

# 树麻雀代谢率和器官重量在温度驯化中表型的可塑性变化

杨志宏<sup>1</sup>, 邵淑丽<sup>1</sup>, 柳劲松<sup>2\*</sup>

(1. 齐齐哈尔大学生命科学与工程学院, 黑龙江齐齐哈尔 161006; 2. 温州大学生命与环境科学学院, 浙江温州 325027)

**摘要:**为探讨温度对树麻雀基础代谢和代谢器官的表型可塑性变化,以人工气候箱驯养 4 周的光周期为 12L:12D、温度为 5℃(实验组)和 25℃(对照组)的两组成年树麻雀为研究对象,测定其体重、基础代谢率(BMR)、体脂和水分含量以及各器官、组织的湿重和干重。结果实验组麻雀的 BMR 显著升高,体脂含量和水分含量以及体重均没有显著变化;肝脏重量和肾脏湿重显著增加,干重增加不显著;总消化管干重、小肠干重、直肠湿重和干重显著降低( $P < 0.01$ ),胃湿重增加显著( $P < 0.05$ )。由此提示:环境温度改变引起麻雀各器官结构和功能能力相应的可塑性的调整变化,器官能耗总量的增加很可能是引起 BMR 升高的主要原因,是麻雀器官能耗与功能能力、摄食量与消化率乃至个体适合度价与环境因素进行能量预算的结果。

**关键词:** 麻雀; 基础代谢率(BMR); 器官重量; 温度驯化

中图分类号: Q959.7; Q494; Q495 文献标识码: A 文章编号: 1000-7083(2010)03-0382-04

## Phenotypic Flexibility of Metabolic Rate and Organ Masses in Tree Sparrows *Passer montanus* in Temperature Acclimation

YANG Zhi-hong<sup>1</sup>, SHAO Shu-li<sup>1</sup>, LIU Jin-song<sup>2\*</sup>

(1. College of Life Science and Engineering, Qiqihaer University, Qiqihaer, Heilongjiang Province 161006, China;  
2. School of Life and Environmental Sciences, Wenzhou University, Wenzhou, Zhejiang Province 325027, China)

**Abstract:** To explore the phenotypic plasticity of metabolic organs and metabolism in tree sparrows under different temperatures, adult tree sparrows were divided into 2 groups: an experimental group raised under a temperature of 5℃ and a control group raised under a temperature of 25℃. All animals had been domesticated for 4 weeks in an artificial climate box with a photoperiod of 12L:12D prior to the start of the experiment. We recorded following data: body weight, basal metabolic rate (BMR), body fat, body water, weights of dry organs and tissues, weights of wet organs and tissues. Results: sparrows in the experimental group were affected by the low temperature domestication, and their BMR increased markedly while there were no significant changes in body fat, body water, and body weight; both the weight of fresh liver and the weight of fresh kidney increased markedly, whereas the weight of dry kidney increased slightly. The weight of the total dry digestive tube, small intestine and rectum decreased remarkably ( $P < 0.01$ ). The weight of fresh stomach increased remarkably ( $P < 0.05$ ). Additionally, the results showed that the increase in total energy consumption of organs was likely to lead to an increase of BMR, and ambient temperature change was able to induce adaptive change of sparrow organs in structure and function. Energy capacity and function of organs, food intake and digestibility, are the result of the energy budget of an individual sparrow's fitness and environmental factors.

**Key words:** *Passer montanus*; basal metabolic rate (BMR); organ mass; temperature acclimation

最优化原理是生物学的重要研究手段之一(Maynard, 1978),它将能量的摄入和消费模式解释为自然选择的最优化(optimization)结果。动物的能量预算可以通过能量的输入和输出及包含在组织中总能量的增减来描述(张晓爱, 2001)。由于动物不

同的形态、结构设计和行为方式都会带来“价-益”结果(Veasey *et al.*, 1998)。因此,可以用能量的最优化原理来描述环境差异引起动物内部形态结构和功能能力的可塑性改变。基础代谢率(basal metabolic rate, BMR)作为鸟类能量消耗的重要参数已经受到

