

小哺乳动物在高寒环境中的生存对策

I. 高原鼠兔和根田鼠褐色脂肪组织 (BAT) 重量和显微结构的季节性变化*

王德华 王祖望

(中国科学院西北高原生物研究所)

摘 要

本文研究了高寒草甸生态系统中两种非冬眠草食性哺乳动物——高原鼠兔和根田鼠的褐色脂肪组织(BAT)的重量和显微结构的季节性变化,结果表明严寒季节BAT增多、BAT细胞中的脂肪滴小而多、线粒体增大及嵴数目增多,温暖季节较低,这些变化与产热需要有关。

关键词 (Key Words): 高原鼠兔 (*Plateau pika*, *Ochotona curzoniae*), 根田鼠 (*Root vole*, *Microtus oeconomus*), 褐色脂肪组织 (*Brown adipose tissue*), 线粒体 (*Mitochondria*), 嵴 (*Cristae*)。

在哺乳动物中,脂肪组织以两种形式存在,即褐色脂肪组织 (BAT) 和白色脂肪组织 (WAT)。BAT在组织学上和机能上都与WAT不同,BAT细胞中脂肪滴和线粒体较多,具丰富的血液供应和交感神经支配。BAT产热对于新生哺乳动物和哺乳动物成体在寒冷条件下的热能调节,以及冬眠类动物从冬眠中苏醒都具有重要意义。现已确定BAT是非颤抖性产热 (NST) 的主要场所 (Jansky, 1973; Heldmaier 等, 1985; Feist, 1983; Foster等, 1978; Nicholl等, 1984)。

关于BAT的研究,国外学者已从解剖学、组织学、生理学、细胞学及生物化学等各个方面进行了广泛而细致的研究 (Johansson, 1959; Smith等, 1969), 并对各种影响因子如年龄、个体大小、环境温度、食物、光周期、繁殖状态及激素等进行了观察 (Dawkins等, 1964; Smith等, 1969; Hull等, 1965; Harris等, 1985; Heldmaier, 1971; Rothwell等, 1979; 1985)。大多数研究多集中在实验室驯化状态下的动物,而对野外自然状态下的小哺乳动物种群中BAT的季节性变化研究较少,其超微结构的季节变化则至今未见报道。

我国近几年生理生态研究发展较快 (夏武平, 1984), 但BAT研究尚属空白,为了探讨高寒地区小哺乳动物的冬季适应对策和体温调节机制,弥补国内这方面的不足,我

* 国家自然科学基金资助项目。

承蒙夏武平、孙儒泳教授、杜继曾副研究员、曾绍祥副教授等对本文提出宝贵建议;戴克华、孙振荣同志及兰州大学生物系电镜室在显微结构方面给以协助,特此致谢。

本文于1988年12月8日收到

们对栖息于高寒环境中的高原鼠兔 (*Ochotona curzoniae*) 和根田鼠 (*Microtus oeconomus*) 的BAT重量和显微结构的季节性变化进行了研究。

材料和方法

本工作于1987年5月至1988年7月在中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站进行。1987年该地区年均温为0℃, 平均最高温度为7.6℃, 平均最低温度为-8.5℃; 绝对最高温度21℃出现在6月份, 绝对最低温度-28.2℃出现在2月份, 而1988年绝对最低温度-32.1℃出现在1月份, 该地区的自然概况已有详细介绍(夏武平, 1982), 在此从略。

1. BAT的测定

逐月在定位站地区捕获实验动物, BAT取自肩胛部, 包括肩胛间和肩胛下。动物处死后, 迅速取出该部位的BAT, 小心剔除WAT和结缔组织并用吸水纸将血液吸干, 放在预先称重并已编号的锡铂纸上, 用万分之一分析天平称重, 精确至0.01毫克。

2. 组织切片

取夏季(7—8月)和冬季(1—2月)的BAT样品, 用10%的中性福尔马林固定, 作组织切片, 主要观察BAT细胞脂肪滴的变化, 切片厚度为8—9微米, H.E染色, 制片方法参照郑国谔著《生物显微技术》(1979)。

3. 超薄切片

取1987年6月、9月和12月及1988年3月、6月的BAT样品, 用2.5%的戊二醛、1%的锇酸双重固定, 在瑞典LKB-Nova型超薄切片机上切片, 在荷兰菲利普EM-400T电镜上观察线粒体大小和每个线粒体包含的嵴数目。

线粒体大小用游标卡尺测量, 参照Thomson (1969)方法以直径为指标, 不规则者取长短轴平均值, 测量长度与放大倍数之比值即为线粒体直径实际大小, 嵴的数目以每个线粒体包含的嵴数为指标。

