

# 牛蛙脏体指数的测定及其量化表征间的关系\*

刘媚, 许治祥, 唐发辉

(重庆师范大学 生命科学学院 重庆市动物生物学重点实验室, 重庆 401331)

**摘要:**【目的】测定牛蛙(*Rana catesbeiana*)脏体指数并分析各量化表征间的关系,获取牛蛙的选育指标。【方法】将42只雌性牛蛙和38只雄性牛蛙进行实验解剖并获取体长、体宽、头长、体质量和脏器质量的量化数据后,采用独立样本 $t$ 检验、Mann-Whitney  $U$ 检验、多元回归等统计学方法对牛蛙量化表征间的关系进行分析。【结果】牛蛙各量化表征间的相关系数具有统计学意义( $p < 0.01$ );雄性牛蛙的头长-体长比值与双肺指数均比雌性牛蛙的这两项指标更高,且数据差异均具有统计学意义( $p < 0.01$ );雌性牛蛙的生殖腺指数比雄性牛蛙的该项指标更高,数据差异具有统计学意义( $p < 0.01$ )。与雌性牛蛙体质量密切相关的主要量化表征为:体宽、头长、脂肪体质量、生殖腺质量与双肺质量;与雄性牛蛙体质量密切相关的主要量化表征为:体宽、体长、脂肪体质量、心脏质量与双肺质量。【结论】体质量、体长、体宽与头长均可作为牛蛙的选育指标,其中体质量是首选选育指标,体宽则为次选选育指标。

**关键词:**牛蛙;量化表征;脏器;脏体指数;体质量

**中图分类号:**Q954;S917.4

**文献标志码:**A

**文章编号:**1672-6693(2023)03-0022-09

牛蛙(*Rana catesbeiana*)为两栖纲(Amphibian)无尾目(Anura)蛙科(Ranidae)蛙属(*Rana*)动物,它肉质鲜美、富含营养,是一种高蛋白、低脂肪、低胆固醇的食用蛙类<sup>[1]</sup>。牛蛙在中国各地均有大规模的养殖,已成为中国重要的经济养殖动物<sup>[2]</sup>。

脏体指数又称脏体比,常指实验动物的某脏器质量与体质量的比值,是反映动物生长发育的重要指标<sup>[3]</sup>。关于脏体指数的测定及两性差异的相关研究在众多脊椎动物如禽类、哺乳类、鱼类、部分蛙类等类群已有相关报道<sup>[4-7]</sup>,但它们主要侧重于生理学或生态学方向<sup>[8]</sup>。

在经济动物养殖业中,动物的体质量和形态特征是人工选育的重要依据,其中体质量是最直接的选育目标性状,也是影响经济养殖动物销售价格的重要因素<sup>[9]</sup>。量化表征主要指一些可以被测量(即可被量化处理)的表型特征。基于量化表征的研究如两性差异对动物体质量的影响等在许多水产养殖动物中已有相关报道<sup>[10-13]</sup>。目前,有关蛙类的研究大多集中于养殖技术、形态学、生态学、生理学、分子生物学等方面<sup>[14-18]</sup>,其中关于牛蛙的研究则主要聚焦于生理生化及免疫学方面,如不同物质对牛蛙组织、脏器、免疫系统、神经系统等的影响及牛蛙蝌蚪体内相关蛋白质、激素的研究等<sup>[19-22]</sup>,而有关牛蛙脏体指数的两性差异及各量化表征间的关系研究却鲜有报道。

根据上述背景,本研究在测定牛蛙多个量化表征和脏体指数的工作基础之上,基于独立样本 $t$ 检验、Mann-Whitney  $U$ 检验、多元回归等多种统计学方法,比较了这些量化表征和脏体指数的两性差异,进而探究了雌、雄性牛蛙主要量化表征的相关性以及体质量受其他量化表征影响的程度,期望为牛蛙的基础生物学研究提供参考资料,并为牛蛙的养殖选育工作提供操作性更佳的备选指标。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

实验用牛蛙于2022年4月购自重庆市北碚区养殖场,其中雌性牛蛙42只、雄性牛蛙38只。将牛蛙运回实

\* 收稿日期:2022-08-24 修回日期:2022-10-20 网络出版时间:2023-06-15T17:15

资助项目:国家自然科学基金面上项目(No. 31101637);重庆市科技创新能力建设项目(No. 2110CA1010);重庆市自然科学基金项目(No. cstc2018jcyjAX0808);重庆师范大学高等教育教学改革研究项目(No. 202229)

第一作者简介:刘媚,女,研究方向为水生动物寄生虫及病害学研究,E-mail:821105937@qq.com;通信作者:唐发辉,女,教授,博士,E-mail:trichodina@126.com

网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms2/detail/50.1165.N.20230615.1217.004.html

实验室后先进行 24 h 饥饿处理,然后再进行后续的量化研究。

## 1.2 方法

### 1.2.1 体表形态量化表征的测量

选取体长、体宽与头长作为牛蛙体表形态量化表征,其中:体长为吻端至泄殖腔孔后缘的水平距离,体宽为腹部最宽处的水平距离,头长为吻端至鼓膜后缘的水平距离(图 1)。上述形态学指标均采用游标卡尺进行测量,测量结果精确到 0.01 cm。

### 1.2.2 体质量、脏器质量及脏体指数的测定

选取体质量及脏器质量作为牛蛙其余体征的量化表征。在体长、体宽与头长的测量工作结束后,先用吸水纸将牛蛙体表多余水分吸干,再用精确度为 0.01 g 的电子秤称量每只牛蛙的体质量。接着对牛蛙进行解剖并摘取主要内脏器官,分别称量这些脏器的质量。最后根据以下公式计算牛蛙的脏体指数:

$$I_{vo} = (m_{vo}/m_b) \times 100\%$$

其中: $I_{vo}$  为脏体指数; $m_{vo}$  为某一脏器质量的数值,单位 g; $m_b$  为体质量的数值,单位 g。本研究中测定的脏体指数共有 6 个,分别是双肺指数、肝脏指数、心脏指数、肾脏指数、生殖腺指数和脂肪体指数。

