

笼养雌性褐马鸡的静止代谢率(RMR)

贾非^① 吴跃峰^{①*} 武明录^② 郭书彬^③ 安春林^③ 庞新博^③

(^①河北师范大学生命科学院 石家庄 050016; ^②河北省林业局 石家庄 050081;

^③河北省小五台山国家级自然保护区 蔚县 075700)

摘要:利用“中型陆生动物呼吸仪”,在不同季节的不同温度下,测定了笼养雌性褐马鸡(*Crossoptilon mantchuricum*)的静止代谢率(resting metabolic rate, RMR)。RMR 与环境温度(T_a)之间可用等式 $RMR = A + BT_a + CT_a^2$ 进行拟合,得到了不同季节下的特定温度(special temperature):春季 22.6℃,夏季 25.9℃,秋季 22.2℃,冬季 20.7℃。同时得到以下结论:笼养雌性褐马鸡的 RMR 在冬季最高,夏季最低,春季与秋季介于二者之间。

关键词:笼养雌性褐马鸡;静止代谢率(RMR)

中图分类号:Q494 文献标识码:A 文章编号:0250-3263(2003)06-52-05

Study on the Resting Metabolic Rate (RMR) for the Caged Female Brown Eared Pheasant (*Crossoptilon mantchuricum*)

JIA Fei^① WU Yue-Feng^① WU Ming-Lu^② GUO Shu-Bin^③ AN Chun-Lin^③ PANG Xin-Bo^③

(^①College of Life Sciences, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050016;

^②Forestry Administration Hebei Province, Shijiazhuang 050081;

^③Xiaowutai Mountain Natural Reserve, Yuxian 075700, China)

Abstract: Resting metabolic rate (RMR) of the caged female Brown Eared Pheasant were measured in different seasons at different ambient temperatures. The conclusion was as follows: the relationship between RMR and ambient temperatures (T_a) could be described well by the following equation: $RMR = A + BT_a + CT_a^2$, and the special temperatures under different seasons were also obtained as follows: 22.6℃ in spring, 25.9℃ in summer, 22.2℃ in autumn and 20.7℃ in winter. We also found that RMR was the highest in winter, and the lowest in summer, and RMR in spring and autumn was higher than that in summer and lower than that in winter.

Key words: Brown Eared Pheasant; Resting metabolic rate(RMR)

褐马鸡是我国特有的珍稀鸟类,主要分布在山西吕梁山脉和河北省小五台山地区,为国家一级重点保护鸟类。鸟类静止代谢率(RMR)的测定一直是鸟类能量生态学的一个重要方面,在此领域,很多学者已经进行了大量的工作,对可能影响鸟类 RMR 的各种生态因子(环境温度、体温、体重、身体组成和繁殖过程

等)的作用进行了大量的研究^[1-11]。这些成果分别阐述了不同生态因子与静止代谢率之间的

* 通讯作者, E-mail: wu-yuefeng@263.sina.com;

第一作者介绍 贾非,男,31岁;研究方向:鸟类生态学;E-mail: tianjie197146@sohu.com;现为北京师范大学生命科学院博士研究生,邮编:100875。

收稿日期:2002-12-28,修回日期:2003-07-15

关系,其中温度作为一个重要的生态因子一直是生态学研究领域的重要内容。到目前为止,对褐马鸡 RMR 与环境温度 (T_a) 之间关系的研究还未见报道,因此本研究对二者之间的关系进行了初步探讨。

1 材料与方 法

1.1 实验动物 河北省小五台山自然保护区提供的雌性成体褐马鸡 3 只。

1.2 实验仪器 利用“中型陆生动物呼吸仪”(根据 Kalabukhov-Skvortgov 呼吸仪-滴水补气原理制成),对褐马鸡 RMR 进行了测定,此设备可以满足中型陆生鸟类呼吸代谢测定的需要^[2]。

1.3 实验方法 褐马鸡静止代谢率的测定分别安排在春(3~4月)、夏(7~8月)、秋(10~11月)、冬(12月至次年1月)四个季节进行。每次实验前禁食 24 h,实验时间安排在夜间。待天全黑,褐马鸡处于静止状态,将其移至实验室内,进行实验。实验前对褐马鸡称重,实验前后分别用半导体点式数字温度计($\pm 0.1^\circ\text{C}$, NITFC-1800 型,上海无线电八厂制造)深入到泄殖腔内 2 cm 处测量直肠温度,取实验前后平均温度为实验体温。实验开始前通过培养箱(LRH-250-G 型,广东医疗器械厂制造)调整呼吸室温度,使之稳定在实验温度 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ 范围内。

