日益高涨之困局, 先后就棘胸蛙种质生物学(李炳华等, 1983; 胡知渊等, 2005; 凌云等, 2012)、繁殖与发育生物学(林光华等, 1990; 刘元楷等, 1990; 虞鹏程等, 1995; 俞宝根等, 2008; 丁松林等, 2009)以及人工养殖技术(谢海妹等, 2007)等开展了较为深入的研究, 有力促进了浙江、安徽、福建、湖南、江西等地棘胸蛙增养殖业的蓬勃发展, 但迄今有关该蛙优质亲体

选育途径及其精细化培育方面的研究则尚未见报道。

形质作为生物的表型信息, 它既是生物外观表型和体质状况等宏观生物学指标的集中反映, 也是生物营养生理状况及其生存对策的外在体现(王志铮等, 2012)。开展目标水产养殖动物两性亲体间形质特征的差异研究, 无疑对于揭示其用于区分性别的典型体征以及性间选择对策具重要学术价值。为此, 本文作者针对棘胸蛙成体具雌小雄大两性异形特征(刘春涛等, 2007; 路庆芳等, 2008), 以及形态性状对体质量和净体质量影响效果上具鲜明性别差异(斯烈钢等, 2015)的实际, 于 2013 年 6 月 16 日以位于四明山脉溪流区的浙江省余姚市下鲁石蛙养殖场养成的 3 年龄棘胸蛙同生群养殖群体中的成熟个体为研究材料, 以生物学测定指标以及形质特征指标参数的性

*余姚市与浙江海洋学院市院合作项目: 棘胸蛙集约化高效养殖关键技术集成与综合示范(2013—2016); 宁波市鄞州区科技攻关项目: 棘胸蛙驯养与繁育技术研究与示范(2013—2014)。杨程, 硕士研究生, E-mail: 625764259@qq.com

通讯作者: 王志铮, 研究员, 教授, E-mail: wzz_1225@163.com

收稿日期: 2014-12-19, 收修改稿日期: 2015-01-30

别差异为线索,以弄清导致该蛙两性成体间典型体征和性间选择对策差异的真实原因为目标,借助聚类分析、主成分分析和判别分析方法较系统地开展了棘胸蛙两性成体间的形质差异研究,以期为指导该蛙两性优质亲体选育及精细化培育提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 供试蛙来源及数量

2013年6月16日于浙江省余姚市下鲁石蛙养殖场亲蛙培育池中,随机选取产卵时间为2010年6月20日的3周龄余姚本地品系棘胸蛙同生群雌、雄成熟个体各84只作为本研究测定群体。

1.2 生物学指标测定与形质评价指标计算

实验样品逐一编号后,进行生物学指标测定。其中,尺寸性状测定指标依次为:体长(吻端至泄殖腔孔后缘的水平距离, SUL)、吻长(吻端至眼前角的水平距离, SL)、头长(吻端至颈褶的水平距离, HL)、肩肛距(颈褶至肛孔后缘的水平距离, SAL)、前足长(前肢基部至第三指末端的直线距离, FFL)、前肢长(肩关节至第三指末端的直线距离, FLL)、后足长(后肢基部至最长趾末端的直线距离, HFL)、后肢长(体后端正中部位至第四趾末端的直线距离, HLL)、眼间距(左右上眼睑内侧缘间的水平距离, IS)、鼻间距(左右鼻孔间的水平距离, INS)、头宽(头部左右两侧的最大水平距离, HW)和肩宽(左右肩点间的水平距离, SW);重量性状指标依次为:体质量(BW)、心质量(WH)、肾质量(WK)、肺质重(WLU)、肝质量(WL)、胃质量(WS)、肠质量(WI)、性腺质量(WG)。根据所测结果,分别计算尺寸性状比(各尺寸性状之间的比值)、脏器质量比(各脏器质量与心质量的比值)、脏器系数(各脏器质量占体质量的百分比)和 Fulton's 指数 $K = \text{体重}/\text{体长}^3 \times 100$ (Fulton, 1911)等形质评价指标。

1.3 数据处理

整理所测结果,借助 SPSS 17.0 软件分别计算棘胸蛙两性亲体各项生物学测定指标、形质评价指标的均值、标准差和变异系数,并比较组间差异显著性($P < 0.05$ 视为显著水平);根据上述各项形质评价指标的均值,计算两性亲体间经标准化处理的欧氏距离(全距为 1.00),并以此度量两者形质特征间的相似性程度($P < 0.05$ 视为显著水平);根据所有实验样本的形质评价指标值进行主成分分析和判别分析,其中主成分分析以特征值大于 1 且累计贡献率大于 80%为原则确定主成分(PC)的提取个数,采用逐步导入剔除

法进行判别分析,并参照 Li 等(2005)的方法计算判别准确率(P_1 为某性别判别正确的个数占该性别实际个数的百分比, P_2 为某性别判别正确的个数占判入该性别个数的百分比)和综合判别率(P 为两性实验对象判别正确的个数之和占实验对象总个数的百分比)验证所建判别方程组的可靠性。