## 1.3 数据分析

用 Excel 2021 和 SPSS 26.0 软件对实验数据进行处理和统计分析。分别采用 Shapiro-Wilk 法和 Levine 法检验实验数据的正态性及方差齐性。对于符合正态分布的数据,采用独立样本  $t$  检验分析牛蛙的两性差异及 Pearson 相关性分析;对于不符合正态分布的数据,则采用 Mann-Whitney  $U$  检验分析牛蛙的两性差异及 Spearman 相关性分析。进一步采用多元回归分析牛蛙体质量受其他量化表征影响程度的性别差异,构建表示雌、雄性牛蛙体质量与其他量化表征间关系的回归方程。当  $p < 0.05$  时,上述统计分析的结果具有统计学意义。

## 2 结果与分析

### 2.1 量化表征的统计学结果分析

#### 2.1.1 体表形态量化表征和体质量的两性比较

比较图 2a、b、c 和 d 可知,牛蛙体质量的变异系数最大,体宽、头长的变异系数次之,体长的变异系数最小。表 1 显示:牛蛙的体质量、体长、体宽及头长两两间均呈统计学意义上的正相关关系( $p < 0.01$ ),其中体质量与体宽的相关性最高( $r = 0.837$ ),体宽与头长的相关性最低( $r = 0.616$ )。3 个体表形态量化表征按它们与体质量的相关系数值由高到低进行排序,依次为:体宽、体长、头长。此外,结合图 2 与表 1 的数据可知,雌、雄性牛蛙的体质量、体长、体宽和头长间无统计学意义上的差异。

#### 2.1.2 量化表征比值的两性比较

由表 2 可知:雄性牛蛙的头长-体长比值大于雌性牛蛙的头长-体长比值,两者差异具有统计学意义( $p < 0.01$ );但雌、雄性牛蛙的其他几项量化表征比值则无统计学意义上的差异。

#### 2.1.3 脏体指数的两性比较

表 3 显示了本研究中雌、雄性牛蛙的 6 个主要脏体指数的结果。Mann-Whitney  $U$  检验结果表明:雄性牛蛙的双肺指数值比雌性牛蛙的双肺指数值更大,两者差异具有统计学意义( $p < 0.01$ );但雌、雄性牛蛙的肝脏指数、心脏指数和肾脏指数的数值均无统计学意义上的差异。独立样本  $t$  检验结果表明:雌性牛蛙的生殖腺指数值大于雄性牛蛙的生殖腺指数值,两者具有统计学意义上的差异( $p < 0.01$ );而雌、雄性牛蛙脂肪体指数的数值差异无统计学意义。

