

中华蟾蜍体重及脏器大小对禁食和重喂食处理的响应

张莹 高慧清 王志 徐嘉 姚健 王红 张志强*

安徽农业大学动物科技学院 合肥 230036

摘要: 两栖动物的体重和内脏器官大小可随环境条件而变化, 具有表型可塑性, 但实验例证较少, 尤其缺乏与可变的食物可利用性有关的研究。本研究以捕自安徽省定远县县郊的雌、雄中华蟾蜍 (*Bufo gargarizans*) 为研究对象, 测定了自由取食组、禁食 1 周组、禁食 2 周组、重喂食 1 周组和重喂食 2 周组其体重、内脏器官湿重和干重的变化情况。1) 中华蟾蜍的体重、胴体湿重和干重均无明显的性别 ($P > 0.05$) 和组间 ($P > 0.05$) 差异。2) 雌蟾胃的湿重、干重和大肠湿重高于雄蟾 ($P < 0.05$), 其他内脏器官 (小肠、胸腺、心、肝、肺、脂肪体、脾和肾) 的湿重和干重均无性别差异 ($P > 0.05$); 雄蟾上述指标均无组间差异 ($P > 0.05$); 雌蟾的胃湿重和大肠湿重均无组间差异 ($P > 0.05$), 但胃干重自由取食组高于重喂食 1 周组 ($P < 0.05$)。禁食 2 周组的小肠湿重下降, 低于自由取食组、重喂食 1 周和 2 周组 ($P < 0.05$)。3) 禁食 1 周组的心湿重高于重喂食 2 周组 ($P < 0.05$)。结果表明, 中华蟾蜍在整体水平不受短期禁食和重喂食处理的影响, 器官水平可能主要依赖适度饥饿而导致的心肌功能的提升和消化道的可塑性来应对变化的食物条件。

关键词: 中华蟾蜍; 表型可塑性; 内脏器官; 禁食; 重喂食

中图分类号: Q954.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2017) 02-294-10

Body Mass and Internal Organ Size Response to Fasting and Refeeding Treatments in Asiatic Toads (*Bufo gargarizans*)

ZHANG Ying GAO Hui-Qing WANG Zhi XU Jia YAO Jian
WANG Hong ZHANG Zhi-Qiang*

College of Animal Science and Technology, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China

Abstract: The body mass and internal organ size may change with different environmental conditions and display phenotypic plasticity in amphibians. However, empirical evidence testing the theory of phenotypic plasticity is still scarce, especially for specific experiments associated with ever-changing food availability.

基金项目 国家自然科学基金面上项目 (No. 31170379), 安徽农业大学大学生科技创新创业训练计划“创新训练”项目 (No. XJ2015170, XJ2015177);

* 通讯作者, E-mail: zzq-003@163.com;

第一作者介绍 张莹, 女, 大学本科生; 研究方向: 水产养殖学; E-mail: 645319948@qq.com。

收稿日期: 2016-05-24, 修回日期: 2016-10-25 DOI: 10.13859/j.cjz.201702013

The changes of body mass, as well as wet and dry mass of internal organs from five groups (feeding, fasting for one week, fasting for two weeks, re-feeding for one week, and re-feeding for two weeks) were measured in Asiatic Toads (*Bufo gargarizans*) captured at Dingyuan County, Anhui Province. Two-way ANOVA was performed to analyze the sex and group differences for body mass. Two-way ANCOVA with body mass (or carcass dry mass) as a covariate was performed to analyze the sex and group differences for carcass wet mass and dry mass as well as the wet mass and dry mass of internal organs. All values are represented as the mean \pm SE, and $P < 0.05$ was considered as the level for statistical significance. The software SPSS (13.0, USA) was used for data analysis. The results were as follows: 1) Body mass, carcass wet mass and dry mass did not show significant sex (Table 1, all $P > 0.05$) and group (Table 1, all $P > 0.05$) differences. 2) Stomach wet mass (Fig. 1a, $P < 0.05$) and dry (Fig. 1b, $P < 0.05$) mass, as well as large intestine wet mass (Fig. 1c, $P < 0.05$) was heavier in females than in males. However, no sex difference was observed for the wet mass (Table 2, all $P > 0.05$) and dry (Table 3, all $P > 0.05$) mass of other internal organs (small intestine, thymus, heart, liver, lung, fat body, spleen and kidney). In males, no group difference was found for stomach wet mass (Fig. 1a, $P < 0.05$) and dry (Fig. 1b, $P < 0.05$) mass, as well as large intestine wet mass (Fig. 1c, $P < 0.05$). In females, stomach dry mass was heavier in feeding group than that in the group re-feeding for one week (Fig. 1b, $P < 0.05$), but no difference was observed for the wet mass of stomach (Fig. 1a, $P < 0.05$) or large intestine (Fig. 1c, $P < 0.05$). Small intestine wet mass was greatly declined in the group fasting for two weeks, lower than that of feeding group and re-feeding groups (Fig. 1d, $P < 0.05$). 3) Heart wet mass in the group fasting for one week was heavier than that in the group re-feeding for two weeks (Fig. 1e, $P < 0.05$). These results indicate that short-term fasting and re-feeding treatments had no obvious influence on Asiatic Toads at organismal levels; Asiatic Toads may mainly rely on enhanced heart functions induced by moderate starvation and the plasticity of digestive tract at organic levels to cope with changing food availability.