2 结果与分析

2.1 两性亲体生物学测量指标间的差异比较

由表 1 可见,雌雄两性亲体在生物学测量指标间存在一定程度的异同,主要表现为:(1)从尺寸性状指标看,雄性除 SL(吻长)、IS(眼间距)测量值与雌性无显著差异($P > 0.05$)外,其余 10 项指标的测量值均显著大于雌性($P < 0.05$),除 HL(头长)、INS(鼻间距)、SW(肩宽)测量值的变异系数小于雌性($P < 0.05$)外,其余 9 项指标测量值的变异系数均大于雌性($P < 0.05$),表明雄性不仅体型增长速度显著大于雌性($P < 0.05$),而且体型稳定性也强于雌性,而雌性较雄性则更专注于捕食视野和吞食空间的拓展;(2)由质量性状指标看,雌性除 WG(性腺质量)测量值与雄性无显著差异($P > 0.05$)外,其余 7 项指标的测量值均显著小于雄性($P < 0.05$),除 WB(体质量)、WG 变异系数小于雄性外,其余 6 项指标测量值的变异系数均大于雄性($P < 0.05$),表明雄性不仅增重速度显著大于雌性($P < 0.05$),而且其消化、血循、呼吸以及排泄脏器的质量稳定性也均强于雌性,而雌性较雄性则更专注于繁殖营养能量的积累。综上可知,棘胸蛙两性亲体在尺寸性状、体质量性状及脏器质量性状的增长对策上均存在较为明显的差异。

2.2 两性亲体形质评价指标间的差异比较

由表 2 可见,雌雄两性亲体在形质评价指标间存在一定程度的异同,主要表现为:(1)从尺寸性状比例指标看,雄性除 L_2 (后足长/后肢长)、 L_3 (吻长/头宽)、 L_5 (眼间距/头宽)和 L_{11} (鼻间距/眼间距)与雌性无显著差异($P > 0.05$),及 L_{10} (吻长/眼间距)显著大于雌性($P < 0.05$)外,其余 6 项指标值均显著小于雌性($P < 0.05$),即在所得 11 项尺寸性状比例指标中两者的指标相似性为 36.7%,表明雌性 HW(头宽)、SL(吻长)、IS(眼间距)与 SW(肩宽)的比例均显著大于雄性($P < 0.05$);(2)从脏器系数来看,雌性除 R_2 (肝系数)、 R_3 (胃系数)、 R_4 (肠系数)和 R_6 (肾系数)与雄性无显著差异($P > 0.05$),及 R_7 (性腺系数)显著大于雄性($P < 0.05$)外,其余 2 项指标值均显著小于雄性($P < 0.05$),即在

表 1 棘胸蛙两性亲体生物学测量性状参数统计
Tab.1 Parametric statistics of biological traits of bisexual parent of *P. spinosa*

性状属性	测量指标	♂(n=84)		♀(n=84)	
		M±SE	CV(%)	M±SE	CV(%)
尺寸性状(mm)	体长 Snout-urostyle length, SUL	95.87±6.88 ^a	7.18	90.65±5.15 ^b	5.68
	头长 Head length, HL	32.00±3.26 ^a	10.19	30.21±3.32 ^b	10.99
	吻长 Snout length, SL	9.41±1.74 ^a	18.49	9.62±1.70 ^a	17.67
	前肢长 Fore-limb length, FLL	57.70±6.05 ^a	10.48	48.12±4.06 ^b	8.44
	前足长 Forefoot length, FFL	18.96±2.58 ^a	13.61	16.76±1.72 ^b	10.26
	后肢长 Hind-limb length, HLL	140.36±8.38 ^a	5.97	128.62±6.95 ^b	5.40
	后足长 Hind foot length, HFL	42.32±3.53 ^a	8.34	39.00±3.04 ^b	7.79
	肩肛距 Shoulder-to-anal length, SAL	69.44±7.86 ^a	11.32	66.39±4.62 ^b	6.96
	头宽 Head breadth, HB	36.35±2.39 ^a	6.57	33.56±2.20 ^b	6.55
	眼间距 Interorbital space, IS	15.28±1.83 ^a	11.98	14.84±1.59 ^a	10.71
	鼻间距 Internasal distance, INS	7.48±0.86 ^a	11.50	7.17±0.91 ^b	12.69
肩宽 Shoulder width, SW	42.26±3.32 ^a	7.86	39.08±2.81 ^b	7.19	
质量性状(g)	体质量 Body weight, WB	120.71±22.97 ^a	19.03	101.63±14.47 ^b	14.24
	心质量 Heart weight, WH	0.7466±0.2429 ^a	32.53	0.4503±0.1716 ^b	38.11
	肾质量 Kidney weight, WK	0.5898±0.1234 ^a	21.06	0.4870±0.1328 ^b	27.27
	肺质量 Lungs weight, WLU	0.4751±0.1365 ^a	28.73	0.3055±0.1059 ^b	34.66
	肝质量 Liver weight, WL	3.3691±1.0244 ^a	30.40	2.9226±0.9660 ^b	33.05
	胃质量 Stomach weight, WS	1.3170±0.2611 ^a	19.82	1.1201±0.3095 ^b	27.63
	肠质量 Intestines weight, WI	1.6479±0.4130 ^a	25.06	1.4646±0.4347 ^b	29.68
性腺质量 Gonad weight, WG	8.8974±2.8801 ^a	32.37	8.1417±2.1956 ^a	26.97	

同行上标不同小写字母表示组间差异显著($P<0.05$), 下同

表 2 棘胸蛙两性亲体的形质评价指标参数统计
Tab.2 Parametric statistics of morphological evaluation indexes of bisexual parent of *P. spinosa*