因各月实验动物体重有显著差异, 为了比较种间和种内BAT重量差异, 以 $W^{0.73}$ 矫正体重的影响。各月间差异用t测验, 同时应用回归分析等方法处理有关数据。气象资料来自定位站观测站。

结 果

1. BAT在动物体内的分布

经解剖可见两种小哺乳动物的BAT主要分布在肩胛间、肩胛下、颈部和腋下等部位, 且全年均有存积。1988年4月我们对高原鼠兔各主要部位的BAT进行了统计, 肩胛部位的BAT重量占总BAT的65%; 根田鼠只统计了肩胛间和肩胛下的BAT (因颈部和腋下等部位的BAT量极少, 故未取), 肩胛间占67% (图1)。BAT在两种小哺乳动物体内的分布与其它小哺乳动物基本一致 (Smith等, 1969; Rothwell等, 1985; Cameron等, 1964)。

2. BAT相对重量的变化

我们采用BAT相对重量 (BAT占体重(W)的百分比) 作为BAT功能变化指标。同时对两种小哺乳动物的BAT按年龄和季节分别进行了测定。

(1) BAT相对重量随年龄的变化 以体重作为年龄变化指标。1987年繁殖时期(4—8月), 解剖了不同体重组的高原鼠兔76只, 根田鼠46只, 发现在生长发育期

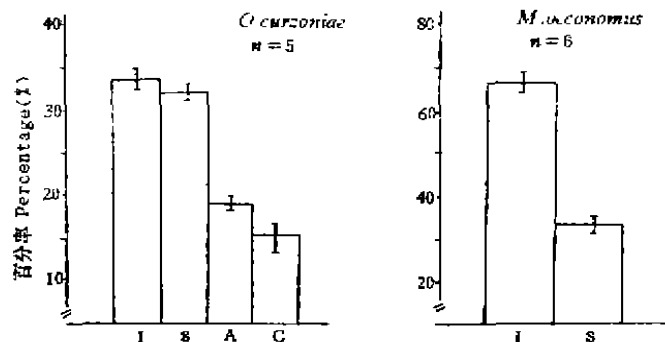


图 1 高原鼠兔BAT主要存在部位肩胛间(I)、肩胛下(S)、腋下(A)和颈部(C)各部分的BAT占总BAT(I+S+A+C)的比率及根田鼠肩胛间(I)和肩胛下(S)的BAT占总BAT(I+S)的比率。竖直线为 \pm SE。
Fig.1 The dominant site of BAT of interscapular(I), subscapular(S), axillary(A) and cervical(C) as the percent of total BAT (I+S+A+C) for *O. curzoniae* and interscapular(I) and subscapular(S) as the percent of total BAT (I+S) for *M. oeconomus*. Vertical lines represent \pm SE.

BAT相对重量与体重密切相关(图 2),又将两者作相关分析,相关极显著,回归方程为:

高原鼠兔: $\%BAT = 8.3135w^{-0.7618}$ (df = 75; $r = -0.8105$, $p < 0.01$)

根田鼠: $\%BAT = 1.6478W^{-0.5688}$ (df = 45; $r = -0.4884$, $p < 0.01$)

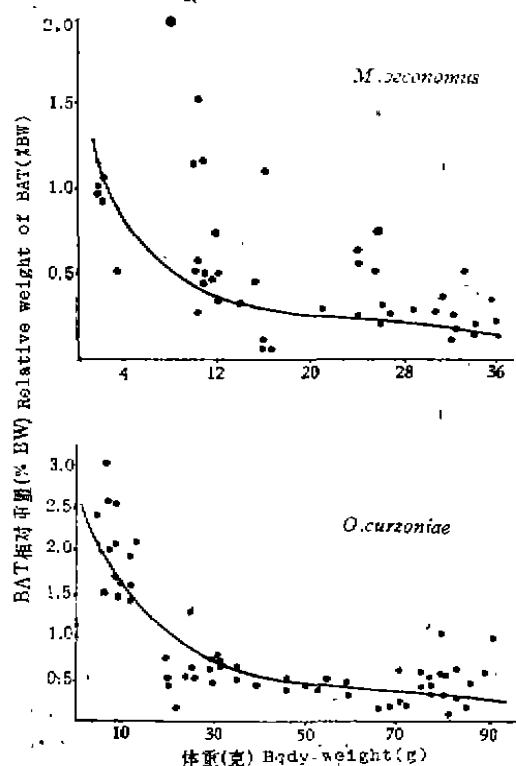


图 2 根田鼠和高原鼠兔在生长发育期其BAT相对重量与体重的关系,根田鼠包括成体
Fig.2 The relationships between body weight and the relative weight of BAT for *C. curzoniae* and *M. oeconomus* sampled during the period of growing and developing; *M. oeconomus* including adults.

