

# 根田鼠的活动代谢率\*

王德华 王祖望

(中国科学院动物研究所, 北京, 100080)

## 摘 要

在15~ 30 温度范围内, 运用踏车呼吸室以 5 m/m in, 10 m/m in 和 15 m/m in 的运动速度, 对栖息于青海高原的根田鼠的代谢率、体温、蒸发失水进行了测定, 并计算了每个温度和运动速度时的热传导率。根田鼠的体温在任一速度时, 随环境温度的增加而增加, 当环境温度一定时, 体温随运动强度而升高, 代谢率随运动速度增加而增加。活动产热在低温条件下, 可能是对寒冷产热的替代, 而在比较缓和的温度时, 可能是对冷诱导产热的附加。温度一定时, 蒸发失水随运动速度增加而增加, 热传导也呈相似的变化趋势(15 除外)。热传导在任一运动速度下, 随环境温度增加而增加。结果表明蒸发散热在高温或活动期间对根田鼠的体温调节有不可替代的作用。

关键词 根田鼠; 活动代谢率; 蒸发失水; 体温; 热传导

能量学特征在决定动物的丰度和分布以及其它生态学方面具有重要的作用。动物的能量消耗除了用于其自身的基本维持及体温调节外, 许多活动如取食、交配、逃避天敌等也是动物每日能量消耗的一个重要组成部分。运动是比较耗能的过程, 运动形式不同(如行走、奔跑、游泳和飞行等), 动物消耗的能量也不同。动物的产热能力和活动范围受环境极端的高温和低温及其活动期间代谢增加能力的限制(W under, 1970)。测定在自然条件下动物活动时的能量消耗, 对于理解动物每日能量消耗的功能特性及其进化关系、活动时期的最大持续代谢率以及每日总能量消耗等方面有重要的意义(Hoyt 等, 1988)。Taylor 等(1982)已对60种陆地哺乳动物的运动能耗进行了测定, Thompson (1985)也进行了这方面的工作。

活动期间的能量消耗是动物生理生态学中一个十分重要的方面, 有关寒冷和活动产热的相互作用, 主要有三个学说: (1) 附加学说: 活动期间产生的热量可作为静止时维持体温所耗能量的附加成分; (2) 替代学说: 活动产热可以替代静止状态的产热; (3) 部分替代学说: 在温和的温度时, 活动代谢作为附加产热, 而在低温条件下, 活动产热作为替代产热(W under, 1970)。

高寒地区的根田鼠(*Microtus oeconomus*), 是非冬眠草食性小型哺乳动物, 有关该物种的生理生态特征和生态学特征已有许多研究, 本文主要对其在不同运动速度下的代谢水平及其蒸发失水进行测定, 作为该种生理生态学研究的补充。

\* 国家自然科学基金资助项目

本文于1997年10月21日收到, 1998年7月6日收到修改稿

## 材料与方法

1. 实验动物 成体根田鼠活捕自青海省门源县境内的中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站地区的金露梅灌丛中(海拔3 200 m), 带回实验室, 于室温(18±3 ) 饲养, 自然光照, 喂以北京朝阳曙光颗粒饲料厂生产的兔饲料块, 附加胡萝卜。

2. 代谢测定 耗氧量用Beckman OM-14开放式氧气分析仪测定, 测定温度为15 , 20 , 25 和30 , 动物活动呼吸室踏车可控速度为5 m/m in, 10 m/m in 和15 m/m in, 呼吸室体积为3 L。流入呼吸室的气体流量在三种运动速度下分别为500 m l/h, 600 m l/h 和800 m l/h, 流入和流出呼吸室的气体均用硅胶干燥, 流出呼吸室的气体在进入氧气分析仪前用 KOH 吸收 CO<sub>2</sub>。记录动物在每一运动速度时的最高耗氧量(至少持续3~ 5 m in), 动物在踏车上运动20 m in。每次测定均对仪器进行校正。测定前动物在呼吸室内适应30 m in 左右; 实验结束后测动物肛温。标准状态下动物的耗氧量用下式计算 (DePocas 等, 1957; Hill, 1972):

$$MR = \frac{F(F_{D_2} - F_{E_{O_2}})}{M(1 - F_{E_{O_2}})}$$

式中MR 为代谢率 (m l O<sub>2</sub> g<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>); F 为标准状态下的气体的流量 (m l/h); F<sub>D<sub>2</sub></sub>为进入呼吸室气体的氧气含量; F<sub>E<sub>O<sub>2</sub></sub></sub>为流出呼吸室气体的氧气含量; M 为动物的体重 (g)。