实验开始时,将褐马鸡置于呼吸室中,密闭呼吸室后,在呼吸室顶部覆以不透明物,使呼吸室内保持黑暗,以利于褐马鸡保持安静。待呼吸室内温度稳定后开始测定。测定 30 min 后,将所测得的滴水重量换算成体积,该体积为褐马鸡实际耗氧量,然后将其换算成标准状态下的耗氧量。为了消除体重对静止代谢率 $RMR(\text{ml O}_2/\text{h})$ 的影响,用 $W^{0.74}$ 对体重进行校正^[13]。每个褐马鸡个体重复测定 8~10 次。

$$K = (W_i/W)^{0.74}$$

K :关系系数; W :褐马鸡的实际体重(g);
 W_i :褐马鸡的平均体重(g)。

$$\text{校正耗氧量}(\text{ml O}_2) =$$

$$\frac{273 \times \text{实验气压}(\text{Pa}) \times \text{实验耗氧量}(\text{ml})}{[273 + \text{实验温度}(\text{C})] \times 101300(\text{Pa})}$$

$$RMR(\text{ml O}_2/\text{h}) = \frac{\text{校正耗氧量}(\text{ml})}{K \times \text{测定时间}(\text{h})}$$

实验结果使用 SPSS10.0 for windows 进行统计处理。使用回归分析(regression)中的曲线估计(curve estimation)来拟合褐马鸡的 RMR 与 T_a 之间的关系曲线;使用比较平均值(compare means)中的方差分析(ANOVA)和 LSD 多重比较来对比 RMR 在不同季节下的差异显著性。

2 结 果

2.1 褐马鸡体重 (W) 与体温 (T_b) 的变化 实验期间,一直对褐马鸡的体重进行跟踪测量。结果表明:整个实验期间,褐马鸡个体的体重没有发生显著变化($P > 0.05$),平均体重 $W_i(\bar{X} \pm SE) = 1900 \pm 57 \text{ g}$ 。

当环境温度 $T_a = -10 \sim 25^\circ\text{C}$ 时,褐马鸡的体温 (T_b) 保持不变($P > 0.05$), $T_b(\bar{X} \pm SE)$ 为 $(38.7 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 。当 T_a 高于 25°C 时,褐马鸡的体温开始上升。在 $T_a = 30^\circ\text{C}$ 时, T_b 为 $(39.8 \pm 0.5)^\circ\text{C}$;在 $T_a = 35^\circ\text{C}$, T_b 达到 $(40.5 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 。结果见图 1。

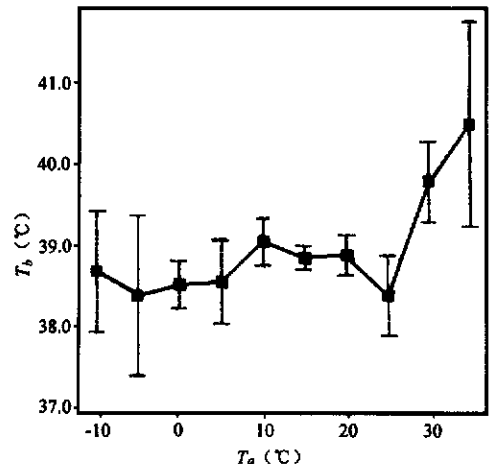


图 1 笼养雌性褐马鸡体温 (T_b) 与环境温度 (T_a) 的关系

2.2 静止代谢率与环境温度 (T_a) 的关系 对实验数据做散点图,观察发现, RMR 与 T_a 间的关系表现为曲线形。因此尝试使用一元二次曲线的数学模型对 RMR 与 T_a 的关系进行回归。

其数学公式表述如下^[12]:

$$RMR = A + BT_e + CT_e^2$$

RMR: 静止代谢率 (ml O₂/h); T_e: 环境温度 (°C); A, B, C: 系数。

回归结果表明: 春、夏、秋、冬季回归曲线的决定系数 R² 均较大, 说明回归曲线对 RMR 和 T_e 间关系的拟合程度较高。根据各季节 RMR 与 T_e 关系的回归曲线方程式, 令 RMR 对 T_e 求导数, 从而求得 RMR 极小值及其所对应的特定温度, 特定温度的计算方法如下:

对公式 $RMR = A + BT_e + CT_e^2$ 进行微分, 得到:

$$d(RMR)/d(T_e) = 2CT_e + B$$

当 $d(RMR)/d(T_e) = 2CT_e + B = 0$ 时, 方程 $RMR = A + BT_e + CT_e^2$ 的 RMR 有极小值, 特定温度就可以用以下公式计算:

$$T_{\text{特定}} = -B/(2C)$$

取 RMR 的极小值为基础代谢率 (basal metabolic rate, BMR), 回归结果见图 2 和表 1。

由表 1 得到笼养雌性褐马鸡的特定温度在冬季最低, 20.7°C; 夏季最高, 25.9°C; 春季与秋季介于二者之间, 分别为 22.6°C 和 22.2°C; 其对应的 RMR 在冬季为 1115.98 ml O₂/h, 夏季为 825.5 ml O₂/h, 春季与秋季介于二者之间, 分别为 923.02 ml O₂/h 和 973.56 ml O₂/h。

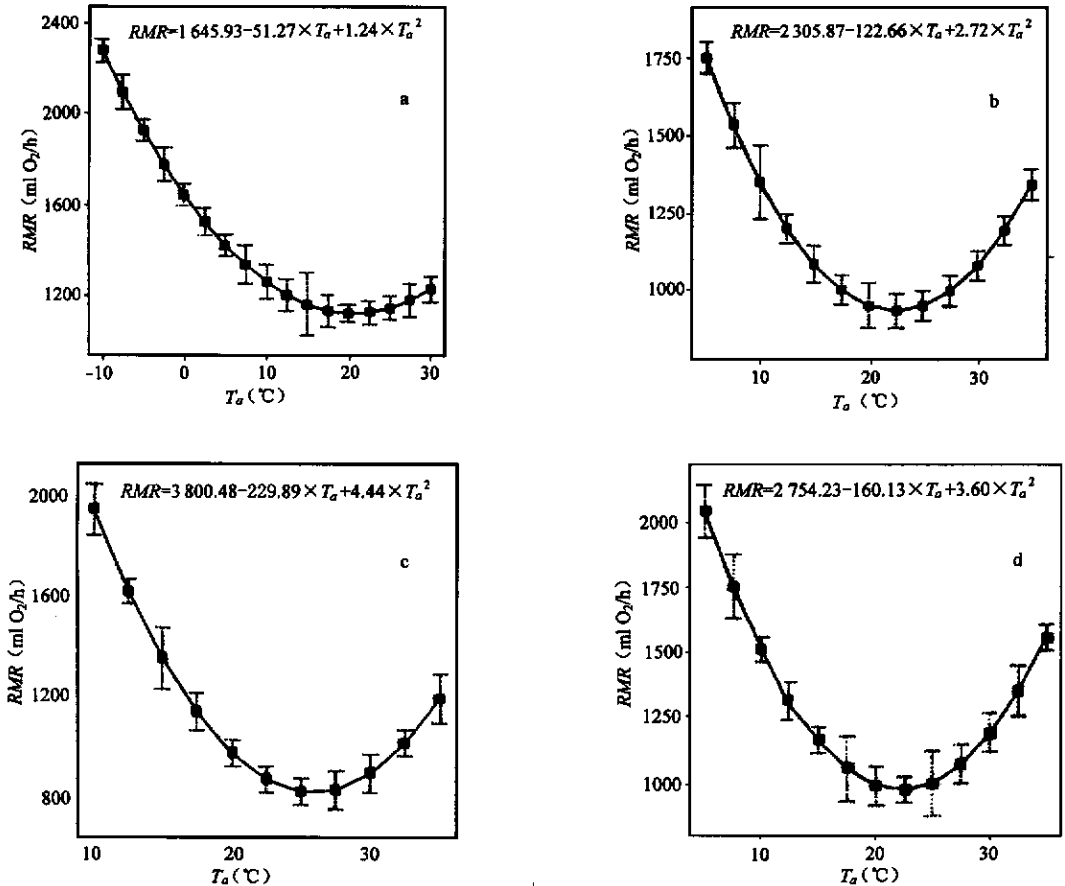


图 2 不同季节下笼养雌性褐马鸡 RMR 与 T_e 之间的回归关系

a, b, c, d 分别代表冬、春、夏、秋季

表 1 笼养雌性褐马鸡 RMR 与 T_a 的回归方程、特定温度及基础代谢率 (BMR)

| 季节 | 回归方程 | 决定系数 (R^2) | 特定温度 ($^{\circ}\text{C}$) | 基础代谢率 ($\text{ml O}_2/\text{h}$) |
|----|---|----------------|-----------------------------|------------------------------------|
| 冬季 | $RMR = 1645.93 - 51.27 \times T_a + 1.24 \times T_a^2$ | 0.8564 | 20.7 | 1115.98 |
| 春季 | $RMR = 2305.87 - 122.66 \times T_a + 2.72 \times T_a^2$ | 0.7938 | 22.6 | 923.02 |
| 夏季 | $RMR = 3800.48 - 229.89 \times T_a + 4.44 \times T_a^2$ | 0.8251 | 25.9 | 825.50 |
| 秋季 | $RMR = 2754.23 - 160.13 \times T_a + 3.60 \times T_a^2$ | 0.7669 | 22.2 | 973.56 |