形质评价类别	评价指标	代码	♂(n=84)		♀(n=84)	
			M±SE	CV(%)	M±SE	CV(%)
尺寸性状比例	前足长/前肢长 FFL/FLL	L_1	0.33±0.04 ^a	12.12	0.35±0.04 ^b	11.43
	后足长/后肢长 HFL/HLL	L_2	0.30±0.02 ^a	6.67	0.30±0.02 ^a	6.67
	吻长/头宽 SL/HW	L_3	0.62±0.11 ^a	17.74	0.65±0.11 ^a	16.92
	体长/头宽 SUL/HW	L_4	2.64±0.19 ^a	7.20	2.71±0.19 ^b	7.01
	眼间距/头宽 IS/HW	L_5	0.18±0.02 ^a	11.11	0.18±0.02 ^a	11.11
	肩肛距/头宽 SAL/HW	L_6	1.92±0.23 ^a	11.98	1.98±0.17 ^b	8.58
	吻长/肩宽 SL/SW	L_7	0.26±0.05 ^a	19.23	0.29±0.05 ^b	17.24
	眼间距/肩宽 IS/SW	L_8	0.42±0.04 ^a	9.52	0.44±0.05 ^b	11.36
	头宽/肩宽 HW/SW	L_9	0.36±0.04 ^a	11.11	0.38±0.04 ^b	10.53
	吻长/眼间距 SL/IS	L_{10}	0.82±0.14 ^a	17.07	0.76±0.14 ^b	18.42
	鼻间距/眼间距 INS/IS	L_{11}	0.49±0.05 ^a	10.20	0.49±0.05 ^a	10.20
脏器系数(%)	心系数 WH/WB	R_1	0.63±0.21 ^a	33.15	0.44±0.14 ^b	32.66
	肝系数 WL/WB	R_2	2.78±0.62 ^a	22.34	2.87±0.84 ^a	29.30
	胃系数 WS/WB	R_3	1.10±0.16 ^a	14.10	1.10±0.24 ^a	21.88
	肠系数 WI/WB	R_4	1.38±0.30 ^a	21.91	1.43±0.34 ^a	23.44
	肺系数 WLU/WB	R_5	0.39±0.08 ^a	20.67	0.30±0.09 ^b	30.26
	肾系数 WK/WB	R_6	0.50±0.11 ^a	22.76	0.49±0.14 ^a	27.96
	性腺系数 WG/WB	R_7	7.27±1.58 ^a	21.78	7.96±1.57 ^b	19.71
脏心质量比例	肝质量/心质量 WL/WH	W_1	5.29±4.55 ^a	86.01	6.94±2.48 ^b	35.73
	胃质量/心质量 WS/WH	W_2	2.16±2.03 ^a	93.98	2.71±0.89 ^b	32.84
	肠质量/心质量 WI/WH	W_3	2.69±2.52 ^a	93.68	3.56±1.34 ^b	37.64
	肺质量/心质量 WLU/WH	W_4	0.75±0.70 ^a	93.33	0.73±0.28 ^a	38.36
	肾质量/心质量 WK/WH	W_5	0.93±0.78 ^a	83.87	1.19±0.45 ^b	37.82
	性腺质量/心质量 WG/WH	W_6	14.18±13.09 ^a	92.31	19.51±6.16 ^b	31.57
肥满度指数(g/cm ³)	Fulton's 指数	K	13.74±2.39 ^a	17.39	13.65±1.48 ^a	10.84
欧式距离			0.305($P<0.01$)			

*评价指标栏中测量指标的字母缩写同表 1, 下同

所得 7 项指标中两者的指标相似性为 57.1%，表明雄性花费于建造呼吸和血循环脏器的能量占比显著大于雌性($P < 0.05$)，雌性花费于繁殖营养代谢的能量占比显著大于雄性($P < 0.05$)，而两者间花费于建造消化和排泄脏器的能量占比则相当；(3) 由脏心质量比例指标看，雄性除 W_4 (肺质量/心质量)与雌性无显著差异($P > 0.05$)外，其余 5 项指标值均显著小于雌性($P < 0.05$)，且所得各项指标的变异系数均大于雌性($P < 0.05$)，即在所得 6 项脏心质量比例指标中两者的指标相似性仅为 16.7%，表明以 WH(心脏质量)为参照，雌性较雄性更专注于在消化、排泄和生殖脏器上的能量投入；(4) 两者间肥满度指数无显著差异($P > 0.05$)，表明雌雄两性亲体单位体积内所含有的生物量相当。综上可知，棘胸蛙两性亲体在脏器质量配置对策和与吞咽、捕食功能相关的尺寸比例性状上均存在较为明显的差异。

2.3 形质特征的主成分分析

经筛选，对由尺寸性状比例、脏心质量比例指标和肥满度指数组成的形质评价指标进行 Bartlett 球形

检验和 KMO 适合度检验，发现其相关系数矩阵与单位阵有显著差异($P < 0.05$)且适合度尚可($KMO = 0.726 > 0.70$)，表明有必要对上述形质评价指标进行主成分分析。