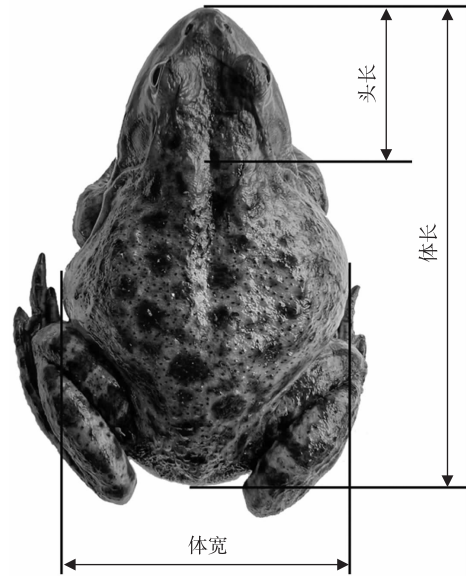


图 1 本研究牛蛙形态学测量指标

Fig. 1 Morphological measurement indices of *R. catesbeiana* in the study

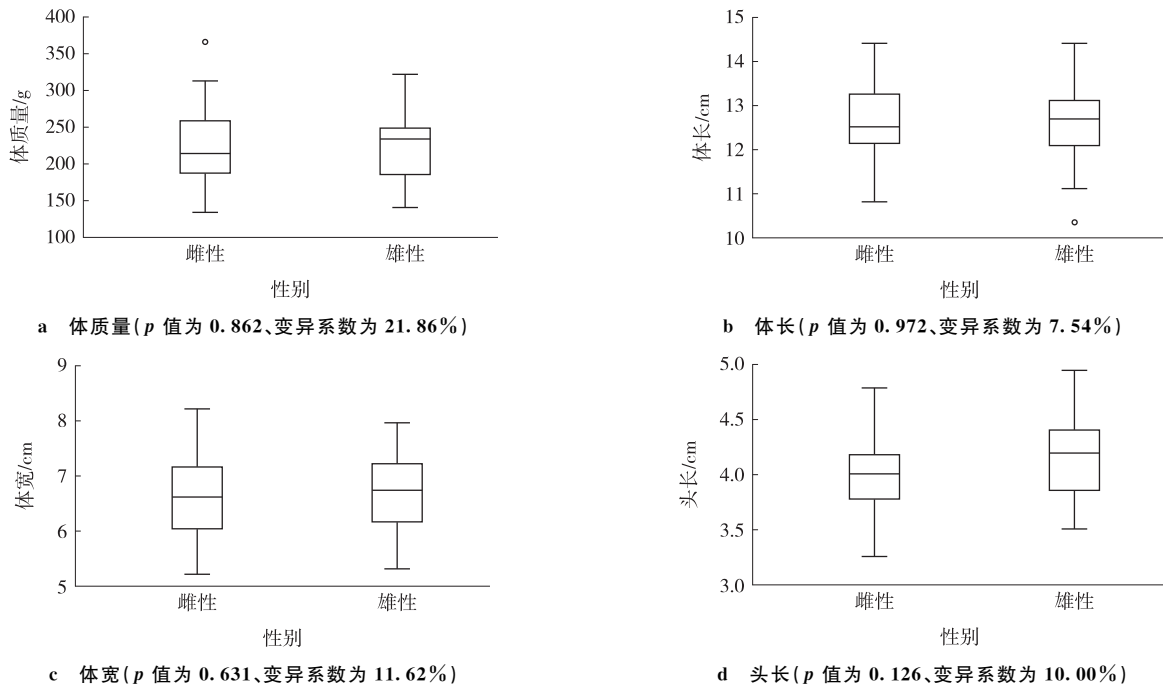


图 2 雌、雄性牛蛙的体表形态量化表征和体质量比较

Fig. 2 Comparison of morphological quantifiable characteristics and body mass of females and males of *R. catesbeiana*

表 1 牛蛙的性别、体质量、体长、体宽和头长间的相关性分析

Tab. 1 Correlation analysis among sex, body mass, body length, body width, and head length of *R. catesbeiana*

| 指标  | 性别           | 体质量              | 体长               | 体宽               |
|-----|--------------|------------------|------------------|------------------|
| 体质量 | 0.042(0.743) |                  |                  |                  |
| 体长  | 0.047(0.717) | 0.829** (<0.001) |                  |                  |
| 体宽  | 0.073(0.570) | 0.837** (<0.001) | 0.699** (<0.001) |                  |
| 头长  | 0.188(0.139) | 0.733** (<0.001) | 0.813** (<0.001) | 0.616** (<0.001) |

注:相关系数后括号内数字为  $p$  值(双侧),“\*\*”表示统计结果在  $p < 0.01$ (双侧)水平具有统计学意义。

表 2 牛蛙量化表征比值的统计学分析

Tab. 2 Statistical analysis of the quantifiable characterizations ratio of *R. catesbeiana*

| 指标       | 性别 | 平均值   | 标准偏差 | 标准误差 | 极小值   | 极大值   | $p$ 值   |
|----------|----|-------|------|------|-------|-------|---------|
| 体质量-体长比值 | 雌性 | 17.76 | 3.18 | 0.54 | 12.26 | 26.84 | 0.808   |
|          | 雄性 | 17.94 | 2.54 | 0.48 | 13.51 | 22.79 |         |
| 体宽-体长比值  | 雌性 | 0.52  | 0.05 | 0.01 | 0.44  | 0.61  | 0.499   |
|          | 雄性 | 0.53  | 0.04 | 0.01 | 0.46  | 0.64  |         |
| 头长-体长比值  | 雌性 | 0.32  | 0.02 | 0.00 | 0.29  | 0.34  | 0.007** |
|          | 雄性 | 0.33  | 0.02 | 0.00 | 0.28  | 0.37  |         |
| 体质量-体宽比值 | 雌性 | 33.85 | 5.01 | 0.85 | 24.52 | 47.87 | 0.944   |
|          | 雄性 | 33.77 | 4.33 | 0.82 | 25.30 | 42.10 |         |
| 头长-体宽比值  | 雌性 | 0.61  | 0.06 | 0.01 | 0.49  | 0.73  | 0.325   |
|          | 雄性 | 0.62  | 0.06 | 0.01 | 0.49  | 0.72  |         |

注:“\*\*”表示统计结果在  $p < 0.01$  水平具有统计学意义,下同。

## 2.2 体质量与其他量化表征的回归分析

### 2.2.1 体质量与体表形态量化表征的一元回归分析

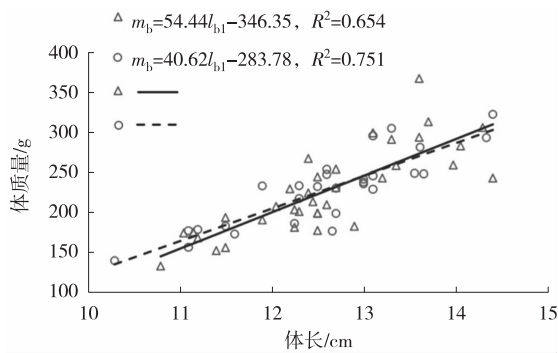
雌、雄性牛蛙体表形态量化表征与体质量的一元线性回归方程及对应的  $R^2$  值如图 3 所示,各回归方程中:

$m_b$  为体质量的数值,单位 g; $l_{bl}$ 、 $l_{bw}$  和  $l_{hl}$  分别为体长、体宽和头长的数值,单位 cm。比较各回归方程中的斜率(即体质量随某一体表形态量化表征增长而增长的速率)数值后可以发现:雌、雄性牛蛙的体质量随体长、体宽增长而增长的速率无较大差异(图 3a,b);雌、雄性牛蛙体质量随头长增长而增长的速率差异却较为明显——雌性牛蛙的体质量增长速率显然更高(图 3c)。因此,相较雄性牛蛙而言,头长对雌性牛蛙体质量的影响更为明显。

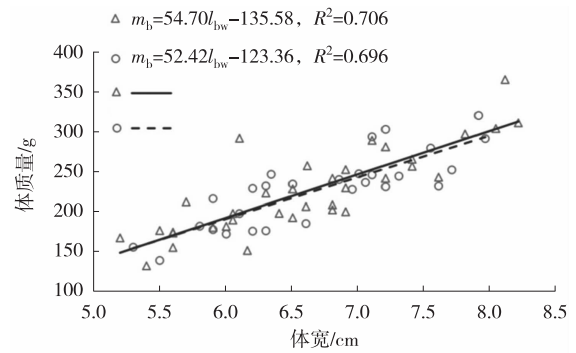
表 3 牛蛙脏体指数的两性差异的统计学分析

Tab. 3 Statistical analysis of sexual difference of visceral organs index of *R. catesbeiana*