Key words: Asiatic Toads, *Bufo gargarizans*; Phenotypic plasticity; Internal organ; Fasting; Re-feeding

自然环境条件下，食物的可利用性（数量和质量）能严重影响脊椎动物的存活和繁殖能力。在温带地区，食物的可利用性常表现为明显的季节性波动。与鸟类和哺乳动物不同，两栖动物具有较强的耐受饥饿的能力，脏器（能量贮存、能量支出、能量获得和能量分配器官）大小能响应季节性环境条件（Pucek 1965, Naya et al. 2003, 2009a, 金晨晨等 2014a, b）或限食处理（Naya et al. 2005, 2009b）的挑战，是研究表型可塑性（phenotypic flexibility）理论的理想动物类群之一（Piersma et al. 2003, Naya et al. 2004）。野外或人工诱导冬眠状态下，两栖动物的体重和内脏器官大小都会发生适应性改变（吴云龙 1965, 邹寿昌 1985, 1988, 卢欣 1993, 冯照军等 2003）。然而，当前结合生

态学背景报道两栖动物脏器大小的研究仍很少（Naya et al. 2009a, 金晨晨等 2014a, b），尤其缺乏在实验室内严格控制环境变量的条件下，与表型可塑性有关的研究（Naya et al. 2004, 2009b）。

中华蟾蜍（*Bufo gargarizans*）是我国的广布种，种群数量较多，生存适应能力较强（费梁等 2009）。季节性环境条件下，中华蟾蜍的体重、内脏器官大小及血液生理生化等指标都表现出了不同程度的差别（金晨晨 2014），但尚无关于禁食和重喂食处理对其体重和脏器大小影响的研究。本文以分布于安徽省定远县的中华蟾蜍为研究对象，测定了自由取食组、禁食 1 周和 2 周组以及重喂食 1 周和 2 周组，其体重、内脏器官湿重和干重的连续变化情况，

旨在从整体和器官水平为表型可塑性理论提供实验证据,从生理生态学和进化生物学角度为预测两栖动物的未来命运提供基础参考资料。

1 材料与方法

1.1 实验动物

2015年7月中下旬于安徽省定远县永康镇青山乡(32°33'0"N, 117°27'36"E)捕捉成体中华蟾蜍,于捕获次日运输至合肥市安徽农业大学动物科技学院动物生理生态学实验室。选取体重接近的40只蟾蜍(雄蟾: $n=13$;雌蟾: $n=27$),暂养于塑料箱(长×宽×高=90 cm×40 cm×50 cm)内,每箱8只动物,空调控温(25±1)℃,每日8:00时开灯,20:00时关灯。每日定时喷洒曝气24 h以上的自来水,保持箱体湿润,喂食足量的黄粉虫(以每次喂食后,第2天仍有未被食用的活黄粉虫为标准),每3 d清理一次食物残渣和污水,室内暂养10 d后,开始正式实验。

1.2 实验分组

将塑料箱内暂养的5箱共40只中华蟾蜍随机选取一箱共8只个体作为自由取食组(第0天,6雌2雄);之后,剩余的4箱共32只个体均做禁食处理,只给水,不喂食。禁食7 d后,随机选取一箱共8只个体处死取材,作为禁食1周组(第7天,4雌4雄);剩余的3箱共24只个体继续禁食7 d,随机选取一箱共8只个体处死取材,作为禁食2周组(第14天,5雌3雄)。对剩余的2箱共16只个体,连续进行重喂食处理,分别于重喂食后第7天和第14天分别处死任一箱中的8只个体,作为重喂食1周组(第21天,5雌3雄)和重喂食2周组(第28天,7雌1雄)。自由取食组、重喂食1周组和重喂食2周组除给水外,均喂食足量的黄粉虫,每3 d清理一次食物残渣和污水。

1.3 取材

用DJ5001电子天平(福州华志科学仪器有限公司,精度0.1 g)称量动物的体重、胴体湿重和胴体干重;用JA2003N电子天平(上海

菁海仪器有限公司,精度0.001 g)称量各内脏器官的湿重、锡箔纸重和含有锡箔纸的器官干重。经电子天平测定体重、直尺测量体长(精度0.1 cm)后,用双毁髓法处死自由取食组、禁食1周组、禁食2周组、重喂食1周组和重喂食2周组的动物。立即解剖取出胸腺、心、肝、肺、脂肪体、脾、肾和精巢(或卵巢),以及胃、小肠和大肠,称量各内脏器官和胴体的湿重,称量时先剔除器官表面附着的结缔组织,以及胃、小肠和大肠的内容物,并用滤纸吸干器官表面的水分。然后,称量锡箔纸的纸重,再把各内脏器官(小肠、脾和肾除外,另作他用)和胴体用锡箔纸包好,置于65℃恒温干燥箱(精度为0.5℃,江苏省金坛市杰瑞尔电子有限公司,型号:DHG-9000A)烘至恒重后,称量胴体和脏器的干重。内脏器官的干重(g)=烘干后的内脏器官和锡箔纸的总重量(g)-包裹内脏器官的锡箔纸的重量(g)。