由表 3 可见，所列 5 个主成分的特征值均大于 1 且方差累计贡献率达 80.841%，故可认定它们为能概括本研究涉两性成体形质特征差异的公共因子。其中，PC₁ 的贡献率最大，达 30.677%。将载荷绝对值 $p > 0.5$ 的变量视作主要影响变量，则 PC₁ 和 PC₂ 的正相关主要变量影响力排序分别为 $W_3(0.951) > W_2(0.948) > W_6(0.924) > W_1(0.921) > W_4(0.898) > W_5(0.887)$ 和 $L_3(0.859) > L_4(0.757) > L_7(0.748) > L_5(0.669) > L_6(0.657) > L_{10}(0.516)$ ，两者均无负相关主要变量；PC₃ 的正相关和负相关主要变量影响力排序分别呈 $L_{10}(0.825) > L_{11}(0.603)$ 和 $L_8(-0.584) > L_5(-0.638)$ ；PC₄ 和 PC₅ 均无负相关主要变量，它们正相关主要变量的影响力排序分别为 $L_9(0.731) > L_8(0.573)$ 和 $L_2(0.823) > L_1(0.548)$ 。由此可见，各公共因子的贡献率大小与其所包含的主要影响变量的组成个数及其载荷绝对值加和的大小密切相关。

表 3 棘胸蛙两性亲体形质评价指标的主成分分析

Tab.3 Principal component analysis on morphological evaluation indexes of bisexual parent of *P. spinosa*

形质评价类别	评价指标	代码	载荷 P				
			PC ₁	PC ₂	PC ₃	PC ₄	PC ₅
长度性状比例	前足长/前肢长 FFL/FLL	L_1	0.14	0.229	-0.025	0.335	0.548*
	后足长/后肢长 HFL/HLL	L_2	0.029	-0.17	0.028	0.049	0.823*
	吻长/头宽 SL/HW	L_3	0.199	0.859*	0.394	0.168	-0.094
	体长/头宽 SUL/HW	L_4	0.049	0.757*	-0.083	-0.5	0.112
	眼间距/头宽 IS/HW	L_5	0.205	0.669*	-0.638*	0.136	-0.055
	肩肛距/头宽 SAL/HW	L_6	0.134	0.657*	-0.099	-0.421	0.08
	吻长/肩宽 SL/SW	L_7	0.183	0.748*	0.469	0.413	-0.07
	眼间距/肩宽 IS/SW	L_8	0.169	0.458	-0.584*	0.573*	-0.019
	头宽/肩宽 HW/SW	L_9	-0.075	-0.441	0.167	0.731*	0.036
	吻长/眼间距 SL/IS	L_{10}	0.085	0.516*	0.825*	0.106	-0.07
	鼻间距/眼间距 INS/IS	L_{11}	-0.097	-0.332	0.603*	-0.197	0.103
脏心质量比例	肝质量/心质量 WL/WH	W_1	0.921*	-0.065	-0.029	-0.032	0.061
	胃质量/心质量 WS/WH	W_2	0.948*	-0.088	0.049	-0.015	0.016
	肠质量/心质量 WI/WH	W_3	0.951*	-0.033	-0.008	-0.038	0.049
	肺质量/心质量 WLU/WH	W_4	0.898*	-0.148	0.007	-0.095	-0.015
	肾质量/心质量 WK/WH	W_5	0.887*	-0.218	0.084	0.022	0.036
	性腺质量/心质量 WG/WH	W_6	0.924*	-0.139	0.013	-0.101	0.036
肥满度(g/cm ³)	Fulton's 指数	K	0.467	-0.333	-0.041	0.136	-0.479
	特征值		5.522	3.824	2.225	1.711	1.269
	贡献率(%)		30.677	21.243	12.364	9.505	7.052
	累计贡献率(%)		30.677	51.920	64.284	73.789	80.841

*评价指标栏中测量指标的字母缩写同表 1，下同

在诸公共因子中, 从属于 PC₁ 的主要影响变量均仅为脏心质量比例指标, 而从属于其它公共因子的主要影响变量则均仅为尺寸比例指标, 且所有载荷绝对值达到 0.880 以上的主要影响变量均仅存在于 PC₁ 中的情形, 表明 PC₁ 在对两性亲体形质特征的区分上较其它公共因子更具重要性。分别绘制 PC₁ 与其它主成分间的得分散布图, 得图 1。由图 1 可见, 棘胸蛙雌、雄亲体沿 FAC1 轴自左向右虽分别集中于各自相对独立的区域, 但仍具较高的重叠度, 表明仅借助 PC₁ 无法有效确定部分实验个体的性别归属问题, 惟有与其它主成分结合才能较全面而精准地反映雌、雄亲体间形质特征差异。

2.4 形质特征的判别分析

采用逐步导入剔除法, 从列入主成分分析的 18 个形质特征变量(表 2)中筛选出对判别贡献较大的 L_1 (前足长/前肢长)、 L_5 (吻长/肩宽)、 L_7 (眼间距/头宽)、 W_2 (胃质量/心质量)、 W_4 (肺质量/心质量)、 W_6 (性腺质量/心质量)6 个变量进行判别分析, F 检验表明各变量均达到极显著水平($P < 0.01$)。根据上述 6 个变量建立棘胸蛙雌、雄两性亲体的 Fisher 分类函数方程组, 得表 4。经验证, 雄性判别准确率 P_1 、 P_2 分别为 84.52%和 83.53%, 雌性判别准确率 P_1 、 P_2 分别为 83.33%、84.34%, 两者综合判别率为 83.93%(表 5)。另, 所绘制的典型判别函数判别得分散布图(图 2), 在进一步验证了上述判别分析的可靠性的同时, 也印证了仅采用脏心质量比例指标无法准确确定部分实验个体性别归属问题的结果(图 1)。