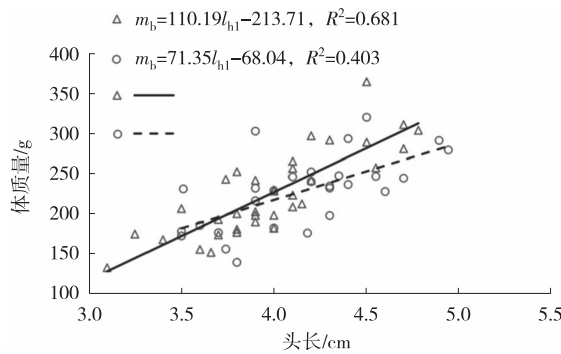
| 指数名称  | 性别 | 平均值/% | 标准偏差/% | 标准误差/% | $p$ 值(Mann-Whitney $U$ 检验) | $p$ 值(独立样本 $t$ 检验) |
|-------|----|-------|--------|--------|----------------------------|--------------------|
| 双肺指数  | 雌性 | 0.47  | 0.10   | 0.02   | 0.001**                    |                    |
|       | 雄性 | 0.55  | 0.13   | 0.02   |                            |                    |
| 肝脏指数  | 雌性 | 4.01  | 1.20   | 0.19   | 0.232                      |                    |
|       | 雄性 | 4.41  | 1.28   | 0.21   |                            |                    |
| 心脏指数  | 雌性 | 0.42  | 0.11   | 0.02   | 0.623                      |                    |
|       | 雄性 | 0.41  | 0.10   | 0.02   |                            |                    |
| 肾脏指数  | 雌性 | 0.76  | 0.25   | 0.04   | 0.488                      |                    |
|       | 雄性 | 0.84  | 0.30   | 0.05   |                            |                    |
| 生殖腺指数 | 雌性 | 3.05  | 1.80   | 0.28   | <0.001**                   |                    |
|       | 雄性 | 0.10  | 0.03   | 0.01   |                            |                    |
| 脂肪体指数 | 雌性 | 3.93  | 1.13   | 0.17   | 0.892                      |                    |
|       | 雄性 | 3.89  | 0.93   | 0.15   |                            |                    |



a 体长与体质量的关系



b 体宽与体质量的关系



c 头长与体质量的关系

注:“△”表示雌性牛蛙,“○”表示雄性牛蛙。

图 3 雌、雄性牛蛙体表形态量化表征与体质量的关系

Fig. 3 Relationship between morphological quantifiable characterizations and body mass of females and males of *R. catesbeiana*

### 2.2.2 体质量与体表形态量化表征的逐步回归分析

在分析牛蛙体质量与 3 个体表形态量化表征的回归关系时,对于雌性牛蛙而言应剔除体长而保留头长和体宽;对于雄性牛蛙而言应剔除头长,保留体长和体宽(表 4)。

表 4 显示:1) 雌性牛蛙的体宽、头长与体质量呈统计学意义上的正相关关系( $p < 0.01$ ),对应的逐步回归方程为: $m_b = -250.42 + 33.90l_{bw} + 63.26l_{hl}$  ( $R^2 = 0.828$ );体宽与头长的标准化系数(Beta 值)分别为 0.52 与 0.47,说明相较于头长而言,体宽对雌性牛蛙体质量的决定程度更大。2) 雄性牛蛙的体长、体宽与体质量也呈统计学意义上的正相关关系( $p < 0.01$ ),对应的逐步回归方程为: $m_b = -279.54 + 25.84l_{bl} + 27.16l_{bw}$  ( $R^2 = 0.838$ );体长与体宽的标准化系数分别为 0.55 与 0.43,说明与体宽相比,体长对雄性牛蛙体质量的决定程度更大。

表 4 雌、雄性牛蛙体表形态量化表征与体质量的逐步回归分析

Tab. 4 Stepwise regression analysis of morphological quantifiable characterizations and body mass of females and males of *R. catesbeiana*

| 性别 | 参数 | 非标准化系数  |       | 标准化系数  | t 值    | p 值      | R <sup>2</sup> 值 |
|----|----|---------|-------|--------|--------|----------|------------------|
|    |    | B 值     | 标准误差  | Beta 值 |        |          |                  |
| 雌性 | 常量 | -250.42 | 39.77 |        | -6.297 | <0.001   |                  |
|    | 体宽 | 33.90   | 6.46  | 0.52   | 5.251  | <0.001** | 0.828            |
|    | 头长 | 63.26   | 13.25 | 0.47   | 4.775  | <0.001** |                  |
| 雄性 | 常量 | -279.54 | 47.61 |        | -5.871 | <0.001   |                  |
|    | 体长 | 25.84   | 5.51  | 0.55   | 4.689  | <0.001** | 0.838            |
|    | 体宽 | 27.16   | 7.39  | 0.43   | 3.675  | 0.001**  |                  |

### 2.2.3 体质量与脏器质量的多元回归分析

表 5 显示:1) 双肺质量、生殖腺质量和脂肪体质量对雌性牛蛙体质量的影响具有统计学意义( $p < 0.05$ )。对雌性牛蛙体质量的决定程度最大的量化表征为脂肪体质量(Beta 值为 0.33),生殖腺质量对体质量的决定程度次之(Beta 值为 0.32),双肺质量对体质量的决定程度最低(Beta 值为 0.27)。此外,肝脏质量、心脏质量和肾脏质量对雌性牛蛙体质量无统计学意义上的影响。2) 双肺质量、心脏质量和脂肪体质量对雄性牛蛙体质量的影响具有统计学意义( $p < 0.05$ )。脂肪体质量对雄性牛蛙体质量的决定程度最大(Beta 值为 0.51),心脏质量对雄性牛蛙体质量的决定程度次之(Beta 值为 0.32),双肺质量对体质量的决定程度最小(Beta 值为 0.26)。此外,肝脏质量、生殖腺质量和肾脏质量对雄性牛蛙体质量无统计学意义上的影响。