1.4 统计分析

用SPSS 13.0 for windows 进行数据处理。经方差齐次性检验,对小肠湿重进行对数转换,胸腺湿重和大肠干重进行反正弦转换,使上述参数符合正态分布。双因素方差分析(two-way ANOVA)比较体重的性别和组间差异。以体重为协变量,双因素协方差(two-way ANCOVA)分析比较胴体湿重、胴体干重及各器官湿重的性别和组间差异;以胴体干重为协变量,双因素协方差分析比较各器官干重的性别和组间差异。若上述指标有性别差异,用独立样本 t 检验(independent sample t test)进行组内比较;以体重(或胴体干重)为协变量,用单因素协方差(one-way ANCOVA)分析分别比较雌蟾或雄蟾各项指标的组间差异,以及卵巢或睾丸湿重(或干重)的组间差异。文中数值均以平均值±标准误(Mean±SE)表示, $P<0.05$ 为差异显著。

2 结果

2.1 禁食和重喂食对中华蟾蜍体重、胴体湿重

及干重的影响

中华蟾蜍的体重、胴体湿重和干重均不受禁食和重喂食处理的影响，无性别差异，也无组间差异，性别和组别对上述指标也无交互作用（表 1）。

2.2 禁食和重喂食对中华蟾蜍脏器湿重和干重的影响

除雌蟾胃的湿重 ($F_{(1, 29)} = 7.491, P < 0.05$, 图 1a) 和干重 ($F_{(1, 29)} = 11.747, P < 0.05$, 图 1b) 及大肠湿重 ($F_{(1, 29)} = 4.278, P < 0.05$, 图 1c) 高于雄蟾外，其他内脏器官的湿重和干重均无性别差异，性别和组别对各器官的湿重(表 2) 和干重(表 3) 也无交互作用。雄蟾胃的湿重 ($F_{(4,7)} = 1.128, P > 0.05$, 图 1a) 和干重 ($F_{(4,7)} = 0.916, P > 0.05$, 图 1b) 及大肠湿重 ($F_{(4,7)} = 2.401, P > 0.05$, 图 1c) 均无组间差异；雌蟾的胃湿重 ($F_{(4, 21)} = 2.610, P > 0.05$, 图 1a) 和大肠湿重 ($F_{(4, 21)} = 1.931, P > 0.05$, 图 1c) 也无组间差异，但胃干重自由取食组显著高于重喂食 1 周组 ($F_{(4, 21)} = 10.736, P > 0.05$, 图 1b)。小肠湿重禁食 2 周组与禁食 1 周组接近，但显著低于自由取食组、重喂食 1 周和 2 周组 ($F_{(4, 29)} = 3.357, P < 0.05$, 图 1d)。禁食 1 周组的心湿重与自由取食组、禁食 2 周组和重喂食 1 周组的动物接近，但显著高于重喂食 2 周组 ($F_{(4, 29)} = 3.054, P < 0.05$, 图 1e)。

3 讨论

整体水平上，禁食和重喂食处理对雌、雄中华蟾蜍的体重、胴体湿重和干重均无明显影响；器官水平上，雌蟾的胃干重自由取食组高于重喂食 1 周组，小肠湿重随着禁食时间的延长而下降，心湿重禁食 1 周组高于重喂食 2 周组。适度饥饿并不导致中华蟾蜍身体质量的明显下降，胃和小肠及心肌功能对禁食和重喂食处理表现出了明显的可塑性变化。

3.1 中华蟾蜍整体水平对禁食和重喂食处理的响应

体重的稳态与能量收支的相对平衡状态有

关，其变化可反映有机体的能量盈亏水平。经禁食和重喂食处理，中华蟾蜍的体重、胴体湿重和干重均无性别差异，也无明显的组间差异。研究表明，禁食对安第斯刺蟾 (*B. spinulosus*) 的体重也无明显影响，禁食组的体重与自由取食组和冬眠组接近 (Naya et al. 2009b)。蛙蟾类的体重有明显的性二型现象，雌性通常高于雄性 (廖灏泓等 2013, 金晨晨等 2014b)。季节性环境条件下，中华蟾蜍的体重和胴体湿重雌蟾都显著高于雄蟾 (金晨晨 2014)；黑斑侧褶蛙 (*Pelophylax nigromaculata*) 雌蛙的体重高于雄蛙 (金晨晨等 2014b)。然而，这两种动物的胴体干重均无性别差异，说明体重的性别差异可能主要与生殖腺的重量或身体的含水量有关 (金晨晨 2014, 金晨晨等 2014b)。本文实验用的中华蟾蜍捕自 2015 年 7 月下旬，雌、雄蟾都处于繁殖后期，雌蟾的生殖腺重量显著低于繁殖前期，而精巢的重量无明显的季节变化，这可能是体重未检出性别差异的主要原因。相对于季节变化的长时间尺度，在短期禁食和重喂食条件下，中华蟾蜍维持体重的稳定与其耐受饥饿的习性有关，有利于抵御短期恶化的食物条件，使其处于能量平衡状态。