3 讨论

3.1 棘胸蛙两性亲体的形质特征差异及关键判别性状组合的认定

在本研究所涉 20 项生物学测定指标和 25 项形质评价指标中, 具显著差异的分别为 17 项和 16 项(表 1, 表 2), 且二者形质评价指标均值间的标准化欧氏距离也具显著差异(表 3)的情形, 表明棘胸蛙亲体在

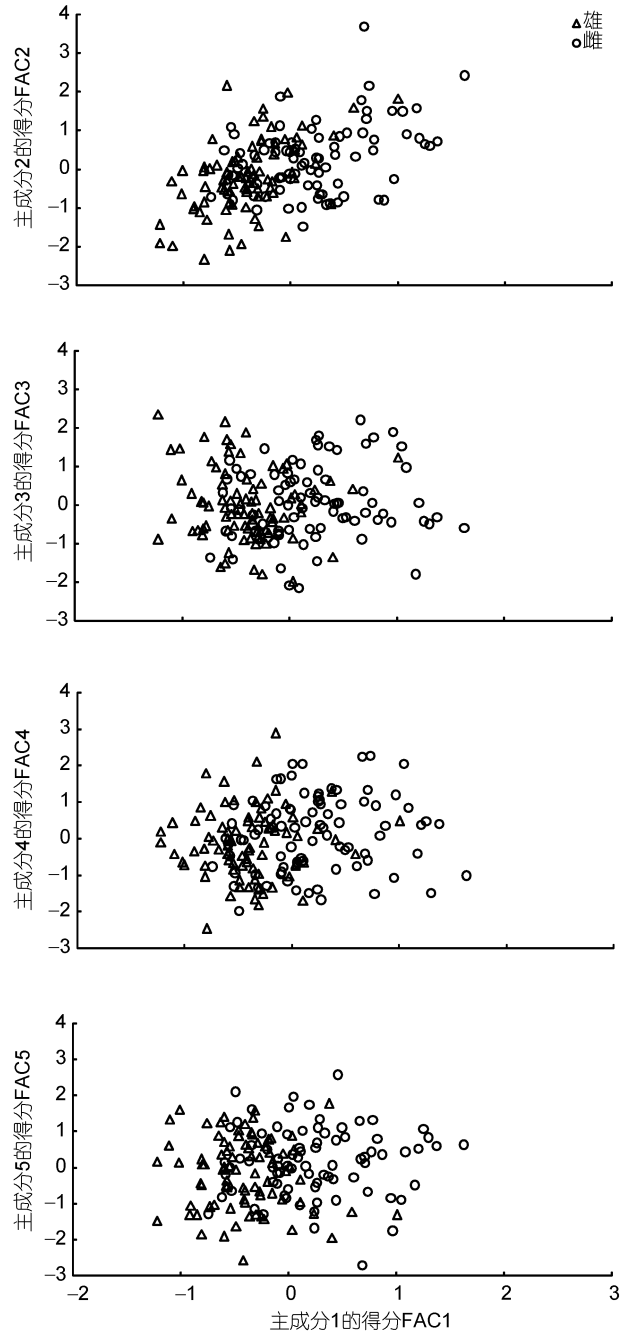


图 1 棘胸蛙两性亲体形质评价指标的主成分散布图
Fig.1 Scatter diagram in principal component of morphological evaluation indexes for bisexual parent of *P. spinosa*

表 4 棘胸蛙两性亲体形质特征 Fisher 分类函数方程组的自变量系数及常数项

Tab.4 The independent variable coefficient and constant term of Fisher classification function equations of morphological characteristics of bisexual parent of *P. spinosa*

性别	自变量系数						常数项
	L_1	L_5	L_7	W_2	W_4	W_6	
♂	191.9191	163.0435	62.50833	-1.09311	-2.60962	0.384594	-74.1368
♀	205.6932	171.6329	72.20434	-0.04162	-8.53082	0.557005	-85.8849

表 5 棘胸蛙两性亲体的判别分类结果
Tab.5 Discrimination results of bisexual parent of *P. spinosa*

性别	总数	预测分类		判别准确率(%)		综合判别率(%)
		♂	♀	P_1	P_2	
♂	84	71	13	84.52	83.53	83.93
♀	84	14	70	83.33	84.34	

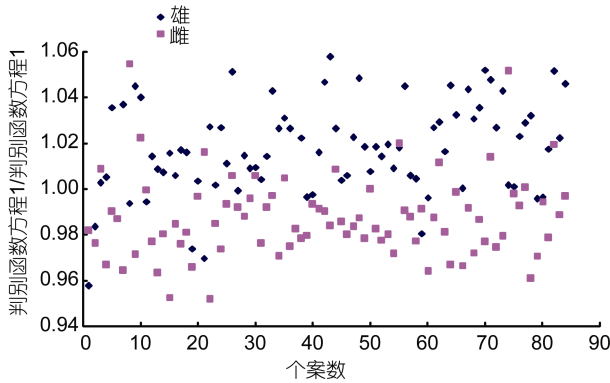


图 2 棘胸蛙雌雄亲体的典型判别函数判别得分散布图
Fig.2 Scatter diagram of discrimination function of bisexual parent of *P. spinosa*

形质特征上均具较为明显的性别差异。但上述存在显著差异的形质评价指标并非均为区分二者间形质特征的关键判别变量,而要真正找到可作为判别形质特征的关键性评价指标尚需依赖主成分分析和判别分析才能得以实现。