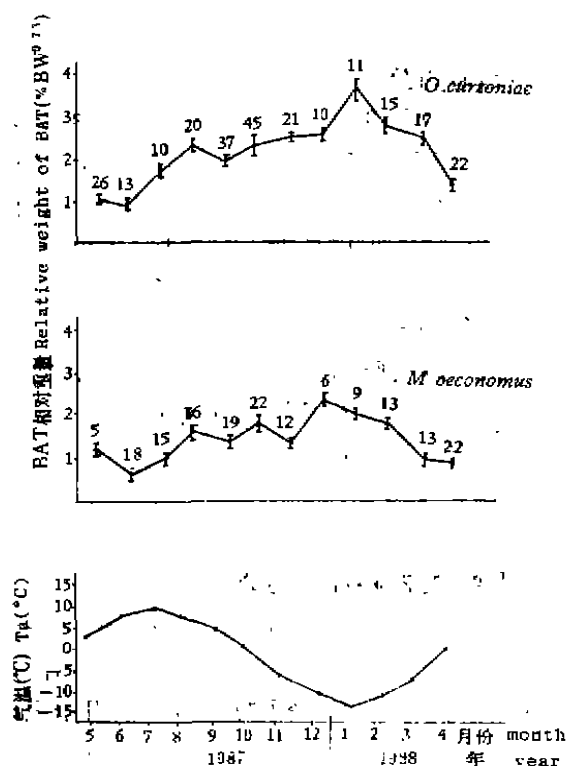


图 3 高原鼠兔和根田鼠的BAT相对重量的季节性变化及定位站地区逐月份平均气温,各月份数字表示样本数
Fig.3 Seasonal changes in the relative weight of BAT in *O. curzoniae* and *M. oeconomus*, in comparison to monthly average temperature of the study site; numbers are sample size.

(2) BAT相对重量的季节性变化 两种小哺乳动物BAT重量的季节性变化总趋势基本一致,寒冷季节较高,温暖季节较低(图3)。高原鼠兔在1月份达高峰值(相对重量:3.6424%W^{0.73};绝对重量:1181.7毫克),根田鼠在12月份达高峰值(2.3976%W^{0.73};180.0毫克);两者均在6月份最低(分别为0.9458%W^{0.73};233.3毫克和0.6829%W^{0.73};70.8毫克)。高原鼠兔BAT高峰值是最低值的3.9倍,根田鼠是3.4倍。5—7月BAT重量较低,可能与此期环境温度逐渐升高(平均气温从4月0.6℃到7月达10.2℃)以及动物正处在繁殖高峰期(此时要消耗大量的能量)有关。

8月份两种动物的BAT相对重量显著增加,根田鼠除11月较低外,一直到严冬始终保持很高水平,此时环境温度急剧下降(平均气温从7月10.2℃到1月降至-12.5℃,绝对最低温可达-32.1℃)。从2月明显下降,4—5月又恢复到似夏季水平。BAT相对重量的年平均值,高原鼠兔显著高于根田鼠(分别为:2.116%W^{0.73}和1.416%W^{0.73})($t=2.50$, $P<0.05$)。

两种动物的BAT相对重量均与月平均温度(T)成显著负相关关系,回归方程为:

高原鼠兔: %BAT = 2.0838 - 0.069T ($df=11$; $r=-0.7401$, $p<0.01$);

根田鼠: %BAT = 1.3990 - 0.0370T ($df=11$; $r=-0.5846$, $p<0.05$)。

3. BAT显微结构的变化

从BAT超薄切片可见BAT中有丰富的毛细血管和线粒体(图版I、II),成熟的线粒体趋于规则的圆形(图版II-4)。

高原鼠兔和根田鼠线粒体大小和嵴数目的变化见图4、5和表1。从图中可以看出,高原鼠兔BAT线粒体9月最大,分布较均匀,6月最小,3月和12月平均大小相似,且多集中在0.4—0.8μm内,但在0.6—0.8μm内12月频率较3月高(分别为44%和26%)。根田鼠BAT线粒体12月最大,3月最小,6月和9月大小相似,在1.0—1.2μm内,12月比9月份分布频率高(分别为29%和19%)。在1.2—1.4μm内也发现相似现象(分别为32%和26%)。