3.2 中华蟾蜍能量贮存和能量支出器官对禁食和重喂食处理的响应

与两栖动物的能量摄入和能量支出全程相关，其体内的多种内脏器官可归类于不同的功能群，即以肝和脂肪体为代表的能量贮存器官、以睾丸(或卵巢)等为代表的能量支出器官、以消化器官为代表的能量获取器官和以心、肺及肾等为代表的能量分配器官 (Naya et al. 2008)。然而，同一功能群内执行相似功能的这些内脏器官大小的变化趋势并不一定保持一致，这提示在器官水平上两栖动物对变化的环境条件的反应具有物种特异性 (Naya et al. 2009b)。

中华蟾蜍的能量贮存和能量支出器官不随食物条件的变化而变化，经禁食和重喂食处理后肝和脂肪体的大小均维持平衡状态，这可能

表 1 禁食和重喂食对中华蝾螈体重、胴体湿重及干重的影响
 Table 1 Effects of fasting and refeeding on body mass, carcass wet and dry mass in Asiatic Toads

	性别 Sex	自由取食组 Feeding group	禁食和重喂食处理				F 值和 P 值			
			禁食 1 周组 Fasting for one week	禁食 2 周组 Fasting for two weeks	重喂食 1 周组 Re-feeding for one week	重喂食 2 周组 Re-feeding for two weeks	性别 Sex	组别 Groups	性别 × 组别 Sex × Groups	
样本量 Sample size	雄 Male 雌 Female	2 6	4 4	3 5	3 5	1 7				
体重 (g) Body mass	雄 Male 雌 Female	68.3 ± 9.8 99.3 ± 6.3	80.7 ± 4.1 88.8 ± 14.1	91.0 ± 26.7 80.6 ± 11.1	55.8 ± 5.0 95.6 ± 21.4	77.1 92.7 ± 8.0	$F_{(1,30)} = 2.771$ $P > 0.05$	$F_{(4,30)} = 0.163$ $P > 0.05$	$F_{(4,30)} = 0.936$ $P > 0.05$	
胴体湿重 (g) Wet carcass mass	雄 Male 雌 Female	47.6 ± 6.6 59.6 ± 4.7	50.5 ± 5.6 53.6 ± 6.9	51.8 ± 3.8 46.9 ± 5.9	36.9 ± 2.6 55.4 ± 11.2	40.7 48.7 ± 4.4	$F_{(1,29)} = 0.012$ $P > 0.05$	$F_{(4,29)} = 1.425$ $P > 0.05$	$F_{(4,29)} = 0.043$ $P > 0.05$	
胴体干重 (g) Dry carcass mass	雄 Male 雌 Female	12.6 ± 1.7 16.0 ± 1.6	13.1 ± 1.8 13.9 ± 1.9	14.1 ± 1.5 12.1 ± 1.5	9.2 ± 0.7 15.0 ± 3.1	10.9 12.8 ± 1.1	$F_{(1,29)} = 0.045$ $P > 0.05$	$F_{(4,29)} = 0.935$ $P > 0.05$	$F_{(4,29)} = 0.133$ $P > 0.05$	