由表 3、图 1 可见,虽 PC_1 的贡献率明显大于其它各主成分,但仅借助 PC_1 尚无法较清晰地确定部分棘胸蛙雌、雄两性亲体的性别归属问题,即 PC_1 所包含的主要影响变量组合并未能从全貌上概括棘胸蛙雌、雄两性亲体间的形质特征差异(图 1, 表 4),其原因既与 PC_1 的贡献率(30.677%)远小于其它主成分贡献率加和值(50.164%)有关,也与从属于 PC_1 的主要影响变量仅为脏心质量比例指标,而从属于其它主成分的主要影响变量均仅为尺寸比例指标有关(表 3),故形质特征判别指标应包含脏心质量比例指标和尺寸比例指标,这也充分印证了判别分析所得结果(表 5, 图 2)的可靠性,即从属于 PC_1 主要影响变量的 W_2 (胃质量/心质量)、 W_4 (肺质量/心质量)和 W_6 (性腺质量/心质量),与从属于 PC_2 、 PC_3 主要影响变量中的 L_5 (吻长/肩宽)和 L_7 (眼间距/头宽)以及从属于 PC_5 主要影响变量的 L_1 (前足长/前肢长) 6 个变量构成了判别本研究实验对象性别归属问题的关键变量组合。当然,导致各主成分中部分主要影响变量未能被列入上述关键判别变量组合的原因,无疑与列入本研究

关键判别变量组合的性状间存在信息重叠有关。本研究中棘胸蛙雌雄亲体间 R_2 (肝系数)、 R_3 (胃系数)、 R_4 (肠系数)、 R_6 (肾系数)均无显著差异($P>0.05$),而 W_1 (肝质量/心质量)、 W_2 (胃质量/心质量)、 W_3 (肠质量/心质量)、 W_7 (性腺系数)、 W_5 (肾质量/心质量)和 W_6 (性腺质量/心质量)却均具显著差异($P<0.05$),消化器官的脏器系数和脏心质量比例指标中均以 R_3 (胃系数)和 W_2 (胃质量/心质量)为最小(表 2),以及 PC_1 中 W_2 (0.948) 载荷值与 W_1 (0.921)和 W_3 (0.951)均相近,而 W_6 载荷值(0.924)明显大于 W_5 (0.887)(表 3)的情形,表明胃质量指标和性腺质量指标分别与同属消化系统重要脏器的肝、肠质量指标和同属泄殖系统重要脏器的肾质量指标存在信息重叠,即 W_2 (胃质量/心质量)、 W_6 可分别作为表征消化系统和泄殖系统脏心质量比例的标志性指标。另,表 3 中仅 L_5 (眼间距/头宽)、 L_{10} (吻长/眼间距)为 PC_2 和 PC_3 的公共主要影响变量, L_8 (眼间距/肩宽)为 PC_3 和 PC_4 的公共主要影响变量,表明 IS(眼间距)、HW(头宽)、SL(吻长)和 SW(肩宽)为可涵盖 PC_2 、 PC_3 和 PC_4 主要表型比例信息的公共性状,鉴于表 1、表 2 中棘胸蛙雌雄亲体间 SL(吻长)、IS(眼间距)、 L_3 (吻长/头宽)均无显著差异($P>0.05$)之情形,致使 L_5 (眼间距/头宽)和 L_7 (吻长/肩宽)在排除 L_3 (吻长/头宽)和 L_{10} (吻长/眼间距)后顺势入选关键判别变量组合。至于同为足肢比例性状的 L_2 (后足长/后肢长)未能入选关键判别变量组合的原因,则可能为棘胸蛙雌雄亲体间 L_2 (后足长/后肢长)无显著差异($P>0.05$)所致(表 2)。故本文作者认为本研究所涉实验对象间的性别关键判别性状组合为 L_1 (前足长/前肢长)、 L_5 (吻长/肩宽)、 L_7 (眼间距/头宽)、 W_2 (胃质量/心质量)、 W_4 (肺质量/心质量)和 W_6 (性腺质量/心质量)。

3.2 关于棘胸蛙两性亲体间形质特征差异的原因分析

由表 4 可见,以载荷绝对值均达到 0.880 以上的 W_1 (肝质量/心质量)、 W_2 (胃质量/心质量)、 W_3 (肠质量/心质量)、 W_4 (肺质量/心质量)、 W_5 (肾质量/心质量)和 W_6 (性腺质量/心质量)为核心变量的 PC_1 是与脏器质量配置相关的能量代谢因子,以 L_3 (吻长/头宽)、

L_4 (体长/头宽)、 L_5 (眼间距/头宽)、 L_6 (肩肛距/头宽)、 L_7 (吻长/肩宽)、 L_{10} (吻长/眼间距) 为核心变量的 PC_2 为以头宽和吻长为代表的与口腔空间大小有关的食物吞咽因子, 考虑到主成分越靠后误差越大这一实际(Backhaus *et al.*, 2005), 将以 L_1 (前足长/前肢长)、 L_2 (后足长/后肢长)、 L_8 (眼间距/肩宽)、 L_9 (头宽/肩宽) 和 L_{11} (鼻间距/眼间距) 为核心变量的 PC_3 、 PC_4 和 PC_5 统归为以足肢比和眼间距为代表的与寻食、跳跃和抱食能力相关的捕食功能因子。上述 5 个公共因子所涵盖的体现实验对象组间差异的能量代谢状况、吞食空间以及捕食功能等一系列特征信息, 揭示了性间机体能量分配策略及其对应的捕食对策是引起本研究所涉棘胸蛙雌、雄两性亲体间形质特征差异的主因, 从而客观地反映了在人工饲养条件下性间能量分配策略对其生长速度、养成周期及形质特征差异影响的生态重要性。