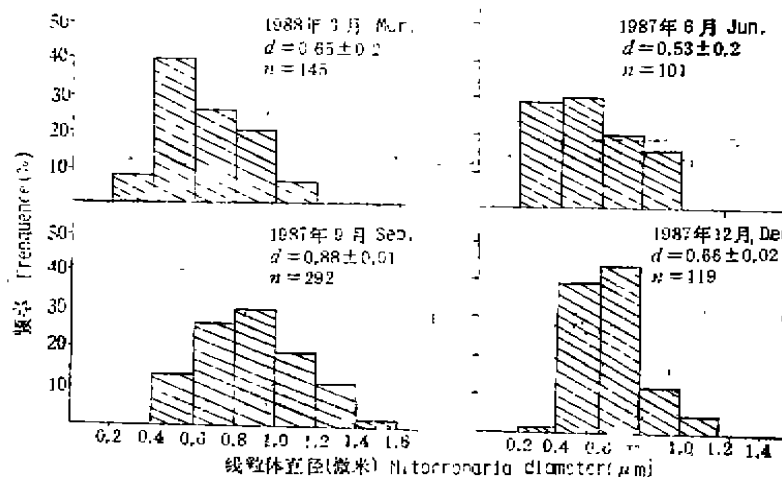


图4 高原鼠兔各月份BAT线粒体大小分布

Fig.4 The distribution of mitochondria size in BAT in the seasonal acclimatized *O. curzoniae*.

BAT线粒体嵴的数目变化可能比线粒体大小更能反映其产热活性,一般说嵴的数目

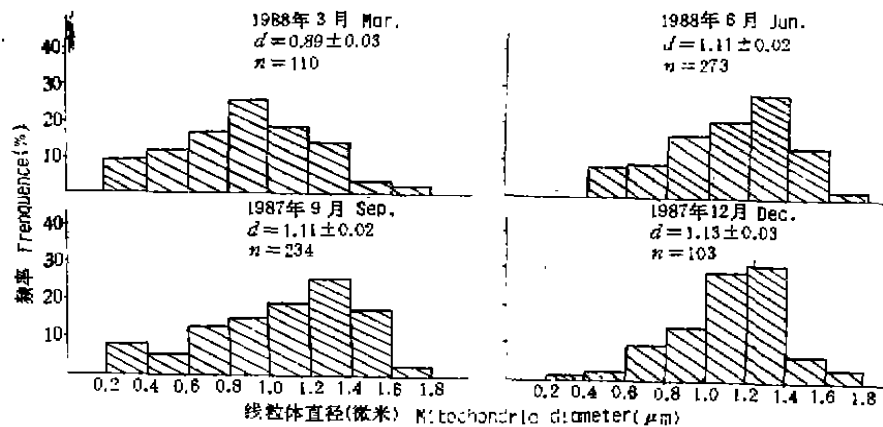


图 6 根田鼠各月份BAT线粒体大小分布

Fig. 6 The distribution of mitochondria sizes in BAT in seasonal acclimatized *M. oeconomus*.

与线粒体的氧化磷酸化活性有关，氧化磷酸化活性高者嵴的数目多（郝水，1984）。两种动物线粒体嵴数目变化见表1。

表 1 高原鼠兔和根田鼠BAT线粒体大小及嵴数目的季节变化

Table.1 The sizes and cristae numbers of mitochondria in BAT of *O. curzoniae* and *M. oeconomus*

月份 Month	高原鼠兔 <i>Ochotona curzoniae</i>		根田鼠 <i>Microtus oeconomus</i>	
	线粒体直径 Mit. diameter (μ)	嵴数 Cristae numbers	线粒体直径 Mit. diameter (μ)	嵴数 Cristae numbers
3月 Mar.	0.65±0.02* (145)**	9.3±0.59 (30)	0.89±0.03 (110)	9.4±0.76 (32)
6月 Jun.	0.63±0.02 (101)	6.20±0.46 (30)	1.11±0.02 (273)	7.6±0.39 (43)
9月 Sept.	0.88±0.01 (292)	5.2±0.33 (46)	1.11±0.02 (110)	7.7±0.41 (0.43)
12月 Dec.	0.66±0.02 (119)	9.3±0.44 (46)	1.13±0.03 (103)	9.4±0.39 (85)

* 平均值±SE. ** 括号内数字为样本数, * Values are means±SE. ** Values in parentheses are sample size.

高原鼠兔BAT线粒体嵴数目变化依次为12月≥3月>6月>9月，经统计分析12月和3月线粒体嵴数目极显著多于9月和6月，但前两个月间和后两个月间没有显著差异。根田鼠BAT线粒体嵴数目变化依次为12月≥3月>9月>6月，12月和3月之间差异不显著，但均显著多于9月和6月。

石蜡切片可见BAT细胞中含有众多的小脂肪滴（脱水后成空泡），但也有一些单空泡细胞，脂肪滴较大（图版Ⅱ-5,6），这是白色脂肪细胞。我们在解剖时也发现严冬季节动物肩胛间BAT周围及皮下白色脂肪组织发达，在温暖季节则很少，甚至消失。比较冬季和夏季BAT显微结构，发现2月BAT含有许多小的脂肪空泡，7月空泡较大且少，似白色脂肪细胞（图版Ⅱ-5,6）。