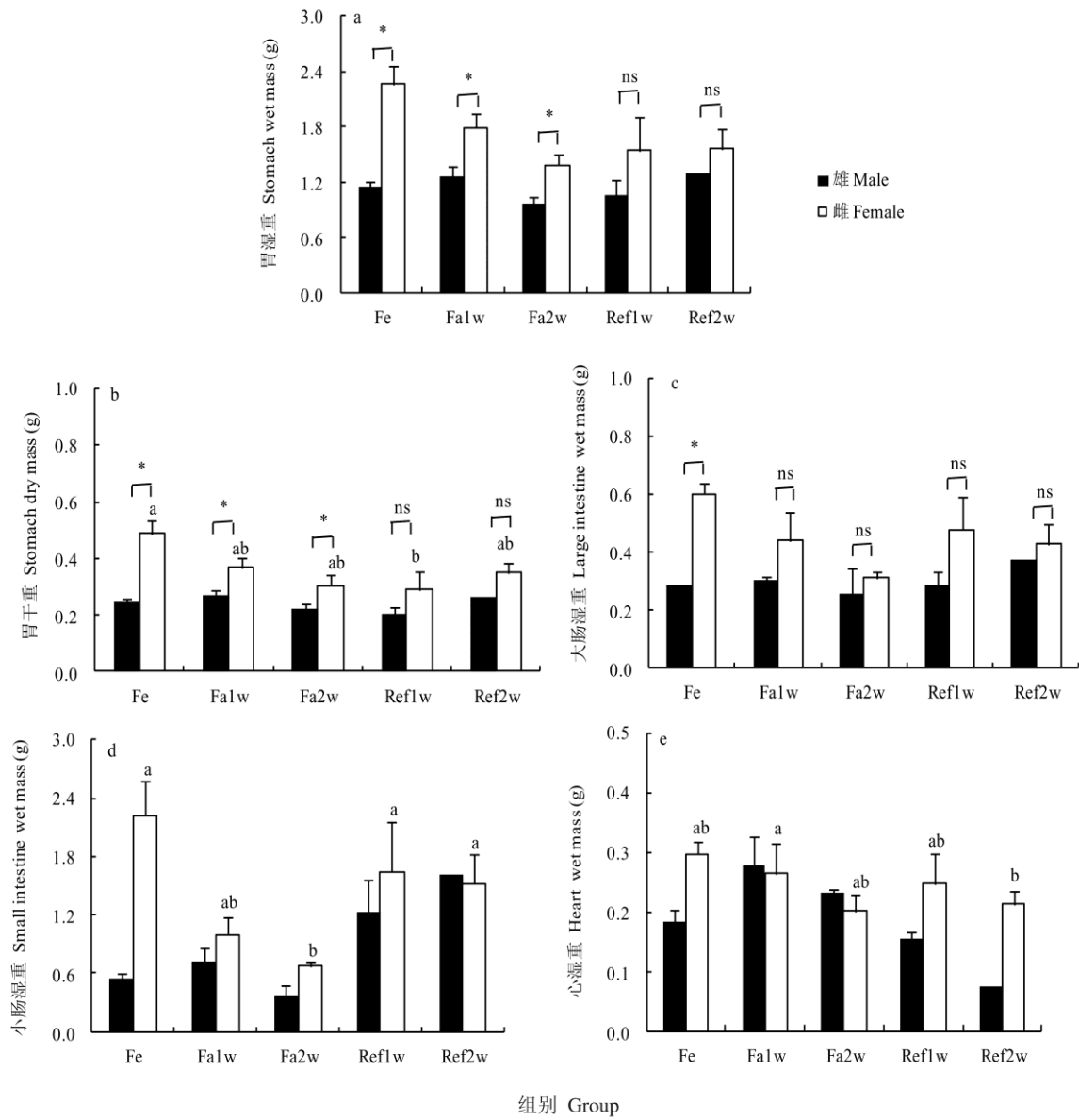


图 1 禁食和重喂食对中华蟾蜍消化道重量及心湿重的影响

Fig. 1 Effects of fasting and refeeding on the digestive tract mass and heart wet mass in Asiatic Toads

a. 胃湿重; b. 胃干重; c. 大肠湿重; d. 小肠湿重; e. 心湿重。

a. Stomach wet mass; b. Stomach dry mass; c. Large intestine wet mass; d. Small intestine wet mass; e. Heart wet mass.

Fe. 自由取食组; Fa1w. 禁食 1 周组; Fa2w. 禁食 2 周组; Ref1w. 重喂食 1 周组; Ref2w. 重喂食 2 周组。柱上不同字母代表组间差异显著 (a > b)。*。性别差异显著; ns. 性别差异不显著。

Fe. Feeding group; Fa1w. Fasting for one week; Fa2w. Fasting for two weeks; Ref1w. Refeeding for one week; Ref2w. Refeeding for two weeks. Different letters above the columns represent significant differences among groups (a > b). Asterisk means significant sex differences; ns. Not significant between sexes.

表 3 禁食和重喂食对中华蟾蜍器官干重的影响
 Table 3 Effects of fasting and refeeding on dry mass of internal organs in Asiatic Toads