2.3 褐马鸡静止代谢率的季节变化 RMR 季节差异显著性方差分析结果见表 2。

由表 2 可以看出,在 15、25 和 30 $^{\circ}\text{C}$,笼养雌性褐马鸡在不同季节下的 RMR 值表现出明显差异。冬季 RMR 显著高于夏季,春季与秋季介于二者之间。

表 2 笼养雌性褐马鸡在不同季节 RMR 的差异显著性方差分析

| 温度 ($^{\circ}\text{C}$) | df | F | P | LSD 检验及平均值比较 |
|---------------------------|-----|-------|-------|---------------------|
| 15 | 2,6 | 9.070 | 0.015 | 冬、春、秋 > 夏; 夏-冬、春、秋* |
| 25 | 2,6 | 6.234 | 0.034 | 冬 > 春、秋、夏; 夏-冬* |
| 30 | 2,6 | 5.267 | 0.048 | 冬、春、秋 > 夏; 夏-冬* |

* 差异显著; 双尾检验

3 讨论

3.1 静止代谢率与温度的关系 传统上将恒温动物 RMR 与 T_a 的关系分成三段来描述:(1)环境温度在下临界温度点以下时, RMR 与 T_a 之间是线性关系,并随 T_a 的降低, RMR 逐渐增加;(2)环境温度在热中性区 (thermal neutral zone, TNZ) 时,动物的代谢率最低, RMR 与 T_a 无关;(3)环境温度在上临界温度点以上时, RMR 随 T_a 的增加而增加,可能是直线,也可能是曲线。但是,上述这种分段描述的方法近来受到来自不同角度的挑战^[14],主要原因在于:当环境温度低于下临界温度点时,由于多种原因导致代谢率与温度之间呈非线性关系。当环境温度高于上临界温度点,一般由于体温的变化,使耗氧量增加。组织已增加的温度一般会导致化学反应加快,因而增加了氧的需要量和产热量^[15]。

现在人们已经注意到,恒温动物具有复杂的神经、生理调节机制,使之对任何生态因子变化的反应都不可能是一条或几条简单的直线就

能描述清楚的。因此一个好的模型应该在一定的范围内能够很好地解释生态因子与生物效应之间的关系。正是在这样的前提下,本研究采用了一元二次方程来拟合 RMR 与 T_a 之间的关系。这种方法与传统方法相比具有以下优点。

(1)恒温动物 RMR 随 T_a 的变化过程是连续不间断的,而传统方法却人为的将这一连续过程分成了三段。利用一元二次方程对恒温动物 RMR 与 T_a 的关系进行拟合,就可以将这一过程连续起来。事实上,恒温动物随外界 T_a 的变化不断调整自身的 RMR,是一个渐进和不间断的过程。所以一元二次方程比传统的分段方法更能反映恒温动物 RMR 随 T_a 变化的实际情况。(2)以图 2:b 为例,当 T_a 等于 20、22.5 和 25 $^{\circ}\text{C}$ 时, RMR 值之间相差不大,可近似看为一条直线,也就是传统意义上的热中性区;当 T_a 小于 20 $^{\circ}\text{C}$,各 RMR 实验点之间可以作直线回归 ($r = -0.462, P = 0.002$);在 T_a 大于 25 $^{\circ}\text{C}$ 时,各 RMR 实验点之间同样也可以作直线回归 ($r = +0.138, P = 0.042$)。所以利用一元二次方程进行拟合实质上包括了传统意义上的分段描述法,并更具连续性,更能反映恒温动物 RMR 随 T_a 变化的实际情况。

环境温度对恒温动物热交换的物理过程、生物化学过程的影响,是由有机体神经、生理机制进行调节,最终表现为包括静止代谢在内的能量代谢的变化。恒温动物所具有的完善的体温调节机制,使机体的能量代谢对环境温度的变化随时做出适应性调整,以保持体温的相对稳定。

3.2 褐马鸡静止代谢率的季节变化 RMR 存在着明显的季节变化,其总的变化规律为:冬季最高,夏季最低,春季与秋季介于二者之间。这

与 West 对家麻雀 (*Passer domesticus*) 的研究结果十分相似:家麻雀的基础代谢率 (*BMR*) 存在着明显的季节性变化,但 *BMR* 的最大值出现在寒冷的季节,最小值出现在夏季^[16]。