讨 论

1. 在我们所研究的两种小哺乳动物中, BAT相对重量随动物的生长而降低, 且在母体内已发育完善. 与新生兔等 (Dawkins等, 1964) 相同, 与有袋类等 (Loudon等, 1985) 不同。

胎儿从温暖而恒定的母体内降生到变化多端的外界环境, 这是一个很大的转折。出生后一个阶段幼体的体温调节机制尚不完善, 物理热能调节占有重要地位, 但利用BAT进行NST产热更迅速、经济, 尤其对高寒地区的种类, 可以应付随时多变的外界环境。

繁殖高峰季节, 海北定位站地区的气候变化无常, 时常雨雪交加, 狂风大作, 气温极不稳定, 这对刚出生的幼体无疑是一个压力, 因此其体内含有发达的BAT以适应多变的气候环境。

Miller (1971) 曾报道过海豹降生在具有狂风的 -30°C 的冰面上, 此时其皮毛隔热性能很差, 但并没有颤抖现象, 主要是小海豹体内含有多线粒体的高能脂肪组织BAT进行NST产热。Hull等 (1964, 1965) 在新生兔的研究中认为冷诱导时至少有2/3的热量产生于BAT。

动物随年龄增长, 体表面积相对变小, 热能散失减少, 同时动物的神经—体液调节机制和皮毛发育均日趋完善, 这对幼体生存提供了较好的条件, 因此BAT逐渐减少, NST地位也随之下降。Didow等 (1969) 在草原田鼠 (*Microtus pennsylvanicus*) 中也发现BAT重量随年龄增加而降低, 并认为这与环境温度没有多大关系。

2. 两种小哺乳动物的BAT相对重量均呈现明显的季节性变化, 冬季比夏季增加。白足鼠 (*Peromyscus leucopus*) 在秋季气候转冷时, BAT即很发达, 且一直持续到冬季 (Lynch, 1973)。Aleksiuk (1971) 及Aleksiuk等 (1971) 在红松鼠 (*Tamiasciurus hudsonicus*)、麝鼠 (*Ondatra zibethica*) 中也发现BAT相对重量冬季最高。Buchalczyk等 (1964) 在对鼯鼠 (*Sorex araneus*) 的研究中也发现相似的变化形式, 他们认为BAT这种季节性波动与动物的繁殖功能有关, 并非环境温度所致, BAT只是在食物缺乏季节作为一种贮能组织, 但以后的研究并没有支持这一观点 (Joel, 1965)。

高原鼠兔和根田鼠体内全年都含有BAT, 已经知道BAT是NST的主要场所 (Jansky, 1973; Foster等, 1978), BAT的变动可反映出NST能力的变化。Didow等 (1969) 在加拿大草原田鼠中也发现全年体内都有BAT沉积, 冬季含量较高, 并认为这是环境温度降低、产热需要增加所致。Hissa等 (1969) 在两种田鼠 (*Clethrionomys glareolus* 和 *Microtus agrestis*) 及一种鼯鼠 (*Sorex araneus*) 中发现BAT含量冬季和夏季差异不明显, 但组织结构有显著差异, BAT在严寒时的功能与冷驯化哺乳动物的BAT功能一样 (Cameron等, 1964), 高原鼠兔和根田鼠肩胛间BAT (IBAT) 冬季和夏季差异显著, 冬季较高。表2列出了两种动物的IBAT与其它小哺乳动物的比较。

值得注意的是, 我们的观察与北美鼠兔 (*Ochotona princeps*) 的BAT变化有明显差异。北美鼠兔生活在美国科罗拉多州高山的裸岩地区, 积雪厚的年份动物体内没有BAT沉积, 当无积雪或雪层不厚的年份, BAT则很发达。没有BAT沉积的北美鼠兔冷驯化 (5°C) 两周后, BAT很发达 (Wunder, 1987), 这也说明动物只在冷暴露时才形成、利用这种高能组织。中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站地区气候严寒, 年均温在 0°C 以下, 一般年份冬季积雪很浅且持续时间短, 1982年冬季出现历史上罕见的大

表 2 高原鼠兔和根田鼠肩胛间BAT重量¹与其它小哺乳动物比较
Table 2 The comparison of BAT weight¹ of *O. curzoniae* and *M. oeconomus*
with other small mammals