样本量 Sample size	性别 Sex	自由取食组 Feeding group	禁食 1 周组 Fasting for one week				禁食 2 周组 Fasting for two weeks				重喂食 1 周组 Re-feeding for one week				重喂食 2 周组 Re-feeding for two weeks				F 值和 P 值、F 和 P 值			
			禁食 1 周组 Fasting for one week		禁食 2 周组 Fasting for two weeks		重喂食 1 周组 Re-feeding for one week		重喂食 2 周组 Re-feeding for two weeks		性别 Sex		组别 Groups		性别 × 组别 Sex × Groups							
			4	4	3	5	3	5	1	7												
心 Heart (g)	雄 Male	0.038 ± 0.004	0.061 ± 0.012	0.059 ± 0.001	0.059 ± 0.001	0.036 ± 0.001	0.020	$F_{(1,29)} = 2.672$	$F_{(4,29)} = 0.578$	$F_{(1,29)} = 2.672$	$F_{(4,29)} = 0.578$	$F_{(1,29)} = 2.672$	$F_{(4,29)} = 0.578$	$F_{(1,29)} = 2.672$	$F_{(4,29)} = 0.578$	$F_{(4,29)} = 0.234$	$P > 0.05$					
	雌 Female	0.065 ± 0.011	0.076 ± 0.032	0.048 ± 0.006	0.048 ± 0.006	0.053 ± 0.010	0.063 ± 0.004	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$					
肺 Lungs (g)	雄 Male	0.078 ± 0.012	0.142 ± 0.046	0.102 ± 0.011	0.102 ± 0.011	0.069 ± 0.007	0.078	$F_{(1,29)} = 0.264$	$F_{(4,29)} = 0.534$	$F_{(1,29)} = 0.264$	$F_{(4,29)} = 0.534$	$F_{(1,29)} = 0.264$	$F_{(4,29)} = 0.534$	$F_{(1,29)} = 0.264$	$F_{(4,29)} = 0.534$	$F_{(4,29)} = 0.070$	$P > 0.05$					
	雌 Female	0.158 ± 0.033	0.104 ± 0.018	0.123 ± 0.021	0.123 ± 0.021	0.124 ± 0.023	0.127 ± 0.008	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$					
肝 Livers (g)	雄 Male	0.603 ± 0.052	1.177 ± 0.369	1.548 ± 0.303	1.548 ± 0.303	0.826 ± 0.144	1.152	$F_{(1,29)} = 0.631$	$F_{(4,29)} = 0.941$	$F_{(1,29)} = 0.631$	$F_{(4,29)} = 0.941$	$F_{(1,29)} = 0.631$	$F_{(4,29)} = 0.941$	$F_{(1,29)} = 0.631$	$F_{(4,29)} = 0.941$	$F_{(4,29)} = 0.599$	$P > 0.05$					
	雌 Female	1.577 ± 0.285	1.234 ± 0.184	1.449 ± 0.344	1.449 ± 0.344	1.465 ± 0.435	1.642 ± 0.231	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$					
脂肪体 Fat bodies (g)	雄 Male	0.365 ± 0.166	0.876 ± 0.425	1.222 ± 0.185	1.222 ± 0.185	0.581 ± 0.086	1.013	$F_{(1,29)} = 1.191$	$F_{(4,29)} = 0.657$	$F_{(1,29)} = 1.191$	$F_{(4,29)} = 0.657$	$F_{(1,29)} = 1.191$	$F_{(4,29)} = 0.657$	$F_{(1,29)} = 1.191$	$F_{(4,29)} = 0.657$	$F_{(4,29)} = 0.542$	$P > 0.05$					
	雌 Female	1.370 ± 0.335	1.290 ± 0.288	1.103 ± 0.269	1.103 ± 0.269	0.720 ± 0.268	1.432 ± 0.175	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$					
胸腺 Thymus (g)	雄 Male	0.018 ± 0.011	0.022 ± 0.008	0.010 ± 0.002	0.010 ± 0.002	0.020 ± 0.003	0.040	$F_{(1,29)} = 0.067$	$F_{(4,29)} = 1.965$	$F_{(1,29)} = 0.067$	$F_{(4,29)} = 1.965$	$F_{(1,29)} = 0.067$	$F_{(4,29)} = 1.965$	$F_{(1,29)} = 0.067$	$F_{(4,29)} = 1.965$	$F_{(4,29)} = 1.627$	$P > 0.05$					
	雌 Female	0.031 ± 0.004	0.067 ± 0.023	0.035 ± 0.009	0.035 ± 0.009	0.023 ± 0.007	0.039 ± 0.009	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$					
大肠 Large intestine (g)	雄 Male	0.053 ± 0.003	0.068 ± 0.007	0.056 ± 0.016	0.056 ± 0.016	0.055 ± 0.008	0.073	$F_{(1,29)} = 0.037$	$F_{(4,29)} = 0.797$	$F_{(1,29)} = 0.037$	$F_{(4,29)} = 0.797$	$F_{(1,29)} = 0.037$	$F_{(4,29)} = 0.797$	$F_{(1,29)} = 0.037$	$F_{(4,29)} = 0.797$	$F_{(4,29)} = 0.077$	$P > 0.05$					
	雌 Female	0.114 ± 0.008	0.079 ± 0.016	0.067 ± 0.006	0.067 ± 0.006	0.093 ± 0.022	0.126 ± 0.032	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$					
睾丸 Testes (g)	雄 Male	0.160 ± 0.054	0.214 ± 0.063	0.245 ± 0.081	0.245 ± 0.081	0.168 ± 0.061	0.429	$F_{(4,7)} = 0.873$	$P > 0.05$	$F_{(4,7)} = 0.873$	$P > 0.05$	$F_{(4,7)} = 0.873$	$P > 0.05$	$F_{(4,7)} = 0.873$	$P > 0.05$	$F_{(4,7)} = 0.873$	$P > 0.05$					
卵巢 Ovaries (g)	雌 Female	5.408 ± 1.442	5.329 ± 1.614	3.629 ± 1.257	3.629 ± 1.257	6.315 ± 0.875	4.971 ± 1.059	$F_{(4,21)} = 0.371$	$P > 0.05$	$F_{(4,21)} = 0.371$	$P > 0.05$	$F_{(4,21)} = 0.371$	$P > 0.05$	$F_{(4,21)} = 0.371$	$P > 0.05$	$F_{(4,21)} = 0.371$	$P > 0.05$					