表 2 所显现的本研究所涉棘胸蛙雌、雄两性亲体间的形质特征差异, 也充分支持了上述性间机体能量分配策略及其对应的捕食对策为影响形质特征差异主因的观点, 即: (1) Fulton's 指数 K 表示动物单位体积内所含有的生物量, 可作为反映动物生理状态或营养状况的重要指标(Ricker, 1975; 房继明等, 1995; 王寿兵等, 1999)。本研究中棘胸蛙同生群两性亲体间 Fulton's 指数 K 、 R_2 (肝系数)、 R_3 (胃系数)、 R_4 (肠系数) 和 R_6 (肾系数) 无显著差异($P>0.05$) 的情形, 表明人工饲养条件下棘胸蛙两性亲体具相似的营养状况和消化生理状态; (2) 动物两性异形进化主要基于性选择(Shine, 1979; Anderson *et al.*, 1990; Parker, 1992) 和生育力选择(Woolbright, 1983; Olsson *et al.*, 2002)。已有研究表明, 两栖类成体平均个体大小通常与性成熟时的平均年龄或个体大小呈正相关(Miaud *et al.*, 1999; Yilmaz *et al.*, 2005; Ma *et al.*, 2009); 两栖动物在繁殖投入上雄性远低于雌性, 较大的雌性个体具较高的生育力和繁殖成功率(Angilletta *et al.*, 2000; Kyriakopoulou-Sklavounou *et al.*, 2008), 通过增大个体以在争斗中处于有利地位, 从而获得更多的交配机会, 是两栖类雌小雄大两性异形类型中雄性常采取的策略(Davies *et al.*, 1977; Shine, 1979)。故本研究中雌性 R_7 (性腺系数) 显著大于雄性($P<0.05$), 而肺系数和心系数却均显著小于雄性($P<0.05$) 的情形, 无疑揭示了棘胸蛙亲体所具的雌小雄大异形特征(刘春涛等, 2007; 路庆芳等, 2008; 斯烈钢等, 2015), 主缘于两者在用以繁殖、呼吸和血循环器官建造的能量分配策

略上存在的巨大差异。即: 雄性因在呼吸和血循环器官建造的能量投入上显著大于雌性, 致使其可通过加强呼吸代谢和加快血循速度来显著提高食物利用和转化效率并促进个体生长, 从而达到顺应性选择压力和提高繁殖适合度的目的; 观察发现, 从变态后的幼蛙计起, 棘胸蛙雌性达到性成熟的时间为 24 月龄, 而雌性则仅为 1 周年(林光华等, 1990), 故雌性其为顺应生育力选择压力和提高繁殖适合度势必在繁殖营养生理代谢中较雄性投入更多的能量, 从而限制了其个体的生长; (3) 本研究中雌性的 L_1 (前足长/前肢长)、 L_7 (吻长/肩宽)、 L_8 (眼间距/肩宽)、 L_9 (头宽/肩宽) 均呈雌性显著大于雄性($P<0.05$) 的情形, 无疑揭示了雌性为弥补其在呼吸和血循环器官建造的能量投入上较雄性亲体的不足, 而采取了显著提高 L_9 (头宽/肩宽) 和 L_7 (吻长/肩宽) 以扩增口腔吞咽食物的容积率, 和通过显著提高 L_8 (眼间距/肩宽) 和 L_1 (前足长/前肢长) 以扩增寻食空间和提高抱食成功率的捕食对策, 这一有别于雄性的捕食对策, 与 Schoener 等(1982) 认为头部较大的个体具有摄食较大食物的潜能, 有利于获得较大的净能, 并在资源或配偶竞争中获得优势的观点相吻。上述分析表明, 导致棘胸蛙两性个体间形质特征差异的本质, 为它们基于性选择和生育力选择压力, 而就机体能量分配策略及其对应的捕食对策进行权衡与优化的结果。

参 考 文 献

- 丁松林, 郑宝成, 2009. 棘胸蛙繁育特性研究. 四川动物, 28(4): 602—604
- 王寿兵, 蒋朝光, 屈云芳等, 1999. 野生和人工养殖辽宁中国林蛙肥满度和重/长指标的初步研究. 应用生态学报, 10(1): 91—94
- 王志铮, 杨 磊, 朱卫东, 2012. 三种养殖模式下日本鳗鲡养成品的形质差异. 应用生态学报, 23(5): 1385—1392
- 刘元楷, 苏向阳, 李荣招等, 1990. 棘胸蛙生殖腺发育的研究. 福建水产, (2): 15—24
- 刘春涛, 郑荣泉, 路庆芳等, 2007. 棘胸蛙的两性异形和雌性繁殖特征. 见: 两栖爬行动物学研究(第十一辑). 南京: 东南大学出版社, 160—165
- 李炳华, 汪尊德, 1983. 棘胸蛙的染色体组型分析. 遗传, 5(5): 39—41
- 林光华, 虞鹏程, 1990. 棘胸蛙的繁殖生物学研究. 江西大学学报(自然科学版), 14(4): 64—70
- 房继明, 孙儒泳, 刘志龙, 1995. 布氏田鼠肥满度分析和小型兽类肥满度指标 K 与 K_{wt} (重长指标) 的比较. 动物学报, 41(2): 141—148
- 胡知渊, 来雅萍, 陈文静, 2005. 棘胸蛙、虎纹蛙、黑斑蛙血细