种 名 Species	季节 Season	样本 N	平均体重 Average body wt. (g)	BAT重量 ¹ BAT weight		作 者 Author
				%	mg	
麝 鼠 ² <i>Ondatra</i> <i>zibethica</i>	SP ³	30	809.3	0.66	5341.4	Alecksink & Frohlinger 1971
	S	30	637.0	0.49	3121.3 ¹	
	A	10	605.0	0.75	4537.5	
	W	27	679.0	1.13	7672.7	
普通鼯鼠 <i>Sorex</i> <i>araneus</i>	SP	43	9.2	1.62	154.6	Hissa & Tarkkonen 1969
	S	10	7.8	1.13	85.2	
	A	15	6.9	0.93	62.9	
	W	21	5.7	1.66	94.9	
黑田鼠 <i>Microtus</i> <i>agrestis</i>	SP	24	27.9	0.25	72.5	
	S	11	32.2	0.21	66.7	
	W	12	32.1	0.25	81.2	
野 <i>Clethrionomys</i> <i>glareolus</i>	SP	12	22.0	0.27	60.0	
	S	12	16.7	0.38	54.3	
	A	19	13.3	0.34	57.8	
	W	44	15.3	0.41	63.6	
根田鼠 <i>Microtus</i> <i>oeconomus</i>	SP	41	25.7	0.32	81.2	本研究 Present study
	S	49	23.4	0.34	79.0	
	A	52	20.4	0.51	104.7	
	W	29	19.8	0.64	128.4	
高原鼠兔 <i>Cochotona</i> <i>curzoniae</i>	SP	68	133.3	0.21	271.7	本研究 present study
	S	53	117.1	0.24	280.1	
	A	103	129.4	0.31	395.8	
	W	36	117.2	0.42	502.8	

1. 根据1988年4月解剖数据计算。2. 从图计算。3. SP, 春(3—5月); S, 夏(6—8月); A, 秋(9—11月); W, 冬(12—2月)。

1. Calculations according to anatomical data of April, 1988. 2. From a photograph. 3. SP, Spring (March to May); S, Summer (June to August); A, Autumn (September to November); W, Winter (December to February).

雪, 积雪厚达12厘米。持续67天, 引起高原鼠兔种群数量急剧下降(宗浩等, 1986)。高原鼠兔与北美鼠兔一样是草食性非冬眠动物, 冬季取食仍很频繁, 且它不贮存食物也不善于雪下活动, 这一点与北美鼠兔迥然不同。后者冬季贮存食物且擅长雪下活动(MacArthur等, 1973; Wunder, 1987)。因此高原鼠兔常年存在BAT是不难理解的。尽管两种动物为同一属, 分类地位甚相近, 但由于所处的地理位置、环境条件不同, 表现出各自不同的适应方式。Mason等(1975)在两种白足鼠中也发现两个种所处的热环境不同。其BAT的变化也不一致。

在BAT的季节变化中有一点值得注意, 6—8月气温变化不大, 但BAT相对重量增加迅速。10—12月气温变幅较大, 但BAT增加缓慢。2月又明显下降, 因此BAT的季节性变化与环境温度的关系不是简单的负相关, 可能还受其它因素(如食物、光周期等)的影响及动物本身的一些生理适应变化。

3. 随着环境条件(温度、光周期及食物等)的变化,两种动物BAT线粒体大小和嵴数目都发生一系列变化。线粒体有细胞“动力工厂”之称,糖、脂肪、蛋白质3大营养物质的最终氧化放能场所是线粒体内膜折迭成的嵴。高原鼠兔和根田鼠BAT线粒体中的嵴数以冬季最多,与产热需要有关。Senault(1980)发现大鼠驯化时,BAT细胞变小,数目增多。Thomson(1969)发现大鼠中成熟的BAT线粒体趋于圆形,平均直径 $0.7\mu\text{m}$,而白色脂肪线粒体直径仅为BAT线粒体的一半。Suter(转引自Chaffee等,1971)也观察到大鼠冷暴露时,BAT线粒体增大、嵴数目增多并趋于栅状排列,他认为线粒体嵴拥挤得越紧,BAT线粒体产热能力越大。

一般组织学研究也发现,大鼠在冷暴露时,BAT经历细胞增多、重量和血液供应增加的过程(Cameron等,1964)。Aleksiuk(1971)在红松鼠中发现,夏季BAT结构似WAT,冬季则多空泡性细胞较多。Cameron等(1964)在大鼠中也发现冷暴露时BAT细胞几乎全为多空泡性细胞,此为对冷环境的适应。

影响BAT重量、结构和功能活性的因素很多,近年引起重视的除环境温度外,还有光周期、食性、生殖状态、激素等(Rothwell等,1985;Wunder,1984;Quay,1984;Heldmaier等,1982;Lynch,1973;Lynch等,1978)。这方面工作有待进一步研究。