收稿日期:2009-06-23 接受日期:2009-09-12 基金项目:国家自然科学基金项目(No. 30670324 和 No. 30870377)和浙江省自然科学基金项目(No. Y506089)部分资助

作者简介:杨志宏,男,硕士研究生,研究方向:动物生理生态学, E-mail: yzh0452@163.com

\* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: ljs@wzu.edu.cn

环境生理学家、比较生理学家和生态生理学家的广泛关注,对于了解其能量需求与生活史对策、生理学和进化等具有重要意义(柳劲松等, 2004)。

鸟类的代谢产热特征反映了动物对环境的适应模式和生存能力,体现出生物多样性与环境之间相适应的关系(张国凯, 2008)。冷驯化往往使鸟类自身的能量需求发生改变(Williams & Tieleman, 2000)和引起鸟类的适应性产热(adaptive thermogenesis)能力相应上调(柳劲松等, 2004)。鸟类保持最适的能量平衡是其主要的生存对策之一,它影响着鸟类的分布和丰富度。鸟类应对环境的形态、生理和行为的适应与其能量利用密切相关(Eduardo *et al.*, 2002),也应与其能量的获得密切相关。体重的变化可以反映其营养状态和受环境变化的影响而进行的一些适应性调节,体重调节主要取决于能量摄入和能量支出的平衡(Ashton, 2002)。鸟类以脂肪的形式储存能量可以间接作基础代谢的能量来源,这对夜晚的体温维持意义重大(Swanson, 2001)。因此,环境因子改变将引起麻雀能量的摄入器官——消化道各器官和体内负责能量转化和储存、运输和利用的器官都将作出响应,发生相应的表型可塑性(phenotypic plasticity)的适应性变化,这种适应是先前固有的遗传特征对不同环境条件的适当表现(柳劲松, 2006a)。

目前不同器官对基础代谢的影响及贡献尚存争议,我国研究多以小型哺乳动物为主(宋志刚, 2003a、b),鸟类仅见柳劲松(2006b)、张国凯(2008)等报道。本文在比较的研究方法基础上,以温度驯化的麻雀为研究对象,运用最优化原理从能量学角度探讨能量与有机体结构与功能的联系。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验动物

麻雀于 2007 年 1 月捕自中国北方黑龙江省齐齐哈尔市(47°29'N, 124°02'E),齐齐哈尔大学动物饲养室饲养和适应(平均温度为 20℃,笼养密度为 20 只/笼)3 天后进行分组,将 40 只麻雀分别置于两个相同光周期(12L:12D)和不同温度的人工气候箱(除温度外,光周期、湿度和循环周期均相同)中进行驯养。分为实验组(5℃)和对照组(25℃),驯养时间为 4 周,适应和驯养期间饲喂相同的谷子(带壳),水充足。实验组和对照组驯养开始时的体重为(20.77 ± 0.28) g、(20.45 ± 0.34) g,体温驯养前后

分别为(42.28 ± 0.09)℃、(42.35 ± 0.08)℃, (40.89 ± 0.25)℃、(40.20 ± 0.27)℃。驯养前 40 只麻雀的 BMR 为(122.47 ± 10.16) mlO<sub>2</sub>/h 或(6.50 ± 0.41) mlO<sub>2</sub>/(h g), n = 20(20 只/40)。

### 1.2 体重和体温的测定

麻雀体重用 BS210S 电子天平称量(±0.1 g),体温测定采用数字式温度计(北京师范大学司南仪器厂生产)插入泄殖腔内 1.5 cm 测定温度记为体温。

### 1.3 基础代谢率(BMR)的测定

耗氧量参照 Górecki(1975)的方法,采用封闭式流体压力呼吸测定仪测定。环境温度 25℃,水浴控制温度,误差控制在 ±0.5℃;呼吸室体积 3.6 L。实验前动物禁食 4 h,单支放入铁丝制成的代谢笼内(6 cm × 6 cm × 10 cm)使其保持静止状态,再放入呼吸室内适应 1 h。然后每隔 5 min 记录一次耗氧量,测定时间至少持续 1 h。选择 3 个连续、稳定的最低值计算代谢率(BMR)。动物呼吸产生的 H<sub>2</sub>O 和 CO<sub>2</sub> 用硅胶和 KOH 吸收。测定时间为 18:00 ~ 4:00,并与气候箱的无光照时段同步。