3. 蒸发失水 (Evaporative water loss, EWL) 的测定 在测定代谢率的同时, 将预先称重的盛有干燥硅胶的“U”形管接在呼吸室后面, 测定15 m in, 实验前后干燥剂的重量差即为动物的蒸发失水量。若动物在测定期间有排尿现象, 则该数据作废。

4. 热传导率 根据牛顿冷却定律, 每个温度和运动速度下的热传导率由下式计算:

$$C = MR / (T_b - T_a)$$

式中C 为热传导 (m l O<sub>2</sub> g<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>·°C<sup>-1</sup>); MR 为代谢率 (m l O<sub>2</sub> g<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>), T<sub>b</sub> 为体温 (°C); T<sub>a</sub> 为环境温度 (°C)。

5. 干燥热传导 (Dry C) 干燥热传导 (Dry C) 按下式计算:

$$Dry C = (MR - EWL) / (T_b - T_a)$$

式中Dry C 为干燥热传导 (m l O<sub>2</sub> g<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>·°C<sup>-1</sup>); EWL 为蒸发失水, 按蒸发 1 mg H<sub>2</sub>O 散失2.42 J 热量, 1 m l O<sub>2</sub> = 20.1 J 热量, 换算为以m l O<sub>2</sub>为单位 (Deavers 等, 1981)。

实验于1992年 5月进行, 样本数为5, 平均体重为21.4±1.3 g。

数据统计采用 *t* 测验和相关分析等方法, 结果表示为平均数±标准误 (mean±SE)。P<0.05被认为差异显著。

## 结 果

### 1. 体温

根田鼠在不同环境温度和运动速度下的体温列于表1。从表1可见: (1) 在任何温度和运动速度时, 根田鼠的体温都高于静止时的水平; (2) 任一运动速度下, 体温随环境温度的增加而增加, 15~ 30 °C 范围内, 静止时体温增加3.7 °C; 5 m/m in 运动速度时增加7.2 °C; 10 m/m in 时增加6.6 °C, 15 m/m in 时增加5.1 °C; (3) 三个运动速度下, 25 °C 和

30 时的体温均相似, 分别为38.7和42.2 ; (4) 在30 时  $T_b$  与运动速度不相关; (5) 在15~ 25 范围内  $T_b$  随运动速度增加而增加。实验发现在30 时, 运动30 m in 会使动物体温过高, 造成热昏迷或死亡。

表 1 根田鼠在不同环境温度和运动速度下的体温

Table 1 Body temperatures of root voles at different ambient temperatures and velocities of locomotion

	环境温度 $T_a$ ( )			
	15	20	25	30
静止 Resting	34.5 ± 0.3	34.9 ± 0.3	36.6 ± 0.4	38.2 ± 0.9
速度 Velocities (m/m in)				
5	34.8 ± 0.4	36.5 ± 0.5	38.5 ± 0.6	42.0 ± 0.6
10	36.1 ± 0.1	37.1 ± 0.3	38.5 ± 0.6	42.7 ± 0.8
15	36.9 ± 0.3	37.8 ± 0.3	39.1 ± 0.3	42.0 ± 1.0

## 2 代谢率

在任一环境温度下, 运动时的代谢率均高于静止状态, 且代谢率随运动速度增加而增加; 但15 时, 各运动速度时的代谢率与静止状态并无明显的差异, 20~ 30 范围内, 无论静止, 还是以5 m/m in 和10 m/m in 的速度运动, 代谢水平均随  $T_a$  增加而降低, 当运动速度为15 m/m in 时, 在15~ 25 范围内, 代谢水平差异不显著; 30 时, 代谢水平最高, 比静止状态增加了89% (表2)。