参 考 文 献

- 宗浩、夏武平、孙德兴 1986 一次大雪对鼠类数量的影响,高原生物学集刊,5:89—90,科学出版社。
 郑国锡 1979 生物显微技术,人民教育出版社。
 郝水 1984 细胞生物学教程,高等教育出版社。
 夏武平 1982 高寒草甸生态系统,甘肃人民出版社。
 夏武平 1984 中国兽类生态学进展,兽类学报 4(3):223—238。
 Aleksiuk, M. 1971 Seasonal dynamics of brown adipose tissue function in the red squirrel (*Tamiasciurus hudsonicus*). *Comp. Biochem. Physiol.* 38A:723—731.
 Aleksiuk, M. and A. Frohlinger 1971 Seasonal metabolic organization in the muskrat (*Ondatra zibethica*). *Can. J. Zool.* 49:1143—1165.
 Buchalczyk, A. and Z. Korybsky 1984 Variation in weight of brown adipose tissue of *Sorex araneus* Linnaeus, 1758. *Acta Theriol.* 14:193—215.
 Chaffee, R.R.J. and J.C. Roberts 1971 Temperature acclimation in birds and mammals. *Ann. Rev. Physiol.* 33:155—202.
 Cameron, I.L. and R.E. Smith 1964 Cytological responses of brown fat tissue in cold-exposed rats. *J. Cell Biol.* 23:89—100.
 Dawkins, M.J. and D. Hull 1964 Brown adipose tissue and the response of new-born rabbits to cold. *J. Physiol.* 172:216—236.
 Didow, L.A. and J.S. Hayward 1969 Seasonal variations in the mass and composition of brown adipose tissue in the meadow vole, *Microtus pennsylvanicus*. *Can. J. Zool.* 47:547—555.
 Feist, D.D. 1983 Increased adrenergic receptors in brown fat of winter acclimatized Alaskan voles. *Amer. J. Physiol.* 246:R357—R363.
 Foster, D.O. and M.L. Frydman 1978 Nonshivering thermogenesis in rats I. Measurements of blood flow with microspheres point to brown adipose tissue as the dominant site of the calorogenesis induced by noradrenaline. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* 56:110—122.
 Harris, W.H., Foster, D.O. and B.E. Nadeau 1985. Evidence for contribution by brown adipose tissue to the development of fever in the young rabbit. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* 63:585—596.
 Heldmaier, G. 1971 Zitterfreie warmebildung und korpergrobe saugetieren. *Z. Vergl. Physiol.* 73:222—248.
 Heldmaier, G. and A. Buchberger 1965 Sources of heat during nonshivering thermogenesis in Djungarian hamsters: a dominant role of brown adipose tissue during cold adaptation. *J. Comp. Physiol. B.* 156:237—246.
 Hissa, R. and H. Tarkkonen 1969 Seasonal variations in brown adipose tissue in two species of voles and common shrew. *Ann. Zool. Fennici.* 6:443—447.