### 1.4 体脂含量测定

BMR 测定结束后,处死并解剖麻雀。将去除消化道内容物的麻雀尸体用滤纸包好,置于 60℃ 的烘箱内烘干至恒重后,将干燥的尸体粉碎。每个个体分别称取 1 g 粉碎后的均匀粉末,用滤纸包好备用。采用索氏抽提法(AL-Mansour, 2004)测定麻雀的体脂含量。

### 1.5 器官重量的测定

BMR 测定结束,处死麻雀并分离出脑、心、肝、肺、肾和胸肌,仔细将消化道各器官取出,分离胃、小肠及大肠,小心剔除肠系膜,将器官纵切,生理盐水充分冲洗内容物,滤纸干燥,电子天平称量(±1 mg)记为湿重(Williams & Tieleman, 2000)。将各器官、组织置于 60℃ 烘箱内烘至恒重,称量记为干重。

### 1.6 统计分析

用 SPSS(16.0)软件包进行数据分析。体重、BMR、体脂含量和水分含量采用 *t*-检验检测组间差异。采用以体重为协变量的协方差分析器官重量,以消除体重的影响。文中数据以平均值 ± 标准误(Mean ± SE)表示,显著水平设为  $\alpha = 0.05$ ,  $P < 0.05$  则认为差异显著。

## 2 结果

### 2.1 体重和基础代谢率(BMR)

实验组 ( $n = 18$ ) 与对照组 ( $n = 18$ ) 麻雀体重 ( $19.83 \text{ g} \pm 0.23 \text{ g}$ ,  $19.22 \text{ g} \pm 0.47 \text{ g}$ ) 组间比较差异不显著 ( $F = 4.029$ ,  $P = 0.254$ ); 实验组 ( $n = 18$ ) 与对照组 ( $n = 18$ ) 麻雀的 BMR 分别为 ( $103.33 \pm 4.67$ )  $\text{mlO}_2/\text{h}$ 、( $90.00 \pm 3.79$ )  $\text{mlO}_2/\text{h}$  或 ( $5.22 \text{ ml} \pm 0.25 \text{ ml}$ )  $\text{O}_2/(\text{h g})$ 、( $4.68 \text{ ml} \pm 0.15 \text{ ml}$ )  $\text{O}_2/(\text{h g})$ , 实验组 BMR ( $\text{mlO}_2/\text{h}$ ) 比对照组增加 26%, 增加显著 ( $F = 0.338$ ,  $P < 0.05$ )、BMR ( $\text{mlO}_2/\text{h}$ ) 组间比较差异不显著。

## 2.2 体脂和水分含量

实验组 ( $n = 8$ ) 与对照组 ( $n = 8$ ) 麻雀体脂重量 (g)、体脂含量 (%) 和水分含量 (%) 分别为 ( $1.13 \pm 0.05$ 、 $1.32 \pm 0.17$ ,  $6.26 \pm 0.23$ 、 $7.64 \pm 0.88$ ,  $62.97 \pm 0.25$ 、 $61.84 \pm 0.60$ ), 组间比较体脂重量、体脂含量和水分含量的差异均不显著 ( $F = 9.267$ ,  $P = 0.250$ ;  $F = 12.126$ ,  $P = 0.112$ ;  $F = 7.647$ ,  $P = 0.077$ )。