笼养雌性褐马鸡在冬季表现出最高的 *RMR* 值可能还和具体的饲养环境有关。实验期间,褐马鸡单只笼养,这与雌性褐马鸡在冬季的野生生活方式有极大的差别。8 月以后天气转凉,褐马鸡开始迁移和飘荡,在此过程中,不同的家系逐渐合群。从 12 月下旬以后,褐马鸡的混群活动基本稳定,进入聚群越冬期,聚群和彼此间的身体接触是减少热量散失的有效方法^[17]。但在人工笼养的条件下,这些有利于保存能量的生活方式(聚群、身体接触)却全部被剥夺了,这就使得褐马鸡更易散失热量,从而迫使其在冬季的人工笼养条件下通过提高 *RMR* 来获得体温的恒定和能量的平衡。但是我们没有野生状态褐马鸡 *RMR* 的具体数据,因此无法进行对比,只能推测实验期间的饲养方式可能是造成其冬季 *RMR* 升高的原因之一。

夏季环境温度较高,褐马鸡的热量散失减少,环境中的热量甚至有可能辐射到动物身上,因此就需要减少 *RMR* 以维持能量平衡与体温恒定,所以在夏季表现出了最低的 *RMR*。

特定温度存在明显的季节性变化,冬季最低,夏季最高,春季与秋季介于两者之间。低温下降低特定温度可以缩小体温与环境温度之间的温度梯度,减少机体的热散失,降低能量消耗。显然降低特定温度是褐马鸡用来适应冬季低温环境的一个手段。而升高特定温度则是对夏季炎热环境的一种适应。

致谢 北京师范大学李庆芬教授和郑光美教授为论文的撰写和修改提出大量宝贵意见,在此表示衷心的感谢!

参 考 文 献

[1] Jan-Ake N, Lars R. The resting metabolic cost of egg laying

- and nesting feeding in great tits. *Oecologia*, 2001, **128**: 187 ~ 192.
- [2] Deerenberg C, Overkamp C J F, Visser G H, et al. Compensation in resting metabolism for experimentally increased activity. *Comp Physiology*, 1998, **168**: 507 ~ 512.
- [3] Daan S, Masman D, Groenewold A, et al. Avian basal metabolic rates: their association with body composition and energy expenditure in nature. *Am J Physiology*, 1990, **259**: R333 ~ R340.
- [4] Flint E N, Nagy K A. Flight energetics of the free-living Sooty Terns. *Auk*, 1984, **101**: 288 ~ 294.
- [5] Tatner P, Bryant D M. Flight cost of a small passerine measured using doubly labeled water implications for energetics study. *Auk*, 1986, **103**: 169 ~ 180.
- [6] Bryant D M, Hails C J, Prys-Jones R, et al. Energy expenditure by free-living Dippers (*Cinclus cinclus*) in winter. *The Condor*, 1985, **86**: 166 ~ 177.
- [7] Williams J B, Nagy K A. Daily energy expenditure of savannah sparrows, comparisons of time-energy budget and doubly-labeled water estimates. *Auk*, 1984, **101**: 221 ~ 229.
- [8] Weathers W W, Sullivan K A. Seasonal patterns of time and energy allocation by birds. *Physiological Zoology*, 1993, **66**: 511 ~ 536.
- [9] Arnold T W. Hatching variation in egg size of American Coots. *The Condor*, 1991, **93**: 19 ~ 27.
- [10] Hamilton K L. Metabolism of barn owl eggs. *Am Mid Nat*, 1985, **114**: 209 ~ 215.
- [11] Adams N J. Embryo metabolism, energy budgets and cost of production of King Penguin (*Aptenodytes patagorkus*) and Gentoo Penguin (*Pygoscelis papua*) eggs. *Cowp Biochem Physiol*, 1992, **A101**: 497 ~ 503.
- [12] 张录强. 笼养黑琴鸡静止代谢研究. 河北师范大学学报(自然科学版), 2001, **25**(3): 381 ~ 384.
- [13] Kendeigh S C, Dolnik V R, Gavrilov Y M, et al. Avian energetics. London: Cambridge Univ Press, 1997. 127 ~ 204.
- [14] 陆健健. 能量生态学(四): 生物个体的代谢能量. 动物学杂志, 1987, **6**(6): 61 ~ 65.
- [15] Sturkie P D. Avian Physiology. New York: New York Press, 1976. 159 ~ 172.
- [16] West G C. Shivering and heat production in wild birds. *Physiological Zoology*, 1965, **38**: 111 ~ 117.
- [17] 刘焕金. 褐马鸡的栖息地观察. 生物学通报, 1986, **25**(2): 175 ~ 179.