- Hull, D. and M.M.Segall 1984 The effect of removing brown adipose tissue on production in the new-born rabbit. *J.Physiol.* 175:58P.
- 1985 The contribution of brown adipose tissue to heat Production in the new-born rabbit. *J. Physiol.* 181:449—457.
- Jansky, L. 1973 Nonshivering thermogenesis and its significance. *Biol.Rev.* 48:85—132.
- Joel, C.D. 1985 The Physiological role of brown adipose tissue. In: *Handbook of Physiology: Adipose tissue* (Edited by Renold. A.E. and Cahill, G.F.), PP.69—71. Amer. Physiol. Soc., Washington, D.C.
- Johansson, B. 1969 Brown fat: A review. *Metabolism* 8:221—240.
- London, A., Rothwell, N. and M.Stock 1985 Brown fat, thermogenesis and physiological birth in a marsupial. *Comp.Biochem. Physiol.* 81A:815—819.
- Lynch, R.G. 1973 Seasonal changes in thermogenesis, organ weight and body composition in the white-footed mouse, *Peromyscus leucopus*. *Oecologia*, 13:363—378.
- Lynch, R.G., White, S.E., Grundel, R. and M. S. Berger 1978 Effects of photoperiod, melatonin administration and thyroid block on spontaneous daily torpor and temperature regulation in the white-footed mouse, *Peromyscus leucopus*. *J.Comp.Physiol.B.* 125:167—183.
- Mason, E.B. and W.Prychodko 1975 Interscapular brown adipose tissue mass in two species of *Peromyscus* raised in different thermal environments. *J.Mamm.* 56:883—886.
- MacArthur, R.A. and L.C.Wang 1973 Physiology of thermoregulation in the pika, *Ochotona princeps*. *Can. J. Zool.* 51:11—16.
- Miller, J.A. 1977. Getting warm. *Science News* 111:42—43.
- Nichhill, D.G., and R.M.Locke 1984 Thermogenic mechanism in brown fat. *Physiol.Rev.* 64:1—84.
- Quay, W.B. 1984 Winter tissue changes and regulation mechanism in nonhibernating small mammals: A survey and evaluation of adaptive and nonadaptive features. In: *Winter ecology of small mammals* (Edited by J.F.Merritt), PP.149—184. Spec Publ. Carnegie Mus. Nat. Hist. 10,380PP.
- Rothwell, N.J. and M.J. Stock 1979 A role for brown adipose tissue in diet-induced thermogenesis? *Nature* 281(6):31—35.
- , 1985. Biological distribution and significance of brown adipose tissue. *Comp. Biochem. Physiol.* 82A:745—751.
- Senault, C., Cherqui, G., Cadot, M. and R.Portet 1981 Cold-induced developmental changes in fat cell size and number in brown adipose tissue of the rat. *Amer. J. Physiol.* 240:E379—E383.
- Smith, R.E., and D.J. Hoijer 1982 Metabolism and cellular function in cold acclimation. *Physiol. Rev.* 42:80—142.
- Smith, R.E. and B.A.Horwitz 1980 Brown fat and thermogenesis. *Physiol. Rev.* 49:330—425.
- Tohmson, J.F., Habeck, D.A., Nance, S. L. and K. L. Beetham 1989. Ultrastructure and biochemical changes in brown fat in cold-exposed rats. *J.Cell Biol.* 41:312—333.
- Wunder, B.A. 1984 Strategies for, and environmental cueing mechanisms of, seasonal changes in thermoregulatory Parameters of small mammals. PP. 165—172. In: *Winter ecology of small mammals* (J.F.Merritt, ed.), Spec. Publ. Carnegie Mus. Nat. Hist. 10,380PP.
- , 1987. The use of morpho-physiological measurements to indicate the energy state of small mammalian herbivores. (in press).

外文摘要 (Abstract)

STRATEGIES FOR SURVIVAL IN A COLD ALPINE ENVIRONMENT OF SMALL MAMMALS

I. SEASONAL VARIATIONS IN THE WEIGHT AND STRUCTURE OF BROWN ADIPOSE TISSUE IN OCHOTONA CURZONIAE AND MICROTUS OECONOMUS

WANG Dehua WANG Zuwang

(Northwest Plateau Institute of Biology, Academia Sinica)

The variations of scapular (including interscapular and subscapular) brown adipose tissue (BAT) in weight and histology with season and body weight were studied in

plateau pika (*Ochotona curzoniae*) and root vole (*Microtus oeconomus*), at Haihei Alpine Meadow Ecosystem Research Station at an altitude of about 3200 meters at Menyuan, Qinghai Province, from May of 1987 to July, 1988. Plateau pikas and root voles were caught each month and their relative weight of BAT (mass of BAT as a percentage of total BW^{0.73}) were calculated, and some month samples were used to make sections for light and electron microscopic investigations. The main results are as follows:

1. The relative weight of BAT decreased with increasing body weight in growing and developing period in both *O. curzoniae* and *M. oeconomus*. It has a inversely relationship between BAT weight and body weight.

2. Seasonal changes in the relative weight of BAT were inversely related to seasonal changes in ambient temperature. The relative weight of BAT was lowest in June (0.9458%W^{0.73}) and increased rapidly to 3.6624%W^{0.73} in January in *O. curzoniae*. Similarly, *M. oeconomus* had their lowest value of relative weight of BAT in June (0.6829%W^{0.73}) and increased to 2.3976%W^{0.73} in December. The average relative weight of BAT in *O. curzoniae* is higher than that of in *M. oeconomus* (2.1163%W^{0.73} and 1.4263%W^{0.73}, respectively). Both species showed an increasing in the amount of this tissue when weather became cold in late autumn.

3. Both the histological and ultrastructural changes in BAT have a significant seasonal variations. In the summer the BAT cells have large fat droplets and have many small fat droplets during cold winter. The seasonal changes of mitochondria sizes in BAT cell is Sep. >Dec. >Mar. >Jun. in *O. curzoniae* and Dec. >Sept. >Jun. >Mar. in *M. oeconomus*; and the cristae numbers of BAT mitochondria is Dec. >Mar. >Jun. >Sept. in *O. curzoniae* and Dec. >Mar. >Sept. >Jun. in *M. oeconomus*.

The results indicated that BAT is related to the requirement of the thermogenesis for cold. In these two native species of small mammals the thermogenesis requirement for cold are present throughout the year and have significant seasonal variations. BAT and NST may be important in thermoregulation and survival for nonhibernating small mammals living in cold Alpine Meadow Ecosystem.