与饥饿时间较短有关。作为两栖动物体内主要的能量贮存器官，肝和脂肪体的大小随季节而变化 (Naya et al. 2009b, 金晨晨等 2014)。例如，中华蟾蜍冬眠后的肝和脂肪体大小均较冬眠前有明显的下降 (邹寿昌 1985)；金线侧褶蛙 (*P. plancyi*) 雌、雄蛙的肝系数均在冬眠后显著下降，但雄蛙的脂肪体系数冬眠前后无明显变化，雌蛙则明显下降 (冯照军等 2003)。安第斯刺蟾的肝干重自由取食组高于冬眠组，但与禁食组之间无显著差异，其大小受季节和食物条件的双重影响；脂肪体干重禁食组与自由取食组之间无差异，但两组都显著高于冬眠组，说明食物条件不影响脂肪体的大小 (Naya et al. 2009b)。作为主要的能量支出器官，与能量贮存器官的变化趋势相一致，中华蟾蜍辜丸 (或卵巢) 的湿重和干重也未见明显的组间差异，这与自由取食状态、禁食和冬眠状态下安第斯刺蟾的变化趋势相同 (Naya et al. 2009b)。季节性环境条件下，黑斑侧褶蛙卵巢的干重秋季最高，春季最低，但辜丸的干重无季节性差异 (金晨晨等 2014)；花背蟾蜍 (*Pseudepidalea raddei*) 冬眠前后辜丸系数显著升高，但卵巢和输卵管系数与冬眠前相比无显著差异 (邹寿昌 1988)。繁殖器官大小的季节性变化与两栖动物的繁殖节律相适应，食物的丰歉程度可能不是影响其大小的主要因素。

3.3 中华蟾蜍能量获取和能量分配器官对禁食和重喂食处理的响应

中华蟾蜍的能量获取器官随着禁食时间的延长而变化，如雌蟾的胃干重自由取食组与禁食组无差异，但显著高于重喂食 1 周组。两栖动物中，胃主要执行贮存食物和机械消化的功能，中华蟾蜍的胃干重在重喂食后表现出一定的滞后效应，这可能与重新处理食物需要激活胃内消化酶的活力及消耗能量有关，也可能与饥饿后再喂食会损伤胃的组织结构有关。小肠是两栖动物消化和吸收食物的主要器官，中华蟾蜍的小肠湿重随食物条件而表现出了明显的可塑性，这可能是其应对短期食物资源短缺的

主要策略之一。成年牛蛙 (*Rana catesbeiana*) 的肠道湿重不受食物成分的影响 (Toloza et al. 1990)，但在禁食和冬眠状态下，安第斯刺蟾胃和小肠的湿重都低于自由取食组 (Naya et al. 2009b)。脊椎动物的消化系统是对环境反应最为灵活的系统之一，禁食或冬眠 (或夏眠) 状态在器官水平即可显著影响消化道的可塑性 (Starck 1999, McWilliams et al. 2001, Naya et al. 2004, Starck 2005, Karasov et al. 2011)，也可随季节而变化 (Naya et al. 2004, Cramp et al. 2005a, b, Secor 2005b, Secor et al. 2010)。

中华蟾蜍的心湿重禁食 1 周组高于重喂食 2 周组，但心、肺和肾的干重无组间差异。禁食和冬眠状态下，安第斯刺蟾的肾干重显著低于自由取食组，但心和肺的干重也无组间差异 (Naya et al. 2009b)。为了维持冬眠和夏眠状态，两栖动物的心大小在蛰眠期间并不发生改变 (Loveridge et al. 1981, Sector 2005a)，也不随着季节而波动 (金晨晨等 2014b)。禁食 1 周时，中华蟾蜍为维持其他器官功能的稳定，心输血量加强，但并不随着禁食时间的延长而下降，这与冬眠状态相似；而在重喂食 2 周后心功能趋弱，这可能与心将血液更多地供给功能加强的其他器官有关，如增大的消化器官。

总之，中华蟾蜍在整体水平上，对禁食和重喂食处理没有表现出明显的响应，但在器官水平上，中华蟾蜍可能主要依赖心肌功能的短暂提升来延缓饥饿对机体的影响，并通过消化道的可塑性来适应食物资源短缺或丰盛的环境条件。

致谢 感谢安徽农业大学动物科技学院 2014 级本科生曹利、王嘉丰、连丽燕和柯娅等同学参与部分实验过程。

参 考 文 献

- Cramp R L, Franklin C E. 2005a. Arousal and re-feeding rapidly restores digestive tract morphology following aestivation in green-striped burrowing frogs. *Comparative Biochemistry & Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 142(4):