- 胞的比较. 四川动物, 24(1): 5—8
- 俞宝根, 叶容晖, 郑荣泉等, 2008. 人工环境下棘胸蛙(*Paa spinosa*)繁殖期的行为谱及活动节律. 生态学报, 28(12): 6371—6378
- 凌云, 邵晨, 颀志刚等, 2012. 低温暴露和恢复对棘胸蛙雌性亚成体生存力及能量物质消耗的影响. 生态学报, 32(18): 5763—5769
- 斯烈钢, 富裕, 李鸿鹏等, 2015. 四明山脉溪流区水产经济动物棘胸蛙(*Paa spinosa*)成体形态性状对体质量和净体质量影响效应的性别差异. 海洋与湖沼, 46(3): 679—686
- 谢海妹, 袁久尧, 2007. 棘胸蛙养殖关键技术研究. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 26(4): 457—460
- 虞鹏程, 林光华, 1995. 棘胸蛙早期胚胎发育的初步观察. 水生生物学报, 19(3): 216—222
- 路庆芳, 郑荣泉, 刘春涛等, 2008. 湖南平江棘胸蛙两性异形和雌性个体生育力. 浙江师范大学学报(自然科学版), 31(3): 220—224
- Anderson R A, Vitt L J, 1990. Sexual selection versus alternative causes of sexual dimorphism in teiid lizards. *Oecologia*, 84(2): 145—157
- Angilletta M J Jr, Sears M W, 2000. The metabolic cost of reproduction in an oviparous lizard. *Functional Ecology*, 14(1): 39—45
- Backhaus K, Erichson B, Plinke W, 2005. *Multivariate Statistical Analysis*. Berdelberg: Springer
- Davies N B, Halliday T R, 1977. Optimal mate selection in the toad *Bufo bufo*. *Nature*, 269(5623): 56—58
- Fulton T W, 1911. *The Sovereignty of the Sea*. London and Edinburgh: William Blackwood and Sons
- Li S F, Wang C H, Cheng Q Q, 2005. Morphological variations and phylogenesis of four strains in *Cyprinus carpio*. *水产学报*, 29(5): 606—611
- Kyriakopoulou-Sklavounou P, Stylianou P, Tsiora A, 2008. A skeletochronological study of age, growth and longevity in a population of the frog *Rana ridibunda* from southern Europe. *Zoology*, 111(1): 30—36
- Ma X Y, Lu X, 2009. Sexual size dimorphism in relation to age and growth based on skeletochronological analysis in a Tibetan frog. *Amphibia-Reptilia*, 30(3): 351—359
- Miaud C, Guyétant R, Elmberg J, 1999. Variations in life-history traits in the common frog *Rana temporaria* (Amphibia: Anura): a literature review and new data from the French Alps. *Journal of Zoology*, 249(1): 61—73
- 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
- Parker G A, 1992. The evolution of sexual size dimorphism in fish. *Journal of Fish Biology*, 41(supplement): 1—20
- Ricker W E, 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bulletin Fisheries Research Board of Canada*, 191: 1—382
- 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. *The American Naturalist*, 121(1): 110—119
- Yilmaz N, Kutrup B, Çobanoğlu Ü *et al*, 2005. Age determination and some growth parameters of a *Rana ridibunda* population in Turkey. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, 51(1): 67—74

MORPHOLOGICAL DIFFERENCES BETWEEN BISEXUAL PARENTS OF ECONOMIC FROG *PAA SPINOSA* IN STREAMS OF SIMING MOUNTAINS

YANG Cheng¹, FU Yu¹, ZHU Wei-Dong^{1,2}, SHENTU Ji-Kang^{1,3}, SI Lie-Gang^{1,3}, WANG Zhi-Zheng¹
(1. Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China; 2. Fishery Technology Extension Center of Yuyao, Yuyao 315400, China;
3. Marine and Fishery Research Institute of Ningbo, Ningbo 315000, China)

Abstract The morphological differences between bisexual parents of *Paa spinosa* were studied by cluster analysis, principal component analysis, and discriminant analysis. The frog distribute naturally in the steams of the Siming Mountain in Zhejiang, East China. Eighty-four 3-year-old mature pairs of males and females were randomly sampled from an artificial cultured single species. Twenty biological traits and 25 morphological indexes were used, of which 17 biological traits and 16 morphological indexes showed significant differences in gender ($P < 0.05$). The Euclidean distance on the mean of morphological indexes is 0.305 ($P < 0.01$). Principal component analysis revealed that the accumulative variance percentage of five principal components in eigenvalues larger than 1 was 80.84%. The first principal component could be regarded as energy metabolism factor related to the configuration of organ quality, and the second one could be food deglutition factor related to the oral cavity space size as a representative of head width and snout length, and the last three principal components could be predation function factor related to the ability of hunting, jumping and holding as a representative ratio of foot and leg and interorbital space. In addition, discriminant analysis displayed six principal components: L_1 (foreleg length/ fore limb length), L_5 (snout length/shoulder breadth), L_7 (interorbital space/head width), W_2 (stomach weight/heart weight), W_4 (lung weight/heart weight), and W_6 (gonad weight/heart weight); they were served as independent variables for Fisher classification function equations, with which bisexual parent of *P. spinosa* could be clearly distinguished. The accurate discriminant rates for two genders were about 84%.

Key words *Paa spinosa*; parent; morphological characteristic; multivariate analysis; gender