## 2.3 器官重量

当体重校正为 20.2 g 时数据显示, 实验组麻雀肝脏的湿重和干重重量均比对照组增加了 30%, 增重极显著 ( $F = 38.78$ ,  $P < 0.001$ ;  $F = 40.19$ ,  $P < 0.001$ ); 肾脏湿重比对照组重量增加 25%, 差异极显著 ( $F = 8.326$ ,  $P < 0.01$ ); 胃湿重比对照组重量增加 11%, 重量增加显著 ( $F = 7.392$ ,  $P < 0.05$ ); 小肠干重、直肠湿重和干重、总消化管干重均比对照组降低 30%、34%、36% 和 15%, 差异极显著 ( $F = 20.776$ ,  $P < 0.01$ ;  $F = 15.465$ ,  $P < 0.01$ ;  $F = 10.568$ ,  $P < 0.01$ ;  $F = 11.642$ ,  $P < 0.01$ )。麻雀的脑、心脏、肺脏、胸肌的湿重和干重, 肾脏干重、胃干重、小肠湿重和总消化管湿重组间差异均不显著。

## 3 讨论

动物维持能耗的能量来源可以是体内能量储备转化和个体消化器官摄入这两种方式获得。驯化温度差异没有引起麻雀体重、体脂重量、体脂和水分含量的差异性变化, 低温环境中麻雀的体温维持需要消耗相对更多的能量并不是通过增加体重和体脂的方式来实现。也就是说, 低温驯化并没有引起麻雀体内能量储备的增加, 低温引起能需的增加主要是通过代谢活性器官的可塑性调整来改变食物的消化率或增加摄食量的方式来获取。

低温驯化引起麻雀 BMR 代谢水平显著升高的现象在家麻雀 *P. domesticus*、绒啄木鸟 *Picoides pu-*

表 1 温度对树麻雀器官和组织重量的影响  
Table 1 Effect of temperature on masses of organs and tissue in tree sparrows

项目 Item	5℃	25℃	P 值 P value
样本数 Sample size	10	10	
BRE (mg)	730.30 ± 16.14	722.60 ± 16.14	0.740
BRD (mg)	160.60 ± 3.53	161.50 ± 3.53	0.856
HEE (mg)	309.30 ± 7.45	315.20 ± 7.45	0.579
HED (mg)	78.66 ± 2.25	84.19 ± 2.25	0.102
LIE (mg)	532.40 ± 13.88	409.80 ± 13.88	0.000
LID (mg)	177.20 ± 4.55	136.30 ± 4.55	0.000
LUE (mg)	205.90 ± 7.59	190.00 ± 7.59	0.160
LUD (mg)	48.33 ± 2.40	42.82 ± 2.40	0.123
KIE (mg)	149.60 ± 7.37	119.40 ± 7.37	0.010
KID (mg)	40.06 ± 1.95	34.62 ± 1.95	0.065
STE (mg)	495.00 ± 13.27	443.90 ± 13.27	0.015
STD (mg)	133.90 ± 4.03	131.60 ± 4.03	0.691
SIE (mg)	394.50 ± 24.08	435.3 ± 24.08	0.248
SID (mg)	96.61 ± 6.12	136.20 ± 6.12	0.000
REE (mg)	35.41 ± 3.30	53.79 ± 3.30	0.001
RED (mg)	11.51 ± 1.38	17.88 ± 1.38	0.005
TOE (mg)	924.90 ± 33.79	933.00 ± 33.79	0.868
TOD (mg)	242.00 ± 9.02	285.70 ± 9.02	0.003
PME (mg)	1800.00 ± 63.20	1882.00 ± 63.20	0.372
PMD (mg)	529.56 ± 18.12	533.47 ± 18.12	0.886

注:表中数值以平均值 ± 标准误差表示。BRE:脑鲜重;BRD:脑干重;HEE:心脏鲜重;HED:心脏干重;LIE:肝脏鲜重;LID:肝脏干重;LUE:肺鲜重;LUD:肺干重;KIE:肾鲜重;KID:肾干重;STE:胃鲜重;STD:胃干重;SIE:小肠鲜重;SID:小肠干重;REE:直肠鲜重;RED:直肠干重;TOE:消化道鲜重;TOD:消化道干重;PME:胸肌鲜重;PMD:胸肌干重