## 3 讨论

### 3.1 牛蛙量化表征的两性差异

两栖动物的两性成体体型一般分为 3 种类型:1) 雌性大于雄性;2) 雌性小于雄性;3) 雌、雄性体型无明显差异,但雄性头长明显大于雌性头长<sup>[23-24]</sup>。本研究发现,雌、雄性牛蛙的 3 个体表形态量化表征均无统计学意义上的差异;进一步比较雌、雄性牛蛙的量化表征比值后发现,雄性牛蛙的头长-体长比值明显大于雌性牛蛙的头长-体长比值。因此可以确定,牛蛙体型属于上述第 3 种类型。推测这可能与雄性牛蛙具备较大的鼓膜及发声器有关,因为这有利于雄性牛蛙求偶及争夺交配机会,从而提高繁殖成功率<sup>[25-26]</sup>。

脏体指数反映了动物个体的发育情况和健康状况。本研究测定了牛蛙的各脏体指数,并用以分析与之相关的结构与功能的关系。本研究结果显示,雄性牛蛙的双肺指数明显大于雌性牛蛙的双肺指数,且两者差异具有统计学意义( $p < 0.01$ )。推测其中原因在于处于繁殖期的雄性牛蛙需要消耗更多的能量用于鸣叫、示威等方式与对手竞争交配机会。而雌性牛蛙的生殖腺指数则明显大于雄性牛蛙的生殖腺指数,且两者间具有统计学意义上的差异( $p < 0.01$ ),这可能是由于处于繁殖期的雌性牛蛙消耗大量的能量用于卵的形成,且能量倾向于繁殖储存。这一结果与其他蛙类的相关研究结果较为一致<sup>[27-28]</sup>。

### 3.2 体质量与其他量化表征的关系

在相关性分析中,当相关系数的绝对值范围分别在 $[0.3, 0.5)$ 、 $[0.5, 0.8)$ 和 $[0.8, 1]$ 时,两个变量间的相关

关系分别为低度相关、中度相关和高度相关<sup>[29]</sup>。在本研究中,牛蛙的体长、体宽、头长与体质量间的相关关系均具有统计学意义( $p < 0.01$ ),且体宽、体长与体质量的相关关系均为高度相关,而头长与体质量的相关关系为中度相关。此外,一元回归分析结果表明雌、雄性牛蛙的体质量与体长、体宽和头长间均呈线性正相关关系。

表5 雌、雄性牛蛙脏器质量与体质量的多元回归分析

Tab. 5 Multiple regression analysis of organs mass and body mass of females and males of *R. catesbeiana*

| 性别 | 参数    | 非标准化系数     |       | 标准化系数  | <i>t</i> 值 | <i>p</i> 值 | <i>R</i> <sup>2</sup> 值 |
|----|-------|------------|-------|--------|------------|------------|-------------------------|
|    |       | <i>B</i> 值 | 标准误差  | Beta 值 |            |            |                         |
| 雌性 | 常量    | 65.50      | 23.60 |        | 2.775      | 0.009      |                         |
|    | 双肺质量  | 51.40      | 22.26 | 0.27   | 2.310      | 0.027*     |                         |
|    | 肝脏质量  | 1.89       | 2.09  | 0.10   | 0.905      | 0.372      |                         |
|    | 心脏质量  | 20.33      | 19.22 | 0.12   | 1.058      | 0.297      | 0.704                   |
|    | 肾脏质量  | 1.16       | 7.75  | 0.02   | 0.150      | 0.882      |                         |
|    | 生殖腺质量 | 3.48       | 1.16  | 0.32   | 3.010      | 0.005**    |                         |
|    | 脂肪体质量 | 5.10       | 1.76  | 0.33   | 2.897      | 0.006**    |                         |
| 雄性 | 常量    | 43.68      | 24.76 |        | 1.764      | 0.088      |                         |
|    | 双肺质量  | 39.66      | 15.90 | 0.26   | 2.495      | 0.018*     |                         |
|    | 肝脏质量  | 1.56       | 2.12  | 0.08   | 0.736      | 0.467      |                         |
|    | 心脏质量  | 49.92      | 17.76 | 0.32   | 2.810      | 0.008**    | 0.764                   |
|    | 肾脏质量  | -6.59      | 8.35  | -0.10  | -0.789     | 0.436      |                         |
|    | 生殖腺质量 | 83.79      | 60.59 | 0.13   | 1.383      | 0.177      |                         |
|    | 脂肪体质量 | 7.50       | 1.57  | 0.51   | 4.788      | <0.001**   |                         |

注:“\*”表示统计结果在  $p < 0.05$  水平具有统计学意义。

然而,相关性分析结果仅能反映两个变量间的综合关系,并不能准确反映出两个变量间的具体关系<sup>[30]</sup>。因此,本研究进一步利用逐步回归分析,探讨3个体表形态量化表征与牛蛙体质量间更深层次的关系,并找出影响雌、雄性牛蛙体质量的主要因素。在逐步或多元回归分析中,Beta值反映了自变量对因变量的影响程度。本研究表明:与头长相比,体宽对雌性牛蛙体质量影响因素的影响程度更大;与体宽相比,体长对雄性牛蛙体质量影响因素的影响程度更大。有研究认为,动物个体的几何空间越大,对脂肪等营养物质的积累越有利,相应的体质量也越大<sup>[30]</sup>。在本研究中,体宽成为影响雌、雄性牛蛙体质量的共同影响因素,即体宽的增大有利于增加牛蛙的腹腔容纳量乃至体质量。值得注意的是,相对于雄性牛蛙而言,体宽对雌性牛蛙体质量的影响更大,这说明宽大的身体更有利于增加雌性牛蛙的怀卵容纳量,从而提高它的繁殖输出,这一结果与其他蛙类的相关研究结果也基本一致<sup>[31]</sup>。同时,本研究还发现雌性牛蛙的生殖腺指数明显大于雄性牛蛙的生殖腺指数,因此推测牛蛙的体宽与生殖腺之间可能存在某种联系。