- 451–460.
- Cramp R L, Franklin C E, Meyer E A. 2005b. The impact of prolonged fasting during aestivation on the structure of the small intestine in the green-striped burrowing frog, *Cyclorana alboguttata*. *Acta Zoologica*, 86(1): 13–24.
- Karasov W H, Martínez del Río C, Carvieses-Vidal E. 2011. Ecological physiology of diet and digestive systems. *Annual Review of Physiology*, 73(1): 69–93.
- Loveridge J P, Wither P C. 1981. Metabolism and water balance of active and cocooned African bullfrogs, *Pyxicephalus adspersus*. *Physiological Zoology*, 54(2): 203–214.
- McWilliams S R, Karasov W H. 2001. Phenotypic flexibility in digestive system structure and function in migratory birds and its ecological significance. *Comparative Biochemistry & Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 128(3): 579–593.
- Naya D E, Bozinovic F. 2004. Digestive phenotypic flexibility in post-metamorphic amphibians: studies on a model organism. *Biological Research*, 37(3): 365–370.
- Naya D E, Farfat G, Mendez M, et al. 2005. Digestive performance in the Andean toad *Bufo spinulosus*: flexibility or hard-wired physiology? *Comparative Biochemistry & Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 140(2): 165–170.
- Naya D E, Maneyro R, Camargo A, et al. 2003. Annual changes in gut length of South American common frog (*Leptodactylus ocellatus*). *Biociencias*, 11(1): 47–52.
- Naya D E, Veloso C, Bozinovic F. 2008. Physiological flexibility in the Andean lizard *Liolaemus bellii*: seasonal changes in energy acquisition, storage and expenditure. *Journal of Comparative Physiology B: Biochemical Systemic & Environmental Physiology*, 178(8): 1007–1015.
- Naya D E, Veloso C, Bozinovic F. 2009a. Gut size variation among *Bufo spinulosus* populations along an altitudinal (and dietary) gradient. *Annales Zoologici Fennici*, 46(1): 16–20.
- Naya D E, Veloso C, Sabat P, et al. 2009b. The effect of short- and long-term fasting on digestive and metabolic flexibility in the Andean toad, *Bufo spinulosus*. *The Journal of Experimental Biology*, 212(14): 2167–2175.
- Piersma T, Drent J. 2003. Phenotypic flexibility and the evolution of organismal design. *Trends in Ecology & Evolution*, 18(5): 228–233.
- Pucek Z. 1965. Seasonal and age changes in the weight of internal organs of shrews. *Acta Theriologica*, 10(26): 369–438.
- Secor S M. 2005a. Physiology response to feeding, fasting and aestivation for anurans. *The Journal of Experimental Biology*, 208(15): 2595–2608.
- Secor S M. 2005b. Evolutionary and cellular mechanisms regulating intestinal performance of amphibians and reptiles. *Integrative & Comparative Biology*, 45(2): 282–294.
- Secor S M, Lignot J H. 2010. Morphological plasticity of vertebrate aestivation//Navas C A, Carvalho J D. *Aestivation: Molecular and Physiological Aspects*, *Progress in Molecular & Subcellular Biology*. Vol. 49. Berlin Heidelberg: Springer, 183–208.
- Starck J M. 1999. Structural flexibility of the gastro-intestinal tract of vertebrates-implications for evolutionary morphology. *Zoologischer Anzeiger*, 238(1): 87–101.
- Starck J M. 2005. Structural flexibility of the digestive system of tetrapods-patterns and processes at the cellular and tissue level//Starck J M, Wang T. *Physiological and Ecological Adaptations to Feeding in Vertebrates*. Enfield, New Hampshire: Science Publishers, 175–200.
- Tolosa E M, Diamond J M. 1990. Ontogenetic development of nutrient transporters in bullfrog intestine. *American Journal of Physiology-Gastrointestinal & Liver Physiology*, 258(5): 760–769.
- 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.
- 冯照军, 王永强, 刘海侠, 等. 2003. 金线蛙冬眠前后肥满度及部分内脏器官的变化. *四川动物*, 22(1): 29–30.
- 金晨晨. 2014. 中华蟾蜍免疫功能的性别和季节差异. 合肥: 安徽农业大学硕士学位论文.
- 金晨晨, 瞿康山, 张志强. 2014a. 黑斑侧褶蛙肥满度及脏器重量的性别和季节差异. *四川动物*, 33(1): 106–112.
- 金晨晨, 张志强. 2014b. 黑斑侧褶蛙消化道重量及长度的性别和季节差异. *动物学杂志*, 49(2): 207–214.
- 廖灏泓, 徐峰, 杨维康. 2013. 两栖爬行动物两性大小异形研究进展. *生态学杂志*, 32(11): 3082–3093.
- 卢欣. 1993. 太岳山丘陵地带中国林蛙成体的肥满度和某些器官系数的季节变化. *生态学杂志*, 12(4): 33–35.
- 吴云龙. 1965. 黑斑蛙自然冬眠时肥满度与某些内脏器官的变化. *动物学杂志*, 7(3): 116–119.
- 邹寿昌. 1985. 大蟾蜍冬眠期的肥满度及部分内脏器官的变化. *两栖爬行动物学报*, 4(4): 320–324.
- 邹寿昌. 1988. 花背蟾蜍冬眠期肥满度及部分内脏器官的变化. *四川动物*, 7(3): 34–35.