*bescens*、山齿鹑 *Colinus virginianus*、红腹滨鹬 *Calidris canutus* 和戴胜百灵等许多其他鸟类中也有发现 (Piersma *et al.*, 1996; Swanson *et al.*, 1997; Arens *et al.*, 2005; Carleton *et al.*, 2005)。Williams 和 Tieleman (2000) 对戴胜百灵进行了研究, 低温 15℃ 驯化 3 周后, 实验组的 BMR 较对照组 (36℃) 提高了 42.2%。柳劲松和李铭 (2006b) 对树麻雀季节驯化的研究表明, 冬季麻雀的 BMR 分别比春、夏、秋三个季节高 62%、40% 和 17%。Tieleman 等 (2003) 报道将林百灵 *Lullula arborea*、云雀 *Alauda arvensis*、钉蹼百灵 *Chersomanes albofasciata* 和图氏沙百灵 *Eremalauda dunnii* 置于 5℃ 的温度条件下进行冷暴露时 BMR 升高。上述研究的结果显示, BMR 的升高分别与不同内脏器官质量的显著增加有关。Williams 和 Tieleman (2000) 的研究显示 BMR 的大小还与胸肌的重量有关。实验组麻雀胸肌重量并没有发生显著变化, 这很可能与生存空间相同有关。

实验数据表明 (表 1), BMR 增加的同时, 麻雀肝重、肾和消化器官胃的湿重增加显著和消化器官小肠和直肠干重显著降低。这些器官生理结构的变化可引起器官自身能耗的改变, 这也很可能是引起

BMR 显著增加的原因之一。因此,我们认为 BMR 的变化可以反映个体的基础能耗水平,但无论个体器官的增减变化是否显著,决不能简单地认为是单一或几个器官作用的结果,而是整体器官能耗总和的结果,是能量转化、运输和利用的各器官和能量摄入的各器官能耗与能量预算的结果,也将反映个体与环境之间进行预算的最适化的结果,并且在一定程度上可以反映该物种的适合度价。

Peterson(1990)认为用于机体的能量受消化率、觅食、消化、同化及含能物质的生产等方面的制约。Ricklefs(1996)认为有机体可能把它的能量获得调节到食物的消化率所限定的需求范围内。驯化环境中较低觅食压力条件下,麻雀很可能是采用增加摄食量的策略来补充低温引起能量消耗的增加部分。体脂含量没有显著变化表明麻雀体内能量储备的增减变化很可能与生存压力的大小有关。生存压力较大时,摄入的能量不足以维持能量需求时可以通过体内能量储备的转化来补充能量。麻雀体内的脂肪是颤抖性产热的主要能源物质,也可间接用作基础代谢的能源物质,这对于夜晚鸟类的体温维持意义重大(Swanson, 2001)。体内能量储备的增加往往是以能量摄入器官和体内能量转化器官的能耗增加为代价,体脂含量的增加往往引起体重的相应增加,使麻雀个体的能量预算相应增加。因此,体脂含量的增加应该是麻雀适应恶劣生存环境的有效策略,也是个体和环境进行高代价、高收益能量预算的结果。食物充足和生存压力较小时,通过增加摄食量来获得的能量增值要比维持生产高消化率的消化道结构的能量附加价更高。能量的摄入与麻雀摄食量、消化器官的消化率及食物的质量等有关。低温驯化麻雀消化道各器官的变化表明麻雀摄食量增加(胃容积增大)和消化率降低(肠干重降低),消化率降低可使消化器官的能耗降低,这种变化很可能是麻雀在觅食压力较小和生存压力较低时进行低代价、高收益的能量预算的有效策略之一。

总之,环境温度改变引起负责能量转化、运输和利用的麻雀各器官结构和功能能力相应的表现型可塑性(phenotypic plasticity)的调整变化,低温引起能需的增加是通过个体改变食物的消化率或增加摄食量的方式来获取,器官能耗总量的增加很可能是引起 BMR 升高的主要原因。它是麻雀器官能耗与功能能力、摄食量与消化率乃至个体适合度(fitness)与环境因素进行能量预算最适化的结果。