对牛蛙体质量与脏器质量进行多元回归分析,结果表明脂肪体质量和双肺质量均是决定雌、雄性牛蛙体质量的主要脏器因素,并且均是脂肪体质量对体质量的决定程度最大。这可能由于牛蛙在生长繁殖过程中,需要不断积累脂肪,不仅为日常活动供能,同时也为繁殖积蓄能量,以此为生殖细胞的形成提供营养。此外,生殖腺质量和心脏质量分别对雌、雄性牛蛙体质量也有统计学意义上的影响( $p < 0.05$ ),这一差异的产生可能是由于雄性牛蛙需要投入更多的能量用于雄性牛蛙间的争鸣、搏斗、求偶等生命活动,从而获得更多的交配机会;而雌性牛蛙则需要更多的能量投入在繁殖上,形成大量的卵,从而提高繁殖成功率<sup>[28]</sup>。

总之,影响雌、雄性牛蛙体质量的因素较多,其中既有共性因素(如体宽、脂肪体质量),也有差异性因素(如生殖腺质量、心脏质量)。因此,影响雌、雄性牛蛙体质量的主要量化表征组成存在一定的差异,这一点与对棘胸蛙(*Paa spinosa*)形态性状与身体质量进行的相关研究所得结论基本一致<sup>[9]</sup>。

### 3.3 量化表征与牛蛙选育指标的选择

变异系数不仅可用于衡量牛蛙生长的离散程度,还可以用来判断某一量化表征作为选育指标的选择潜力。

通常认为,某一量化表征的变异系数越大,则它作为选育指标的选择潜力也相对越大<sup>[32]</sup>。在本研究中,牛蛙体质量的选择潜力最大而体长的选择潜力最小;体宽是选择潜力仅次于体质量的一个选育指标,也是同时影响雌、雄性牛蛙体质量的首要因素,故体宽自然成为了牛蛙选育的次优指标。因此在牛蛙的选育过程中,选育指标首选体质量,次选为体宽,然后才是头长和体长。

然而在实际生产中,对所有牛蛙体质量进行逐个称量的操作显得十分繁琐;为了让有关操作更加简便快捷,可通过对体质量影响较大的性状进行选择来达到间接选育的目的<sup>[33]</sup>。因此,在结合本研究结果的基础上可以得出以下选育建议:如选育雌性牛蛙,首要考虑体宽和头长;如选育雄性牛蛙,则首要考虑体长和体宽;在选育混合群体时主要考虑体宽。

#### 参考文献:

- [1] BÜYÜKDEVECI M E, BOGA E K, OZYURT G. Gamma-irradiation induced effects on biogenic amine formation and quality of frog legs (*Rana esculenta*) during storage[J]. LWT-Food Science and Technology, 2019, 99: 379-386.
- [2] 方卫东, 鲁康乐, 张春晓, 等. 豆粕替代鱼粉对牛蛙生长、体组成、消化酶活力及肝脏生化指标的影响[J]. 水产学报, 2016, 40(11): 1742-1752.  
FANG W D, LU K L, ZHANG C X, et al. Effects of fish meal replacement by soybean meal on growth, body composition, digestive enzyme activities and hepatic biochemical indices of *Rana (Lithobates) catesbeiana* [J]. Journal of Fisheries of China, 2016, 40(11): 1742-1752.
- [3] 陈建明, 叶金云, 许尧兴, 等. 饲料中添加中性蛋白酶对青鱼生长、消化及鱼体组成的影响[J]. 水生生物学报, 2009, 33(4): 726-731.  
CHEN J M, YE J Y, XU Y X, et al. Effect of adding neutral protease to diets on growth performance, digestion, and body composition of fingerling black carp (*Mylopharyngodon piceus*) [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2009, 33(4): 726-731.
- [4] 冷超. 海兰鸡主要脏器重量及脏器系数的测定[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(9): 4038-4039.  
LENG C. Measurement of weight and coefficient of main organ in Hailan chicken [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2009, 37(9): 4038-4039.
- [5] 詹纯列, 王洪涛, 李建军, 等. 封闭群 FMMU 白化豚鼠主要脏器重量及脏器系数的测定[J]. 中国实验动物学报, 1997, 5(1): 33-36.  
ZHAN C L, WANG H T, LI J J, et al. The measurement of weight of main organ and organ coefficient in closed FMMU albino guinea pig [J]. Acta Laboratorium Animalis Scientia Sinica, 1997, 5(1): 33-36.
- [6] 崔舒云, 于润林, 王卓群, 等. 七种养殖特色淡水鱼脏器系数的测定和比较[J]. 淡水渔业, 2021, 51(5): 28-36.  
CUI S Y, YU R L, WANG Z Q, et al. Measurement and comparison of organ coefficients of seven kinds of freshwater fishes [J]. Freshwater Fisheries, 2021, 51(5): 28-36.
- [7] 韩芬茹. 四种实验动物脏器质量系数的测定[J]. 畜牧兽医杂志, 2006, 25(4): 1-3.  
HAN F R. Measurement of organ coefficient in four experimental animals [J]. Journal of Animal Science and Veterinary Medicine, 2006, 25(4): 1-3.
- [8] 凌云, 邵晨, 顾志刚, 等. 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[J]. 生态学报, 2012, 32(18): 5763-5769.  
LING Y, SHAO C, XIE Z G, et al. Effects of cold exposure and recovery on viability and energy consumption in the sub-adult female giant spiny frogs (*Paa spinosa*) [J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(18): 5763-5769.
- [9] 斯烈钢, 富裕, 李鸿鹏, 等. 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[J]. 海洋与湖沼, 2015, 46(3): 679-686.  
SI L G, FU Y, LI H P, et al. Sex-related differences reflected in the effect of morphological traits on body weight and net body weight of an economic animal, *Paa spinosa* in streams of Siming Mountains [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2015, 46(3): 679-686.
- [10] 王志铮, 吴一挺, 杨磊, 等. 日本沼虾 (*Macrobrachium nipponensis*) 形态性状对体重的影响效应[J]. 海洋与湖沼, 2011, 42(4): 612-618.  
WANG Z Z, WU Y T, YANG L, et al. Effect of phenotypic and morphometric traits on body weight of *Macrobrachium nipponensis* [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2011, 42(4): 612-618.
- [11] 平洪领, 李玉全. 逐步线性回归法实现天津厚蟹 (*Helice tientsinensis*) 表型性状与体重的通径分析[J]. 海洋与湖沼, 2013, 44