表 2 根田鼠在不同环境温度和运动速度下的代谢率

Table 2 Metabolic rates of root voles at different ambient temperatures and velocities ( $m l O_2 g^{-1} \cdot h^{-1}$ )

	环境温度 $T_a$ ( )			
	15	20	25	30
静止 Resting	5.22 ± 0.42	4.28 ± 0.46	3.44 ± 0.21	3.30 ± 0.31
速度 Velocities (m/m in)				
5	5.30 ± 0.43	5.54 ± 0.51	4.57 ± 0.54	4.22 ± 0.1
10	5.41 ± 0.36	5.76 ± 0.45	4.69 ± 0.66	4.31 ± 0.13
15	5.53 ± 0.56	5.93 ± 0.46	5.22 ± 0.72	6.24 ± 0.37

## 3 蒸发失水

在任一实验温度下, 动物在运动时的蒸发失水均比静止状态高。如以15 m/m in 的速度运动时, 15 时的 EWL 是静止时的2.1倍, 20 时是2.7倍, 25 时是1.1倍, 30 时是2.3倍; 除25 时各运动速度下的 EWL 较低外, 在任一运动速度下 EWL 随  $T_a$  增加而增加, 在任一环境温度时, EWL 随运动强度增加而增加; EWL 散失的热量占代谢产热的百分率在每一温度下随运动速度增加而增加; 15 时, 以15 m/m in 的速度运动时是静止时的2.1倍, 20 时是1.9倍, 30 时是1.2倍, 在每一运动速度时, EWL 随  $T_a$  的增加

而趋于增加; 如果计算 EWL 散热占代谢产热的百分比, 可见环境温度较高或运动速度较大时, EWL 散热占的比重较大 (表3)。

表 3 根田鼠在不同环境温度和运动速度下的蒸发失水

Table 3 Evaporative water loss at different ambient temperatures and velocities of locomotion

	蒸发失水 EWL ( $\text{mg H}_2\text{O g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ )	蒸发热散失 Evaporative heat loss (%)
15		
静止 Resting		
	$5.53 \pm 0.87$	12
速度 Velocities ( $\text{m/m in}$ )		
5	$8.29 \pm 1.15$	19
10	$9.70 \pm 1.43$	22
15	$11.45 \pm 1.61$	25
20		
静止 Resting		
	$5.70 \pm 1.06$	16
速度 Velocities ( $\text{m/m in}$ )		
5	$8.90 \pm 1.67$	19
10	$11.89 \pm 2.68$	25
15	$15.21 \pm 2.23$	31
30		
静止 Resting		
	$7.52 \pm 2.94$	28
速度 Velocities ( $\text{m/m in}$ )		
5		
10	$9.47 \pm 1.26$	27
15	$17.50$	34

\* 样本数为2 ( $n=2$ ) Numbers of Sample are 2 ( $n=2$ )

## 讨 论

### 1. 体温

$T_a$  和运动速度对  $T_b$  的影响都较大, 根田鼠在任一温度时,  $T_b$  随运动速度增加而增加; 在任一运动速度时, 随环境温度增加而增加, 表明根田鼠的体温调节机制是随动物的运动强度和所处的微环境的温度 (或  $T_a$  与  $T_b$  温度梯度时) 而进行调节。根田鼠  $T_b$  随环境温度增加而增加的现象, 与环颈旅鼠 (*Dicrostonyx groenlandicus*) (Hart 等, 1955), 花鼠 (*Eutamias merriami*) (Wunder, 1970) 相同; 但花鼠在任一温度下,  $T_b$  并不随运动速度增加而增加, 这一点与根田鼠不同。根田鼠的这一现象具有重要的生态意义, 从野外观察可知, 根田鼠在野外中午温度较高的时间内很少活动; 由于该鼠栖息于灌丛中, 隐蔽条件较好, 也很少有高强度的长距离的奔跑现象。