#### 4 参考文献

- 柳劲松,宋春光,王晓恒,等. 2004. 燕雀和麻雀代谢产热及消化道形态特征的比较[J]. 动物学杂志,39(3): 2~7.
- 柳劲松. 2006a. 动物适应的生理反应[J]. 生物学通报,41(7): 6~8.
- 柳劲松,李铭. 2006b. 树麻雀代谢率和器官重量在季节驯化中的可塑性变化[J]. 动物学报,52(3): 469~477.
- 宋志刚,王德华. 2003a. 长爪沙鼠的代谢率与器官的关系[J]. 动物学报,48(4): 445~451.
- 宋志刚,王德华. 2003b. 内蒙古草原布氏田鼠代谢率与身体器官的关系[J]. 兽类学报,23(3): 230~234.
- 张国凯,方媛媛,姜雪华,等. 2008. 白头鹀的代谢率与器官重量在季节驯化中的可塑性变化[J]. 动物学杂志,43(4): 13~19.
- 张晓爱,赵亮. 2001. 鸟类生态能量学的几个问题[J]. 动物学研究,22(3): 231~238.
- AL-Mansour MI. 2004. Seasonal variation in basal metabolic rate and body composition within individual sanderling bird *Calidris alba*[J]. J Bio Sci, 4(4): 564~567.
- Arens JR, Cooper SJ. 2005. Metabolic and ventilatory acclimatization to cold stress in house sparrows (*Passer domesticus*) [J]. Physiol Biochem Zool, 78: 579~589.
- Ashton KG. 2002. Patterns of within-species body size variation of birds: strong evidence for Bergmann's rule[J]. Glob Ecol Biog, 11: 505~523.
- Carleton SA, Martinez del Rio C. 2005. The effect of cold-induced increased metabolic rate on the rate of  $^{13}C$  and  $^{15}N$  incorporation in house sparrows (*Passer domesticus*) [J]. Oecologia, 144: 226~232.
- Eduardo J, Bicudo PB, Bianco AC, et al. 2002. Adaptive thermogenesis in hummingbirds[J]. J Exp Biol, 205: 2267~2273.
- Górecki A. 1975. Kalabukhov-Skvortsov respirometer and resting metabolic rate measurement[A]. In: Grodziński W. IBP Handbook, No. 24: Methods for ecological Bioenergetics [M]. Oxford: Blackwell: 309~313.
- Maynard SJ. 1978. Optimization theory in evolution[J]. Ann Rev Ecol Syst, 9: 31~56.
- Peterson CC, Nagy KA, Diamond J. 1990. Sustained metabolic scope [J]. Proc Natl Acad Sci USA, 87: 2324~2328.
- Piersma T, Bruinzeel L, Drent R, et al. 1996. Variability in basal metabolic rate of a long-distance migrant shorebird (Red Knot, *Calidris canutus*) reflects shifts in organ sizes[J]. Physiol Zool, 69: 191~217.
- Ricklefs RE, Konarzewski M, Daan S. 1996. The relationship between basal metabolic rate and daily energy expenditure in birds and mammals[J]. Am Nat, 147: 1047~1071.
- Swanson DL. 2001. Are summit metabolism and thermogenic endurance correlated in winter-acclimatized passerine birds[J]. J Comp Physiol B, 171: 475~481.
- Swanson DL, Weinacht DP. 1997. Seasonal effects on metabolism and thermoregulation in northern bobwhite[J]. Condor, 99: 478~489.
- Tieleman BI, Williams JB, Buschur ME, et al. 2003. Phenotypic variation of larks along an aridity gradient: are desert birds more flexible [J]. Ecology, 84: 1800~1851.
- Veasey JS, Metcalfe NB, Houston DC. 1998. A reassessment of the effect of body mass upon flight speed and predation risk in birds[J]. Anim Behav, 56: 883~889.
- Williams J, Tieleman BI. 2000. Flexibility in basal metabolic rate and evaporative water loss among hoopoe larks exposed to different environmental temperatures[J]. J Exp Biol, 203: 3153~3159.