- (5):1353-1357.  
PING H L, LI Y Q. Path analysis between morphometric traits and body weight on *Helice tientsinensis* by multiple regression [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2013, 44(5):1353-1357.
- [12] 刘小林, 常亚青, 相建海, 等. 栉孔扇贝壳尺寸性状对活体重的影响效果分析[J]. *海洋与湖沼*, 2002, 33(6):673-678.  
LIU X L, CHANG Y Q, XIANG J H, et al. Analysis of effects of shell size characters on live weight in Chinese scallop *Chlamys farreri* [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2002, 33(6):673-678.
- [13] 杨贵强, 徐绍刚, 王跃智, 等. 硬头鳟幼鱼部分形态性状和体重的关系[J]. *动物学杂志*, 2011, 46(1):16-22.  
YANG G Q, XU S G, WANG Y Z, et al. The relationship between partial morphometric and body weight of juvenile steelhead (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2011, 46(1):16-22.
- [14] 陈晓凤, 王玮玮, 江涛, 等. 健康型牛蛙饲料养殖牛蛙的试验[J]. *台湾海峡*, 2001, 20(S1):107-111.  
CHEN X F, WANG W W, JIANG T, et al. Study on health-formula feed for bullfrog [J]. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2001, 20(S1):107-111.
- [15] 寿鹿, 杜卫国, 舒霖. 金线侧褶蛙和泽陆蛙的两性异形与生育力[J]. *生态学报*, 2005, 25(4):664-668.  
SHOU L, DU W G, SHU L. Sexual dimorphism and fecundity in the gold-stripe pond frog (*Pelophylax plancyi*) and the terrestrial frog (*Fejervarya limnocharis*) [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(4):664-668.
- [16] 许丹, 吴小清, 赵春霖, 等. 用功能生态学方法揭示峨眉髭蟾蝌蚪和棘腹蛙蟾蝌蚪共存的原因[J]. *生态学报*, 2020, 40(1):43-50.  
XU D, WU X Q, ZHAO C L, et al. Functional approach reveals niche differentiation between two coexisting tadpoles: *Leptobranchium boringii* and *Quasipaa boulengeri* [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, 40(1):43-50.
- [17] GUEVARA-MOLINA E C, GOMES F R, CAMACHO A. Effects of dehydration on thermoregulatory behavior and thermal tolerance limits of *Rana catesbeiana* (Shaw, 1802) [J]. *Journal of Thermal Biology*, 2020, 93:102721.
- [18] 穆浪, 沈拓, 刘京, 等. 贵州省桑植臭蛙及其系统发育分析[J]. *野生动物学报*, 2022, 43(3):760-765.  
MU L, SHEN T, LIU J, et al. Phylogenetic analysis of *Odorrana sangzhiensis* in Guizhou Province [J]. *Chinese Journal of Wildlife*, 2022, 43(3):760-765.
- [19] 李潇, 王玲, 张春晓, 等. 啤酒酵母粉替代部分鱼粉对牛蛙生长、抗氧化能力以及肝脏和肠道组织形态学的影响[J]. *动物营养学报*, 2019, 31(4):1864-1876.  
LI X, WANG L, ZHANG C X, et al. Effects of partially replacing fish meal with brewer's yeast meal on growth, antioxidant capacity, and liver and intestine tissue morphology of bullfrog [*Rana (Lithobates) catesbeiana*] [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(4):1864-1876.
- [20] 沙爱龙, 赵雪雯, 何璐汐, 等. 两种茶提取物对牛蛙心脏和骨骼肌影响的比较及机制研究[J]. *西南农业学报*, 2021, 34(10):2301-2306.  
SHA A L, ZHAO X W, HE L X, et al. Comparative study on effects of two tea extracts on heart and skeletal muscle of bullfrog and its mechanism [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2021, 34(10):2301-2306.
- [21] RIOS F M, WILCOXEN T E, ZIMMERMAN L M. Effects of imidacloprid on *Rana catesbeiana* immune and nervous system [J]. *Chemosphere*, 2017, 188:465-469.
- [22] NAKAJIMA A, OKADA M, ISHIHARA A, et al. Modulation of plasma protein expression in bullfrog (*Rana catesbeiana*) tadpoles during seasonal acclimatization and thermal acclimation [J]. *General and Comparative Endocrinology*, 2020, 290:113396.
- [23] POWELL G L, RUSSELL A P. Growth and sexual size dimorphism in Alberta populations of the eastern short-horned lizard, *Phrynosoma douglassi brevirostre* [J]. *Canadian Journal of Zoology*, 1985, 63(1):139-154.
- [24] 郑荣泉, 杜卫国, 寿鹿. 黑斑侧褶蛙的两性异形和雌性繁殖特征[J]. *动物学杂志*, 2002, 37(4):14-18.  
ZHENG R Q, DU W G, SHOU L. Sexual dimorphism and female reproductive characteristics in the black-spotted pond frog, *Pelophylax nigromaculata* [J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2002, 37(4):14-18.
- [25] SHINE R. Sexual selection and sexual dimorphism in the Amphibia [J]. *Copeia*, 1979, 1979(2):297-306.
- [26] KATSIKAROS K, SHINE R. Sexual dimorphism in the tusked frog, *Adelotus brevis* (Anura: Myobatrachidae): the roles of natural and sexual selection [J]. *Biological Journal of the Linnean Society*, 1997, 60(1):39-51.
- [27] 贺佳飞, 周伟, 李明会. 多疣狭口蛙繁殖生态初步观察[J]. *浙江林学院学报*, 2006, 23(3):311-315.  
HE J F, ZHOU W, LI M H. Preliminary observation on reproductive ecology of *Kaloula verrucosa* [J]. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 2006, 23(3):311-315.