### 2. 代谢率

根田鼠的代谢率在15 时, 虽随运动速度增加而增加, 但各运动速度下的代谢率与静止时的代谢率并无显著的差异 ( $P > 0.05$ ), 20 以上运动时的代谢率明显高于静止时的代谢率 ( $P < 0.05$ ), 因此低温时, 活动代谢率可能是替代了静止代谢率, 温度缓和或高温时, 活动代谢率可能作为静止代谢率的附加。Wunder (1970) 认为, 花鼠在高温和低温时, 不是降低活动所需的能量, 就是降低由于其它因素引起的产热量。

根田鼠活动时的代谢率在低温时并不明显增加, 这与体温调节有关。贾西西等 (1986) 的研究表明, 环境温度低于25 时, 静止代谢率 (RMR) 高于平均每日代谢率 (ADM R)。在同域分布的高原鼠兔 (*Ochotona curzoniae*) 中也发现相同的现象 (王德华等, 1993)。同样, 运动时的代谢率明显高于同一温度时的ADM R。这说明在低温时, 动物的物理和化学体温调节增强, 使动物的活动产热的成分降低, 当温度适宜时, 动物的体温调节代价降低, 活动性增强。但本研究还表明, 高温时动物的体温随环境温度和运动速度增加而急剧增加, 表明产热急剧增加, 因而动物为避免体温过高, 可能会降低活动性, 这一点与野外观察相符。根田鼠在15 时, 以5 m /m in 的速度运动时, 代谢率随温度和运动速度的增加而增加。因而30 以下, 动物以较低的速度运动时, 需要较少的能量即可维持体温。

表 4 根田鼠在不同环境温度和运动速度下的平均热传导 ( $\text{ml O}_2 \text{ g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ )

Table 4 Mean thermal conductance of root vole at different ambient temperatures and velocities of locomotion

	环境温度 $T_a$ ( )			
	15	20	25	30
静止 Resting	0.267	0.288	0.295	0.403
速度 Velocities (m/m in)				
5	0.267	0.288	0.350	0.603
10	0.256	0.337	0.360	0.560
15	0.251	0.334	0.371	0.891

表 5 根田鼠蒸发失水在静止和活动时的热传导中的地位

Table 5 The role of evaporative heat loss in total thermal conductance in resting and locomotory of root voles

	环境温度 $T_a$ ( )	
	15	30
静止 Resting		
总热传导 Total thermal conductance ( $\text{ml O}_2 \text{ g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ )	0.267	0.403
干燥热传导 (Dry thermal conductance) ( $\text{ml O}_2 \text{ g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ )	0.233	0.291
蒸发散热占总热传导的百分比 Percentage of thermal conductance	12.7	27.8
运动 Locomotion 15 m m in <sup>-1</sup>		
总热传导 Total thermal conductance ( $\text{ml O}_2 \text{ g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ )	0.251	0.891
干燥热传导 Dry thermal conductance ( $\text{ml O}_2 \text{ g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ )	0.189	0.344
蒸发散热占总热传导的百分比 Percentage of thermal conductance	24.7	61.4

### 3 热传导

热传导的计算结果见表4。15 时, 活动时的热传导并不比静止时高, 而20 以上, 活动时的热传导明显高于静止时的值, 25 和30 时, 热传导率随运动速度增大而增大, 这表明在低温时, 热散失并不受活动强度的影响。由于活动时动物做的功较多, 因此活动时产生的热量替代了由于寒冷而产生的热量, 且运动速度越高, 替代的热量越大。在30 时, 热传导在15 m/m in 时达峰值, 但此时动物不能长时间耐受, 产热明显高于散热, 使动物体温过高; 实际上在5 m/m in 和10 m/m in 时, 动物的体温已高达42.7 。

蒸发失水散失的热量在活动时占有相当的比重, 一般占总产热的20% 以上。30 时, 以15 m/m in 的速度运动时, 占34%。因此在高温或运动时, 动物的蒸发失水在体温调节中占十分重要的地位。