- [28] 施林强,张秀琴,马小梅. 泽陆蛙(*Fejervarya limnocharis*)两性异形个体发育和雌体繁殖[J]. 生态学杂志, 2011, 30(4): 717-723.  
SHI L Q, ZHANG X Q, MA X M. Ontogeny in sexual dimorphism and female reproduction of rice frog *Fejervarya limnocharis*[J]. Chinese Journal of Ecology, 2011, 30(4): 717-723.
- [29] 薛薇. 统计分析与 SPSS 的应用[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2007.  
XUE W. Statistical analysis and SPSS application[M]. Beijing: China Renmin University Press, 2007.
- [30] 王新安, 马爱军, 许可, 等. 大菱鲂幼鱼表型形态性状与体重之间的关系[J]. 动物学报, 2008, 54(3): 540-545.  
WANG X A, MA A J, XU K, et al. Relationship between morphometric attributes and body weight of juvenile turbot *Scophthalmus maximus*[J]. Acta Zoologica Sinica, 2008, 54(3): 540-545.
- [31] 姚冲学, 王智红, 王方, 等. 饰纹姬蛙的两性异形及雌性繁殖能力[J]. 动物学杂志, 2020, 55(3): 317-322.  
YAO C X, WANG Z H, WANG F, et al. Sexual dimorphism and female reproductive ability of *Microhyla fissipes*[J]. Chinese Journal of Zoology, 2020, 55(3): 317-322.
- [32] 李艳慧, 陈生熬, 程勇. 叶尔羌高原鳅形态性状与体重的通径分析及曲线拟合[J]. 中国水产科学, 2022, 29(1): 49-57.  
LI Y H, CHEN S A, CHENG Y. Path analysis and growth curve fitting of morphological traits and body weight of *Triplophysa yarkandensis*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2022, 29(1): 49-57.
- [33] 李四发, 王成辉, 刘志国, 等. 三种红鲤生长性状的杂种优势与遗传相关分析[J]. 水产学报, 2006, 30(2): 175-180.  
LI S F, WANG C H, LIU Z G, et al. Analysis of heterosis and genetic correlation of growth traits in three variants of red common carp[J]. Journal of Fisheries of China, 2006, 30(2): 175-180.

## Animal Sciences

### Determination of Visceral Organs Index and Relationship of Quantifiable Characteristics on *Rana catesbeiana*

LIU Mei, XU Zhixiang, TANG Fahui

(Chongqing Key Laboratory of Animal Biology, College of Life Sciences,  
Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

**Abstract:** [Purposes] It measured the visceral organs index of *Rana catesbeiana* and analyzed the relationship between various quantitative characteristics, and obtained breeding indicators for *R. catesbeiana*. [Methods] After dissecting 42 female and 38 male bullfrogs and obtaining the quantifiable data of body length, body width, head length, body mass and organ mass, the relationship between those different quantifiable characteristics of *R. catesbeiana* were analyzed based on several statistical methods such as independent sample *t*-test, Mann-Whitney *U*-test and multiple regression analysis. [Results] All the correlation coefficients between each pair of quantifiable characteristics were significant ( $p < 0.01$ ). The head-to-body ratio and bilateral lung index of the males were larger than that of the females, and the differences were significant ( $p < 0.01$ ). The gonad index of the females was larger than that of the males, and the difference was significant ( $p < 0.01$ ); while there was no significant difference in liver index, heart index, kidney index and fat body index between the males and the females. The main quantifiable characteristics most closely related to the body mass for females were body width, head length, fat body mass, gonad mass and bilateral lung mass, however, the main quantifiable characteristics most closely related to the body mass for males were body width, body length, fat body mass, heart mass and bilateral lung mass. [Conclusions] According to the above series of studies, it was conclude that there are many factors that affect the body mass of the females and the males. Except those common factors (such as body width and fat body mass), some different ones (such as head length, gonad mass and heart mass) were found for those female and male individuals, which indicated that there were certain sexual differences existed in the main characterization components that affect body mass. Based on the above studies, it was conclude that body mass, body length, body width and head length could be used as breeding indicators in the breeding of *R. catesbeiana*, among which body mass was the preferred breeding indicator, and body width was the secondary breeding indicator.

**Keywords:** *Rana catesbeiana*; quantifiable characteristics; visceral organs; visceral organs index; body mass

(责任编辑 方 兴)