通过比较热传导的两个主要成分干燥热传导和蒸发失水散热可以进一步分析蒸发失水的地位(表5)。由表5可见, 15 时动物以15 m/m in 的速度运动时, 总热传导并未增加, 但蒸发失水增加了107%, 蒸发失水散失的热量比静止时增加了94%; 30 时, 15 m/m in 的速度下比静止时的总热传导增加了121%, 蒸发失水散失的热量比静止时增加了121%, 而此时蒸发失水增加了133%。因此高温时, 热传导随运动强度的加强而增加, 主要是由于蒸发失水的增加所致。

### 参 考 文 献

- 王德华, 孙儒泳, 王祖望 1993 高原鼠兔蒸发失水的地位与热能调节. 兽类学报, 13 (2): 104~ 113
- 贾西西, 孙儒泳 1986 根田鼠平均每日代谢率及每日能量需要的估计. 兽类学报, 6 (2): 139~ 146
- Deavers D R, Hudson J W. 1981. Temperature regulation in two rodents (*Clethrionomys gapperi* and *Peromyscus leucopus*) and a shrew (*B. larina brevicauda*) inhabiting the same environment. *Physiol Zool*, 54: 94~ 108
- Depocas F, Hart H. 1957. Use of the pauling analyser for measurement of oxygen consumption of an animal in open circuit system and in a short-lag closed circuit apparatus. *J Appl Physiol*, 10: 388~ 392
- Hart J, Heroux O. 1955. Exercise and temperature regulation in lemmings and rabbits. *Can J Biochem Physiol*, 33: 428~ 435
- Hill RW. 1972. Determination of oxygen consumption by use of the paramagnetic oxygen analyser. *J Appl Physiol*, 33: 261~ 263
- Hoyt D F, Kenagy G J. 1988. Energy costs of walking and running gaits and their aerobic limits in golden-mantled ground squirrels. *Physiol Zool*, 61: 34~ 40
- Taylor C R, Heglund N C, Mabit GM O. 1982. Energetics and mechanics of terrestrial locomotion, I. Metabolic energy consumption as a function of speed and body size in birds and mammals. *J Exp Biol*, 97: 1~ 21.
- Thompson D. 1985. Bipedal hopping and seed dispersion selection by heteromyid rodents: the role of locomotion energetics. *Ecology*, 66: 220~ 229
- Wunder B A. 1970. Energetics of running activity in merriam's chipmunk, *Eutamias merriami*. *Comp Biochem Physiol*, 33: 821~ 8365

# LOCOMOTION ENERGETICS AND THERMOREGULATION IN ROOT VOLES (*Microtus oeconomus*)

WANG Dehua WANG Zuwang

(Institute of Zoology, the Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100080)

## Abstract

The metabolic rate, body temperature and evaporative water loss were measured at different ambient temperatures ( $T_a$ ) between 15~ 30 °C while the root vole (*Microtus oeconomus*) were running in a treadmill respirometer at 5, 10, 15 m/min. Body temperature increased with increasing ambient temperature at a given velocity of running and increased with increasing velocity of running at a given ambient temperature. The metabolic rate increased with velocity at a given  $T_a$ . At low  $T_a$  the heat produced by locomotion seems to be substitutive for that due to cold exposure, and at moderate  $T_a$  the activity thermogenesis seems to be additive to that due to cold exposure. The evaporative water loss was increased 2.1 to 2.7 times over resting levels the animals were running 15 m/min at ambient temperatures of 15 °C, 20 °C and 30 °C. At a given  $T_a$  the thermal conductance of root vole was greater during activity than that of at rest except at 15 °C, and increased with increasing  $T_a$  at given velocity. The heat loss by evaporation play an important role in thermoregulation at high  $T_a$  or during activity for root vole.

**Key words** Root vole (*Microtus oeconomus*); Activity metabolism; Evaporative water loss; Body temperature; Thermal conductance